

**Produção de biodiesel e análise de parâmetros de qualidade –  
implementação e análise económica de sistemas renováveis na  
empresa Agropec**

Elvino Sousa Gonçalves

**Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto  
Politécnico de Bragança para o cumprimento dos requisitos para o Mestrado em  
Energias Renováveis e Eficiência Energética**

**Orientadores**

Prof. António Manuel Esteves Ribeiro

Prof. Paulo Miguel Pereira de Brito

Bragança, Agosto de 2021

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por ter guiado os meus passos e por me ter dado forças para superar todos os obstáculos.

Agradeço aos meus orientadores Paulo Brito e António Ribeiro que sempre me receberam, ajudaram e esclareceram as minhas dúvidas.

Ao Diretor do curso Luís Frölen Ribeiro, e a todos os professores que me auxiliaram e me acompanharam no meu percurso académico. Um especial agradecimento aos professores Ana Queiróz e Luís Correia por todo o apoio e ensinamentos ao longo deste percurso.

À minha família pelo apoio incondicional, aos meus pais Saturnino Gonçalves e Ana Gonçalves, às minhas irmãs Eunice e Emília Gonçalves. À minha prima Fernanda Gonçalves que me ajudou na recolha das informações em Cabo Verde, uma tarefa que nem sempre é fácil. Agradeço também ao Engenheiro Odair Reis.

À empresa Agropec pela disponibilidade e fornecimento dos dados.

E por último, mas não menos importante, a todo o apoio dado pelos meus colegas ao longo do meu percurso escolar e que ajudaram-me a elaborar o projeto um especial obrigado a Vera Silva, Fábio Monteiro, Emanuel Marta e Fretson Almeida.

## **Resumo**

Ao longo dos anos tem aumentado o consumo energético mundial causando assim um maior consumo de combustíveis fósseis que provoca o aumento da emissão de gases de efeito de estufa. Esses combustíveis não renováveis tornam o país dependente do mercado internacional dos combustíveis fósseis. A solução desse problema é o uso de fontes de energias renováveis. O biodiesel é a melhor alternativa para substituir o diesel fóssil por apresentarem propriedades similares.

O objetivo desse presente trabalho é realizar um estudo sobre a produção de biodiesel através de transesterificação básica, analisar a qualidade das amostras produzidas com base na norma EN 14214, dimensionar e fazer uma comparação entre o Sistema de Produção de Biodiesel (SPB) e um Sistema Solar Térmico (SST).

Com base no controlo de qualidade realizado experimentalmente os testes não verificaram todos os parâmetros exigidos pela norma EN 14214. As amostras foram analisadas a viscosidade, teor de FAME, teor de água, massa volúmica, índice de acidez, índice de iodo e teor de ácido linolénico. Desses setes parâmetros analisados apenas os limites para a massa volúmica, índice de iodo e teor de ácido linolénico foram cumpridos para todas as amostras. As amostras de biodiesel produzidas não são em geral recomendadas para a utilização nos motores de ignição.

Adicionalmente foi realizado um estudo referente à empresa Agropec Cabo Verde, Lda, onde foram feitos dimensionamentos e o balanço económico entre o SPB e SST. Ambos os sistemas recuperam o capital investido em menos de 8 anos. Ao longo deste projeto foi possível observar que o SST não só é mais rentável como também é mais confiável para a instalação na empresa Agropec.

**Palavra-chave:** Biodiesel, Transesterificação, Sistema Solar Térmico, Sistema de Produção de Biodiesel

## **Abstract**

Over the years, the world's energy consumption has increased, thus causing a greater consumption of fossil fuels, which causes an increase in the emission of greenhouse gases. These non-renewable fuels make the country dependent on the international market for fossil fuels. The solution to this problem is the use of renewable energy sources. Biodiesel is the best alternative to replace fossil diesel because they show similar properties.

The objective of this work is to carry out a study on the production of biodiesel through basic transesterification, to analyze the quality of the samples produced based on the EN 14214 standard, dimension and make a comparison between the Biodiesel Production System (BPS) and the Solar Thermal System (STS).

However, based on the quality control carried out in the laboratory, the experiments did not meet all the parameters required by standard EN 14214. The samples were analyzed for viscosity, FAME content, water content, density, acid index, iodine index and linolenic acid content. Of these seven parameters analyzed, only the limits for density, iodine index and linolenic acid content were met for all samples. In view of these standards, the biodiesel samples produced are not recommended for use in ignition engines.

This study was carried out at the company Agropec Cabo Verde, Lda, where sizing and economic balance between the BPS and STS were made. Both systems recover the invested capital in 8 years. Throughout this project, it was possible to observe that the STS is not only more profitable but also more reliable for installation at the Agropec Company.

**Keyword:** Biodiesel, Transesterification, Solar Thermal System, Biodiesel Production System

# Índice

1.	Introdução.....	1
2.	Biodiesel.....	3
2.1	Definição.....	3
2.2	Vantagens e desvantagens.....	3
2.2.1	Vantagens.....	3
2.2.2	Desvantagens.....	4
2.3	Matéria-prima.....	4
2.3.1	Óleo vegetal.....	4
2.3.2	Óleo vegetal usado.....	6
2.3.3	Gordura animal.....	6
2.3.4	Algas e microalgas.....	6
2.3.5	Álcool.....	7
2.4	Processo de produção de biodiesel através de transesterificação.....	7
2.4.1	Transesterificação por catálise básica.....	8
2.4.2	Transesterificação por catálise ácida.....	8
2.4.3	Transesterificação utilizando condições supercríticos.....	9
2.4.4	Transesterificação por catálise enzimática.....	9
2.5	Norma Europeia EN14214.....	9
3.	Produção de biodiesel em laboratório.....	11
3.1	Tipo de óleos usados para produção de biodiesel.....	11
3.2	Produção de biodiesel através de transesterificação básica.....	11
3.2.1	Preparação dos óleos.....	12
3.2.2	Preparação do metóxido de sódio.....	13
3.2.3	Processo de transesterificação usado o metanol.....	14
3.2.4	Decantação da glicerina.....	15
3.2.5	Lavagem do biodiesel.....	16
3.2.6	Secagem do biodiesel.....	17
3.2.7	Resultados obtidos das reações.....	17
4.	Controlo de qualidade.....	19
4.1	Determinação do teor de FAME por cromatografia gasosa.....	19
4.1.1	Preparação de amostra para análise por GC.....	19
4.1.2	Método e análise GC-FID.....	19
4.1.3	Tratamento de dados GC-FID.....	20

4.1.4	Derivatização de ácidos gordos por BF <sub>3</sub> .....	23
4.2	Massa volúmica a 15°C .....	24
4.3	Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica.....	27
4.4	Teor de água (“Water content”: ISO 12937).....	29
4.4.1	Determinar o teor de água na amostra.....	29
4.5	Índice de acidez (“Acid Value”) (EN 14104).....	31
4.5.1	Procedimento experimental para determinar o índice de acidez .....	31
4.6	Determinação do índice de iodo .....	33
4.7	Caracterização do biodiesel.....	34
5.	Implementação de sistemas renováveis para substituir o diesel fóssil na empresa Agropec .....	37
5.1	Reaproveitamento de gorduras de frango para produção de biodiesel .....	37
5.1.1	Estado da Arte .....	37
5.1.2	Produção de biodiesel através de gorduras de frango.....	39
5.2	Dimensionamento de um sistema solar .....	49
5.2.1	Orientação dos Coletores.....	49
5.2.2	Dimensionamento energético .....	50
5.2.3	Dimensionamento dos equipamentos .....	58
5.2.4	Custo do sistema solar térmico.....	69
5.3	Comparação dos sistemas renováveis utilizados .....	71
5.3.1	Balanço económico .....	71
5.3.2	Produção de biodiesel em Cabo Verde a nível comercial .....	72
6.	Conclusões.....	74
7.	Bibliografia.....	75
ANEXO A.....		i
Determinação do teor de FAME por cromatografia gasosa .....		i
Determinação do índice de iodo.....		ix
ANEXO B .....		xv
Equipamentos utilizados.....		xv
SST .....		xv
SPB.....		xxiv

## Lista de Figuras

Figura 1: Reação de transesterificação [8] .....	8
Figura 2: Óleos com impurezas.....	12
Figura 3: Processo de filtragem do óleo.....	13
Figura 4: Preparação do metóxido de sódio .....	14
Figura 5: Reação de transesterificação.....	15
Figura 6: Separação do biodiesel da glicerina quando é sólida ou líquida .....	16
Figura 7: Processo de lavagem do biodiesel .....	16
Figura 8: Análise cromatográfica obtida para a mistura fame de 37 compostos utilizando o equipamento shimadzu com coluna optima biodiesel f [11].....	22
Figura 9: Resultado obtido da análise do biodiesel A1 .....	22
Figura 10: Medição da densidade da amostra .....	26
Figura 11: Valores medido pelo equipamento .....	27
Figura 12: Karl fisher metrohm medindo o teor de água. ....	30
Figura 13: Medição do índice de acidez.....	32
Figura 14: Esquema de princípio antes e depois da instalação .....	44
Figura 15: Processo de lavagem do biodiesel .....	46
Figura 16: Reator para produção de biodiesel.....	47
Figura 17: Distancia entre as fileiras para não ter sombra [25].....	50
Figura 18: Esquema de princípio do SST.....	59
Figura 19: Resultado obtido da análise do biodiesel A2 .....	I
Figura 20: Resultado obtido da análise do biodiesel B1 .....	I
Figura 21: Resultado obtido da análise do biodiesel B2 .....	II
Figura 22: Resultado obtido da análise do biodiesel B3 .....	II
Figura 23: Resultado obtido da análise do biodiesel C1 .....	III
Figura 24: Resultado obtido da análise do biodiesel C+ .....	III
Figura 25: Resultado obtido da análise do biodiesel D1 .....	IV
Figura 26: Resultado obtido da análise do biodiesel D2 .....	IV
Figura 27: Resultado obtido da análise do biodiesel E1.....	V
Figura 28: Resultado obtido da análise do biodiesel E2.....	V
Figura 29: Resultado obtido da análise do biodiesel F1.....	VI
Figura 30: Resultado obtido da análise do óleo A.....	VI
Figura 31: Resultado obtido da análise do óleo B.....	VII
Figura 32: Resultado obtido da análise do óleo C.....	VII
Figura 33: Resultado obtido da análise do óleo D.....	VIII
Figura 34: Resultado obtido da análise do óleo E .....	VIII
Figura 35: Resultado obtido da análise do óleo F .....	IX
Figura 36: Esquema de princípio dos painéis.....	XV
Figura 37: Características do painel escolhido [27] .....	XVI
Figura 38: Características da unidade de bombagem para os depósitos [27] .....	XVI
Figura 39: Características da unidade de bombagem para os painéis [27].....	XVI
Figura 40: Preço do isolamento de 6mm [33] .....	XX
Figura 41: Dados do purgador [27].....	XX
Figura 42: Dados da válvula de segurança [27] .....	XX
Figura 43: Dados da válvula misturadora e termostáticas [27] .....	XXI
Figura 44: Dados da válvula de desviadora [27].....	XXI
Figura 45: Dados do sistema de controlo [27] .....	XXI
Figura 46: Dados dos sensores de temperatura [27].....	XXII
Figura 47: Bomba do spb [34] .....	XXIV
Figura 48: Características da bomba do spb [34] .....	XXIV
Figura 49: Roda d'água para o reator do spb [35] .....	XXV
Figura 50: Característica da roda d'água para o reator do spb [35] .....	XXV
Figura 51: Gráfico da oscilação do custo do metanol [20].....	XXVI

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Oleaginosa para produção de óleo por hectare e teor de óleo contido [6].	5
Tabela 2: Norma em 14214 [9]	10
Tabela 3: Condições de produção de cada tipo de biodiesel.	17
Tabela 4: Resultados obtidos das reações.	18
Tabela 5: Id do pico, nome do composto, id do pico e tempo de retenção (min). [11]	21
Tabela 6: Resultado obtido na análise do biodiesel a1	23
Tabela 7: Percentagens dos fame e do éster metílico do ácido linolénico.	23
Tabela 8: Análise de resultados da massa volúmica dos óleos ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	25
Tabela 9: Análise de resultados da massa volúmica das amostras de biodiesel ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	26
Tabela 10: Viscosidade cinemática e dinâmica do biodiesel.	28
Tabela 11: Viscosidade cinética e dinâmica dos óleos.	28
Tabela 12: Teor de água contida no biodiesel	30
Tabela 13: Índice de acidez das amostras de biodiesel	32
Tabela 14: Medição do índice de acidez dos óleos.	33
Tabela 15: Análise dos resultados da medição do índice de iodo da amostra a2.	34
Tabela 16: Propriedades das amostras de biodiesel em relação com a norma europeia (en 14214).	35
Tabela 17: Quantidade de gorduras extraídas por mês.	40
Tabela 18: Consumo de reagentes e rendimento da reação	40
Tabela 19: Volume de gasóleo substituído por biodiesel.	41
Tabela 20: Custos dos reagentes para produção de biodiesel	42
Tabela 21: Balanço económico da produção de biodiesel	43
Tabela 22: Investimento do sistema de produção de biodiesel.	48
Tabela 23: Balanço económico em 15 anos de funcionamento.	49
Tabela 24: Inclinação dos coletores.	49
Tabela 25: Dados para dimensionar o sst.	52
Tabela 26: Rendimento do coletor	54
Tabela 27: Energia captada e número de coletor necessário.	55
Tabela 28: Balanço energético sst.	57
Tabela 29: Balanço económico do sst.	58
Tabela 30: Características da tubagem.	61
Tabela 31: Coeficiente de perda de carga localizada nos equipamentos.[25]	63
Tabela 32: Perdas de carga no sst.	63
Tabela 33: Volume dos depósitos.	66
Tabela 34: Volume de água contida em cada circuito.	68
Tabela 35: Vasos de expansão usados.	68
Tabela 36: Investimento total do sst.	70
Tabela 37: Investimento total e o lucro em 15 anos.	71
Tabela 38: Balanço económico dos sistemas.	71
Tabela 39: Índice de iodo da amostra A1	XII
Tabela 40: Índice de iodo da amostra B2	XII
Tabela 41: Índice de iodo da amostra B1	XII
Tabela 42: Índice de iodo da amostra B3	XIII
Tabela 43: Índice de iodo da amostra C1	XIII
Tabela 44: Índice de iodo da amostra C+	XIII
Tabela 45: Índice de iodo da amostra D1	XIII
Tabela 46: Índice de iodo da amostra D2	XIII
Tabela 47: índice de iodo da amostra E1	XIV
Tabela 48: Índice de iodo da amostra E2	XIV
Tabela 49: Índice de iodo da amostra F1	XIV
Tabela 50: Dados do painel escolhido [31].	XVI
Tabela 51: Parâmetros de cálculos para dimensionar o permutador	XVII

Tabela 52: Características do permutador dimensionado.....	XVII
Tabela 53: Características dos depósitos de inércia [27].....	XVIII
Tabela 54: Características do dissipador [27] .....	XVIII
Tabela 55: Características dos vasos de expansão [29].....	XIX
Tabela 56: Preços dos tubos de cobre [32].....	XIX
Tabela 57: Preços dos tês de cobre [32].....	XXII
Tabela 58: Preços das curvas de cobre [32] .....	XXII
Tabela 59: Preço de instalação do sst.....	XXIII

## Abreviações

CV – Cabo Verde

C<sub>p</sub> – Capacidade calorífica [MJ/(m<sup>3</sup>.°C)]

CVE – Escudos Cabo-Verdiano (\$)

EN – Norma Europeia

FAME – Ésteres metílicos de ácidos gordos

FAEE – Ésteres etílicos de ácidos gordos

GC – Cromatografia Gasosa

IA – Índice de acidez da amostra (mg KOH/g amostra);

IV – Índice de iodo da amostra (g iodo/100 g amostra);

m – Massa (mg, g ou kg)

NP – Norma Portuguesa

PCI – Poder Calorífico Inferior (MJ/Kg)

Q<sub>r</sub> – Radiação térmica aproveitada (MJ/m<sup>2</sup>)

Re – Número de Reynolds

SST – Sistema Solar Térmico

SPB – Sistema de Produção de Biodiesel

V – Volume (mL ou L)

ρ – massa volúmica (kg/m<sup>3</sup>)

ΔT – Variação de temperatura (°C)

Δt – Variação de tempo (h ou s)

η – Rendimento (%)

ñ̄ – viscosidade dinâmica ( $\frac{mm^2 * g}{cm^3 * s}$ )

v – Viscosidade cinemática (mm<sup>2</sup>/s)

# 1. Introdução

Atualmente a maior parte das necessidades mundiais de energia são satisfeitas por combustíveis fósseis como petróleo, gás natural e carvão que causam grande dependência desses recursos esgotáveis de energia não renovável. Esses combustíveis não renováveis aumentam os gases efeito de estufa causando alterações climáticas e também aumentam a dependência dos países fornecedores desses recursos.

Com as alterações climáticas e a situação de independência energética os países têm criado formas de reduzir o consumo de combustível fóssil, investindo em fontes de energias renováveis tais como solar, eólica, hídrica, geotérmica, biomassa e entre outros.

Ao longo dos anos tem aumentado o número de veículos, fazendo com que o setor de transporte aumente o consumo de diesel. Esse combustível não é renovável contribuindo para as alterações climáticas. Ao longo dos anos tem vindo a ser desenvolvidos combustíveis alternativos sustentáveis para esse setor, o biodiesel é uma alternativa para a substituição do diesel fóssil porque têm propriedades similares.

O biodiesel é um biocombustível composto por ésteres de ácidos gordos de cadeia longa, derivados de matéria-prima renovável rica em triglicerídeos, através da reação de transesterificação de ácidos gordos com um álcool transformando em biodiesel e glicerina. Como qualquer forma de produção de energia tem vantagens e desvantagens na sua produção e utilização.

O fator económico é um dos principais fatores que influencia a substituição do diesel fóssil para o biodiesel. A maior parte do custo de produção de biodiesel é o custo dos óleos. Por isso a utilização dos óleos residuais é uma grande valia para a produção de biodiesel por serem de baixo custo.

## 1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é realizar uma pesquisa teórica sobre o biodiesel, produzir e analisar biodiesel no laboratório e também estudar a viabilidade económica de um sistema produção de biodiesel e sistema solar térmico numa empresa de abate de frangos em Cabo Verde.

Produzir biodiesel com 6 tipos diferentes de óleos para aproximar de uma situação real. Para as amostras produzidas, foram analisados os seguintes parâmetros de qualidade, considerados dos mais relevantes, de acordo com o referido na Norma EN 14214: teor de FAME, teor de ácido linolénico, massa volúmica, viscosidade, teor de água, índice de Iodo e índice de acidez.

Adicionalmente, pretende-se dimensionar 2 sistemas de energia renováveis para a substituição do gasóleo na empresa Agropec. Os sistemas de energia renováveis que foram dimensionadas são Sistema

Solar Térmico (SST) e Sistema Produção Biodiesel (SPB), com a finalidade de calcular o investimento e o balanço económico de cada um.

No SPB pretende-se produzir biodiesel através das gorduras residuais resultando do abate de frangos. O biodiesel produzido tem a finalidade de substituir o gasóleo utilizado para aquecer a água de abate.

No SST pretende-se aproveitar o principal recurso renovável de Cabo Verde que é a energia solar através de coletores solares para aquecimento de água para abate de frangos assim reduzindo o consumo de gasóleo.

## 2. Biodiesel

### 2.1 Definição

O biodiesel é biocombustível composto por ésteres de ácidos gordos de cadeia longa, derivados de matéria-prima renovável rica em triglicerídeos, como óleo de origem vegetal e gordura animal. Através da reação de transesterificação com um álcool converte os ácidos gordos em dois subprodutos o biodiesel e glicerol. O biodiesel pode substituir diretamente o diesel fóssil e também misturado em qualquer proporção sem necessidade de modificação nos equipamentos. [1],[2]

É um combustível menos poluente que o gásóleo. Também pode ser produzido através de resíduos animais e produção agrícola, fechando assim o ciclo de carbono, e não de um combustível fóssil que leva ao aumento de gases de efeito de estufa. Atualmente, devido não só à preocupação ecológica, como também aos elevados preços do petróleo, a produção de biodiesel tem aumentado exponencialmente. [1],[3].

Na reação de transesterificação os álcoois mais utilizados são metanol e etanol. Quando o biodiesel é produzido pelo metanol forma-se ésteres metílicos de ácidos gordos e com etanol forma-se ésteres etílicos de ácidos gordos.

O biodiesel pode ser classificado em quatro gerações com base no tipo de matéria-prima [3]:

1. A primeira geração é derivada de matérias-primas comestíveis, como por exemplo: palma, girassol, soja;
2. A segunda geração é derivada de óleos não comestíveis, como por exemplo: jatropha, karanja, mahua;
3. A terceira geração é derivada de óleos residuais e óleos de algas;
4. A quarta geração utiliza tecnologia biológica sintética, denominada biodiesel solar.

### 2.2 Vantagens e desvantagens

Como qualquer fonte de energia, o biodiesel tem vantagens e desvantagens na sua produção e utilização.

#### 2.2.1 Vantagens

O biodiesel é biodegradável, lubrificante, contém baixo teor de enxofre, tem ponto flash elevado e é miscível com o diesel fóssil. O biodiesel é renovável por ser obtido através de produtos agrícolas, gorduras animais, resíduos de óleos usados e também algas e microalgas. Os gases emitidos na combustão de biodiesel serão absorvidos pelas plantas oleaginosas fechando assim o ciclo de carbono. Permite a diminuição da dependência energética dos países não detentores de reservas de petróleo. Cria

empregos e desenvolve a produção agrícola nas zonas rurais. Permite reaproveitar os óleos alimentares usados, diminuindo os resíduos e o custo de tratamento das águas sanitárias. [1],[3],[4]

### 2.2.2 Desvantagens

Cerca de 70% do custo do biodiesel é dos óleos, causando competição com os alimentos e a degradação do solo devido as grandes escalas de plantio para a produção e comercialização do biodiesel. A glicerina tem baixo valor, produzida em grandes quantidades torna-se um problema na eliminação. Tem maior viscosidade, dificuldade de bombeamento, menor conteúdo energético em relação ao diesel fóssil. Baixa estabilidade. Provoca desmatamento de floresta para a plantação de oleaginosas. [1],[3],[4]

## 2.3 Matéria-prima

Na produção de biodiesel mais de 95% da matéria-prima provem de óleos comestíveis, o que não é viável devido a procura e oferta dos óleos no setor alimentar tornando esses óleos muito caros para a produção de biodiesel. Cerca de 70% do custo total da produção é da matéria-prima. As matérias-primas para a produção de biodiesel são divididas em 4 grupos: óleos vegetais, gorduras animais, óleos usados e algas. [2],[5]

As características do biodiesel dependem das características da matéria-prima que podem ser de origem animal ou vegetal. Na produção de biodiesel de origem vegetal pode-se utilizar diversas plantas oleaginosas tais como soja, colza, palma, girassol ou algas fotossintéticas. Na produção de biodiesel de origem animal é utilizado resíduos produzidos nos matadouros tais como gorduras de aves, de suínos e de bovinos ou também através de óleo de peixe. [5]

O biodiesel pode ser produzido através de óleos domésticos residuais (óleos alimentares usados), resíduos agrícolas (animal e vegetal) e resíduos do sector industrial. Esses óleos são excelentes fontes de matéria-prima por serem de baixo custo. [3]

### 2.3.1 Óleo vegetal

O óleo vegetal é a melhor matéria-prima para a produção de biodiesel por ter uma composição mais estável e livre de impurezas, mas tem um custo elevado de produção.

Para produção de óleos vegetais são cultivadas várias espécies de oleaginosas como por exemplo soja, girassol, colza, milho e amendoim. O seu cultivo torna o custo elevado por causa da disponibilidade de área de cultivo, concorrência com mercado alimentar, água, fertilizantes e entre outros fatores. Se esses óleos forem óleos alimentares usados tornam-se mais atraentes por serem óleos com menor custo, no entanto a principal dificuldade de utilização é a disponibilidade do sistema de recolha. [3],[6]

Apesar das oleaginosas referidas anteriormente pode-se produzir biodiesel através dos seguintes óleos [6]:

- O óleo de rícino é derivado de uma planta selvagem *Ricinus communis L.* mais conhecida por mamona, originária dos países tropicais e subtropicais, tolera condições climáticas variáveis e os custos de extração do óleo são baixos.
- O óleo de algodão é extraído das sementes do algodoeiro e é uma matéria-prima de custo baixo para produção de biodiesel, já que as sementes do algodão são consideradas resíduos.
- O Jatrofa (*jatropha curcas*) é considerada uma das melhores fontes de óleo para produção de biodiesel. As sementes e o óleo não são comestíveis devido à presença de toxinas. Pode desenvolver-se numa ampla variedade de condições climáticas.
- O óleo de palma é extraído da fruta e também do caroço, provou ser uma fonte eficiente de biodiesel por ter uma elevada produção de óleo por hectare.

A tabela 1 mostra as plantas oleaginosas com o seu respetivo rendimento por unidade de área e a percentagem de óleo contido. Pode-se observar que a melhor planta para produção de óleos é a palma.

Tabela 1: Oleaginosa para produção de óleo por hectare e teor de óleo contido [6].

Óleo	Produção (L/ha)	Percentagem (%)
Soja	446	15-20
Girassol	952	25-35
Colza	1190	38-46
Palma	5950	30-60
Amendoim	1059	45-55
Azeitona	1212	45-70
Milho	172	48
Coco	2689	63-65
Algodão	325	18-25
Mamona	1413	45-50
<i>Jatropha</i>	1892	30-40
Arroz	828	15-23
Jojoba	1818	45-50

### 2.3.2 Óleo vegetal usado

A produção de biodiesel a um custo reduzido depende do custo das matérias-primas, os óleos usados são uma grande valia para tornar a produção economicamente viável sendo produzido em todos os países. [3]

Os óleos alimentares usados (óleos de fritura) não são recomendados para o consumo humano, mas são boas matérias-primas para a produção de biodiesel. A produção de biodiesel através de óleos vegetal usado é a melhor alternativa por permitir a reciclagem dos óleos alimentares usados que seriam lançados nos esgotos melhorando assim o tratamento de água residuais. Em relação aos óleos vegetais tem um custo de produção de biodiesel mais reduzido. [1],[2],[3]

Os óleos usados podem ser recolhidos no setor doméstico (produzido nas habitações), setor industrial (produção de alimentos), setor de hotelaria e restauração. Esses óleos necessitam ser tratados porque antes de produzir o biodiesel deve-se remover as impurezas e a água contida no óleo.

### 2.3.3 Gordura animal

Gorduras e óleos animais são triglicerídeos de composição variável de ácidos gordos, sendo sólidos (sebo, gordura e banha) ou líquidos (óleos de peixe e de galinha) à temperatura ambiente dependendo do seu grau de saturação. Os óleos vegetais contem grandes quantidades de ácidos gordos insaturados, já as gorduras animais os ácidos gordos são saturados.

As gorduras animais podem ser [5]:

- Óleo de frango proveniente das partes não comestíveis das aves;
- Óleo de peixe obtido pelo processamento de tecido gordurosos dos pescados;
- Sebo bovino resultante dos resíduos de tecidos de bovinos;
- Banha suína resulta dos resíduos de tecidos dos órgãos, abdómen e outras partes.

As gorduras animais em relação aos óleos vegetais tem um custo menor por serem maioritariamente resultados de resíduos animais não comestível produzidos nos matadouros e indústrias de pescados.

### 2.3.4 Algas e microalgas

As algas e microalgas tem um elevado teor de óleo tornando uma das melhores fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel. Eles não competem com os produtos alimentícios e apresentam um

rápido crescimento. O teor de óleo pode atingir até 80% do peso seco. Necessitam de menor área para sua produção. Mas é um recurso pouco explorado o que torna o custo de produção muito elevado. [7]

### 2.3.5 Álcool

Para produção de biodiesel através de transesterificação utiliza-se o metanol e etanol, os outros álcoois são pouco utilizados.

O metanol é utilizado principalmente nos países europeus por ter um custo mais baixo em relação ao etanol e também por ter um tempo de reação menor. O etanol é mais utilizado nos países produtores cana-de-açúcar como por exemplo o Brasil. A reação com etanol tem mais dificuldade em separar o biodiesel da glicerina o que reduz o rendimento da reação e também é menos reativo necessitando assim de mais álcool. [5]

O metanol é um álcool incolor, volátil, inflamável, tóxico, com a fórmula química  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Tem um ponto de ebulição de  $65\text{ }^\circ\text{C}$  e um ponto de fusão de  $-94\text{ }^\circ\text{C}$ . É produzido através do carvão, gás natural e também através da gaseificação da biomassa. O biodiesel produzido por transesterificação utilizando o metanol como álcool é chamado de ésteres metílicos de ácidos gordos (FAME). [5]

O etanol é um álcool incolor, volátil, inflamável, menos tóxico que o metanol, com a fórmula química  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ . Tem um ponto de ebulição de  $78,37\text{ }^\circ\text{C}$  e ponto de fusão de  $-117,3\text{ }^\circ\text{C}$ . É produzido principalmente por fermentação alcoólica de açúcar. O biodiesel produzido por transesterificação utilizando o etanol como álcool é chamado de ésteres etílicos de ácidos gordos (FAEE). [5]

## 2.4 Processo de produção de biodiesel através de transesterificação

A transesterificação é uma reação química em que um éster (triglicéridos) reage com um álcool, na presença de um catalisador resultando em um novo éster (biodiesel) e glicerina. A reação ocorre entre uma mol de triglicéridos e três moles de álcool, a catálise é feita por uma molécula inorgânica (ácida ou básica), utiliza-se um excesso de álcool para deslocar o equilíbrio químico para o sentido da formação dos ésteres (biodiesel). [5]

Na reação de transesterificação convertem-se as moléculas de triglicéridos em diglicerídeos, depois em monoglicerídeos e por fim em glicerina. Em cada conversão obtém-se uma molécula de éster (biodiesel). [8]

Na reação de transesterificação por catálise básica utiliza-se geralmente NaOH ou KOH, que permite diminuir o tempo de reação e aumentar o rendimento da reação. Esses catalisadores são mais manipuláveis e menos corrosivos comparados com os catalisadores ácidos como ácido sulfúrico e ácido clorídrico. Quando há utilização de catalisadores ácidos a reação é designada por transesterificação por catálise ácida, mas esse método é pouco utilizado porque o tempo de reação é longo, os reagentes são

corrosivos (diminuindo a vida útil dos equipamentos) e a relação entre álcool e óleo é elevada aumentando assim o custo de produção. Também existem outras formas como transesterificação por fluidos supercríticos e transesterificação enzimática. A transesterificação básica é a mais comum na atual produção comercial de biodiesel. [5],[6]

A figura 1 representa a reação de transesterificação de um triglicerídeo.

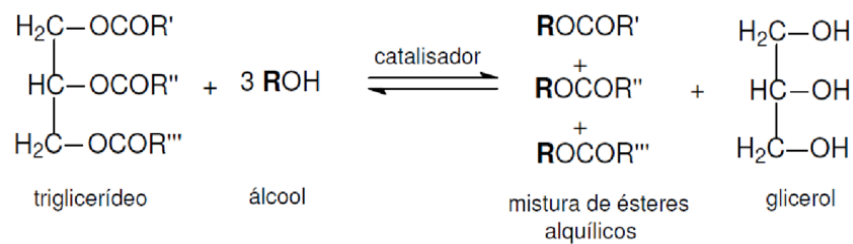


Figura 1: Reação de transesterificação [8].

#### 2.4.1 Transesterificação por catálise básica

Na reação de transesterificação por catálise básica primeiramente ocorre a reação entre uma base (KOH ou NaOH) e um álcool (metanol ou etanol). Se o álcool for metanol forma-se metóxido de sódio ou metóxido de potássio e se for etanol forma-se etóxido de sódio ou etóxido de potássio. A reação ocorre nas seguintes condições: a temperatura situa-se entre 60 e 70 °C, à pressão atmosférica com um tempo de duração entre 1 e 2 horas. Mas essa reação é muito sensível principalmente aos ácidos gordos livres e teor de água. [5],[6]

A reação forma-se biodiesel (líquida) fase mais leve e glicerina (sólida ou líquida) fase mais densa que podem ser separados por decantação. Apesar da glicerina arrastar a maior parte das impurezas ainda é necessário efetuar lavagens do biodiesel.

#### 2.4.2 Transesterificação por catálise ácida

A transesterificação por catálise ácida é utilizada como alternativa para evitar formações de sabões durante o processo, convertendo também os ácidos gordos livres em ésteres. Esse processo é idêntico ao anterior só que em vez de um catalisador básico utiliza um catalisador ácido como ácido sulfúrico, ácido clorídrico e ácido sulfônico. Permite altos rendimentos, mas com um tempo de reação elevado, a reação demora entre 4-70 horas e a temperatura de reação entre 50-80 °C. Também se utiliza álcool em excesso para ter melhores rendimentos, mas a separação da glicerina do biodiesel é difícil. O metanol

não reage com o catalisador sendo por isso são adicionados todos os reagentes ao mesmo tempo. [5], [6]

Este processo não é viável em produção industrial por ter reagentes corrosivos e necessitar de um tempo de reação muito elevado, mas é a melhor alternativa se forem utilizadas gorduras animais. As gorduras animais contêm grandes quantidades de ácidos gordos livres visto que a catálise básica é sensível a concentração de ácidos gordos livres.

#### 2.4.3 Transesterificação utilizando condições supercríticas

Na transesterificação sob condições supercríticas, a matéria-prima e o álcool são submetidos a pressões e temperatura superiores ao ponto crítico, atingindo temperaturas entre 350 e 400 °C e pressões superiores a 80 atm e razão metanol/óleo de 42:1. Mas em compensação tem um tempo de reação entre 2-4 min e a separação das fases é fácil porque não há utilização de catalisadores. [5]

Este método para produção de biodiesel não é rentável em pequena escala por necessitar de condições extremas (temperatura e pressão elevadas). Mas pode ser uma solução para resolver os problemas de tempo de reação e separação das fases em produções em larga escala. [6]

#### 2.4.4 Transesterificação por catálise enzimática

A transesterificação por catálise enzimática é diferente da transesterificação ácida e básica por utilizar biocatalisadores (enzimas), esta reação demora entre 4 e 40 horas e a temperatura entre 35 e 45 °C. É bastante vantajoso em matéria-prima contendo um teor elevado de ácidos gordos livres (óleos usados e gordura animal) tendo rendimentos superiores a 90 %, e a separação de fases é simples. Mas o principal problema deste processo é o custo das enzimas tornando o custo de produção elevado. [5],[6]

### 2.5 Norma Europeia EN 14214

Esta Norma Europeia especifica os requisitos e métodos analíticos para garantir a qualidade do biodiesel a ser utilizado como combustível em motores a diesel. Na tabela 2 apresentam-se os parâmetros de qualidade e os métodos de análise segundo a Norma EN 14214. [9]

Tabela 2: Norma EN 14214 [9]

Propriedade	Unidade	Limites		Método analítico
		Mínimo	Máximo	
Teor de FAME	%(m/m)	96,5	--	EN 14103
Massa volúmica a 15 °C	Kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidade a 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3,5	5,0	EN ISO 3104
Ponto flash	°C	101	--	EN ISO 2719 EN ISO 3679
Conteúdo em sulfatos	mg/Kg	--	10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Resíduos de Carbono (10% de resíduos destilado)	%(m/m)	--	0,3	EN ISO 10370
Número de cetano	--	51,0	--	EN ISO 5165
Conteúdo em cinzas sulfatadas	%(m/m)	--	0,02	ISO 3987
Conteúdo em água	mg/Kg	--	500	EN ISO 12937
Contaminação total	mg/Kg	--	24	EN 12662
Corrosão em tira de cobre (3 h a 50°C)	Rating	Classe 1		EN ISO 2160
Estabilidade oxidativa, 110°C	hora	6	--	EN 15751 EN 14112
Índice de acidez	mg KOH/g	--	0,5	EN 14104
Índice de iodo	g iodo/100g	--	120	EN 14111
Éster metílicos de ácido linolénico	%(m/m)	--	12,0	EN 14103
Éster metílicos polinsaturados (≥ 4 duplas ligações)	%(m/m)	--	1,0	EN 15779
Conteúdo em metanol	%(m/m)	--	0,2	EN 14110
Conteúdo em monoglicerídeos	%(m/m)	--	0,8	EN 14105
Conteúdo em diglicerídeos	%(m/m)	--	0,2	EN 14105
Conteúdo em triglicerídeos	%(m/m)	--	0,2	EN 14105
Glicerol livre	%(m/m)	--	0,02	EN 14105 EN 14106
Glicerol total	%(m/m)	--	0,25	EN 14105
Metais do grupo II (Na+K)	mg/Kg	--	5,0	EN 14108 EN 14109 EN 14538
Metais do grupo II (Ca+Mg)	mg/Kg	--	5,0	EN 14538

### 3. Produção de biodiesel em laboratório

O biodiesel neste trabalho foi produzido por transesterificação com catalisador básico utilizando NaOH. A catálise básica é muito mais rápida do que a catálise ácida, o tempo de reação pode demorar entre uma a duas horas.

#### 3.1 Tipo de matéria-prima para produção de biodiesel

Neste trabalho, produziram-se doze amostras de biodiesel a partir de diferentes tipos de óleos alimentares, utilizou-se seis óleos diferentes para produzir o biodiesel tendo com o objetivo utilizar óleos alimentares com características diferentes para poder comparar os resultados e ficar mais próximo da realidade dos óleos residuais que podem ser reutilizados para a produção de biodiesel. Antes da produção do biodiesel os óleos foram filtrados. Depois caracterizados medindo a acidez e o volume específico de cada óleo.

Os óleos utilizados foram:

- Óleo A – Óleo alimentar usado, aplicado como caso de estudo há alguns anos na produção de biodiesel.
- Óleo B – Óleo alimentar usado com mais de 2 anos. Esse óleo contém algumas impurezas sólidas.
- Óleo C – Óleo alimentar sem qualquer uso, que ultrapassou o prazo de validade no ano de 2013.
- Óleo D – Óleo alimentar novo (óleo de milho).
- Óleos E e F – Misturas de vários óleos alimentares usados várias vezes. Esses óleos tem uma alta concentração de impurezas e água.

#### 3.2 Produção de biodiesel através de transesterificação básica

A reação foi realizada utilizando metóxido de sódio como catalisador para a produção de biodiesel. Essas experiências foram realizadas para cada tipo de óleo.

Para produção de biodiesel através de transesterificação básica seguiu-se os seguintes passos:

- Filtrar e caracterizar o óleo (índice de acidez e densidade);
- Preparar o metóxido de sódio;
- Aquecer o óleo;
- Misturar o metóxido de sódio com o óleo realizando assim a reação de transesterificação;

- Separar o biodiesel da glicerina;
- Lavagem e secagem do biodiesel.

### 3.2.1 Preparação dos óleos

Os óleos utilizados foram filtrados para retirar as impurezas sólidas e secos para evaporar a água existente. Os óleos foram aquecidos a uma temperatura de 110 °C por cerca de 30 a 60 minutos.

Foi feita a medição do índice de acidez para saber a quantidade de catalisador (NaOH) necessária para neutralizar os ácidos gordos livres. Foi determinado a densidade de cada óleo a ser analisado. O meio para definir o índice de acidez e a densidade foi referido no capítulo 4.2 e 4.5, respetivamente.



*Figura 2: Óleos com impurezas.*

A filtragem do óleo foi feita através de um funil e de um filtro de papel como mostra a figura 3. O óleo foi aquecido para diminuir a viscosidade permitindo uma filtragem mais rápida.

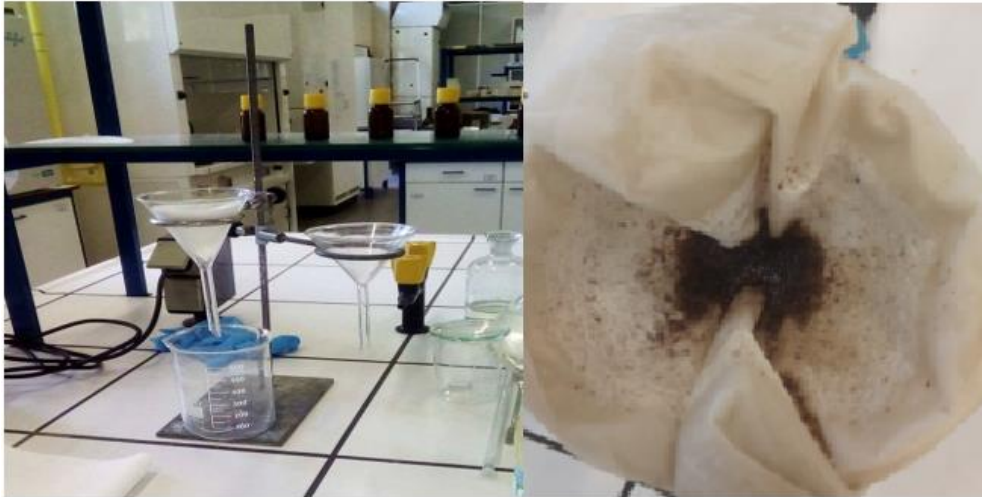


Figura 3: Processo de filtragem do óleo.

### 3.2.2 Preparação do metóxido de sódio

As reações foram utilizadas um excesso de álcool de 100%, ou seja, uma razão óleo e álcool de 1/6. Necessitando de 25% de metanol por volume de óleo. Posteriormente foi misturado metanol com NaOH.

Para determinar a quantidade de NaOH foram utilizadas as seguintes equações. Para cada 1L de óleo utilizou-se 5g de NaOH. Foi calculada a quantidade de NaOH necessário para neutralizar os ácidos gordos livres, utilizando as equações 1 a 3.

$$m_{neutralizar} = IA * \rho * V * \frac{M_{NaOH}}{M_{KOH}} \quad (1)$$

$$m_{NaOH} = V_{\acute{o}leo} * 5 \quad (2)$$

$$m_{NaOH_{total}} = m_{NaOH} + m_{neutralizar} \quad (3)$$

Onde:

$m_{neutralizar}$  - Massa de NaOH necessário para neutralizar os ácidos gordos livres(g);

IA - Índice de acidez do óleo (g KOH/g amostra);

$\rho$  - Massa volúmica da amostra (g/cm<sup>3</sup>);

$m_{NaOH}$  - Massa de Hidróxido de Sódio (g);

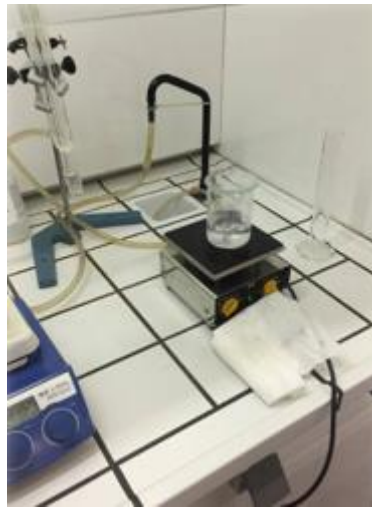
$m_{NaOH_{total}}$  - Massa de Hidróxido de Sódio usado na reação (g);

$M_{NaOH}$  - Massa molar de Hidróxido de Sódio (39,997 g/mol);

$M_{KOH}$  - Massa molar de Hidróxido de Potássio (56,1056 g/mol);

V - Volume de óleo (cm<sup>3</sup>);

Na figura 4 pode-se observar a preparação do metóxido de sódio.



*Figura 4: Preparação do metóxido de sódio.*

### 3.2.3 Processo de transesterificação usado o metanol

O óleo foi aquecido até atingir uma temperatura de 50-55 °C, ao atingir essa temperatura foi adicionado o metóxido de sódio, deixando reagir por 1 hora. Depois retirou-se o goble do reator e deixou-se em repouso por um período entre 12 e 24 horas.

Na figura 5 pode-se observar a reação de transesterificação para a produção de biodiesel.



*Figura 5: Reação de transesterificação.*

#### 3.2.4 Decantação da glicerina

Após o tempo de repouso, foi possível observar duas fases: a mais leve é o biodiesel (líquido) e a mais densa é a glicerina (sólida ou líquida). Quando sólida fica agarrada ao gobelé. As fases líquidas foram retiradas do gobelé e adicionadas num decantador para repousar durante mais alguns minutos. Após esse período notou-se a separação das fases, ao abrir a válvula do decantador retirou-se a fase mais densa que é a glicerina. Na figura 6 pode-se observar a glicerina quando é solida (1) e quando é líquida (2). A glicerina foi pesada e depois descartada.



*Figura 6: Separação do biodiesel da glicerina quando é sólida (1) ou líquida (2).*

### 3.2.5 Lavagem do biodiesel

Foi adicionado 50% de água destilada por volume de biodiesel produzido. Após agitar a ampola e ter deixado em repouso por algumas horas, observou-se a separação das fases, ficando a água por baixo e o biodiesel por cima. Abriu-se a válvula da ampola para a saída da água. O mesmo procedimento foi realizado 5 a 10 vezes por cada biodiesel produzido. Na primeira lavagem verificou-se que a água saía com muitas impurezas pelo que foi necessário repetir o processo até que a água saísse transparente.



*Figura 7: Processo de Lavagem do Biodiesel*

### 3.2.6 Secagem do biodiesel

Posterior ao processo de lavagens fica água no biodiesel, sendo necessário retirar essa água para aumentar o poder calorífico evitando também problemas no motor. O biodiesel foi transferido para o gobelé e colocado numa placa de aquecimento com temperatura entre 105 a 110 °C durante 30-60 minutos para evaporar a água presente no biodiesel.

### 3.2.7 Resultados obtidos das reações

Nas tabelas abaixo é possível observar os resultados das reações com diferentes tipos de óleos, com relação entre álcool e óleos diferentes e com tempo de reação diferentes. O rendimento da reação é determinado através da equação 4.

$$\eta = \frac{V_{biodiesel}}{V_{\acute{o}leo}} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

$\eta$ - Rendimento da reação (%);

$V_{biodiesel}$ - Volume de biodiesel produzido (cm<sup>3</sup>);

$V_{\acute{o}leo}$ - Volume de óleo utilizado (cm<sup>3</sup>);

Tabela 3: Condições de produção de cada tipo de biodiesel.

Tipo de Biodiesel	Temperatura (°C)	Razão óleo/álcool	Tempo de reação (min)	Data de Reação
A1	55	1/6	60	04/12/2019
A2	50	1/6	60	05/12/2020
B1	55	1/6	60	09/12/2019
B2	50	1/6	60	28/10/2020
B3	55	1/6	40	16/12/2020
C	55	1/6	60	18/12/2019
C	50	1/6	60	06/01/2020
D1	55	1/6	60	07/02/2020
D2	50	1/6	60	06/11/2020
E1	50	1/6	60	06/01/2021
E2	50	1/3	60	06/01/2021
F1	50	1/6	60	07/01/2021

Tabela 4: Resultados obtidos das reações.

Amostra	Alimentação da reação						Resultados		
	V <sub>Óleo</sub> (mL)	V <sub>MeOH</sub> (mL)	m <sub>NaOH</sub> (g)	m <sub>Neutralizar</sub> (g)	m <sub>Total NaOH</sub> (g)	m <sub>Total NaOH medida</sub> (g)	V <sub>biodiesel</sub> (mL)	m <sub>glicerina</sub> (g)	$\eta$ (%)
A1	300	75,0	1,5	1,210	2,710	2,73	260	64,7	86,67
A2	300	75,0	1,5	1,210	2,710	2,75	285	63,6	95,00
B1	300	75,0	1,5	0,082	1,582	1,56	294	44,8	98,00
B2	300	75,0	1,5	0,082	1,582	1,634	265	40,4	88,33
B3	400	100,0	2,0	0,110	2,110	2,282	350	88,1	87,50
C	250	62,5	1,25	0,867	2,117	2,377	220	41,3	88,00
	150	37,5	0,75	0,520	1,270	1,291	128	28,2	85,33
D1	300	75,0	1,5	0,082	1,582	1,63	280	32,3	93,33
D2	300	75,0	1,5	0,082	1,582	1,57	258	31,5	86,00
E1	300	75,0	1,5	0,228	1,728	1,746	250	42,5	83,33
E2	230	28,8	1,15	0,174	1,324	1,43	100	56,4	43,00
F1	300	75,0	1,5	0,072	1,572	1,746	282	36,4	94,00

Segundo as reações realizadas a principal característica da redução do rendimento é a razão entre óleo e álcool. Podendo-se observar que com um excesso de álcool em 100 %, ou seja, razão 1:6 teve um rendimento entre 85 a 98%, usando a razão estequiométrica sem excesso de álcool, ou seja, razão 1:3 o rendimento caiu para 43%.

A amostra E2 teve bastante dificuldade em separar a glicerina do biodiesel, foram necessárias várias lavagens o que diminuiu o rendimento da reação. A amostra C+ foi a fase mais leve do biodiesel produzido pelo óleo C, essa fase foi separada para análise a fim de verificar se era biodiesel. A reação utilizando o óleo C teve 3 fases, sendo uma fase de glicerina e mais duas fases de biodiesel. Essas 2 fases de biodiesel não se misturavam por isso a fase mais leve foi designada de C+, a reação com o óleo C foi realizada duas vezes e em ambas foram obtidas as 3 fases. Isso aconteceu devido ao óleo ter passado de validade desde 2013.

Também foram realizadas reações com etanol usando o óleo D, entretanto as reações tiveram um rendimento muito inferior comparativamente às reações realizadas com metanol, devido a separação das fases, foram realizadas várias lavagens e mesmo assim permaneceram algumas impurezas.

## 4. Controlo de qualidade

O controlo de qualidade do biodiesel foi realizado com base na norma EN 14214. O controlo de qualidade do biodiesel é importante porque o não cumprimento dos parâmetros das normas pode causar vários problemas aos equipamentos. Realizou-se em laboratório, a análise de alguns parâmetros de qualidade para cada amostra de biodiesel produzida.

### 4.1 Determinação do teor de FAMES por cromatografia gasosa

O objetivo é determinar o teor de ésteres metílicos de ácidos gordos (FAME) segundo a norma europeia. Destinado ao uso como biocombustível puro ou como um componente de mistura para aquecimento e combustíveis diesel. Também permite determinar o conteúdo de éster metílico do ácido linolénico.

O teor de ésteres foi determinado por cromatografia Gasosa (GC) baseando-se na Norma Europeia BS EN 14103:2003. O padrão interno utilizado foi uma solução de heptadecanoato de metilo em heptano, com uma concentração de 5 mg/mL. [10]

O teor de ésteres metílicos é o parâmetro mais importante pois mede a pureza do biodiesel. A norma estabelece que o teor FAME mínimo seja de 96,5%. Permite determinar também o ácido linolénico que é muito instável e rancifica quando exposto à luz e ao oxigénio. A norma estabelece que a percentagem em ácido linolénico não ultrapasse 12%.

#### 4.1.1 Preparação de uma amostra de biodiesel para análise por GC

1. Preparação da solução de padrão interno (5 mg/mL de heptadecanoato de metilo em heptano), realizando uma pesagem precisa com aproximadamente 250 mg de heptadecanoato de metilo num balão volumétrico e adicionando 50 ml de heptano;
2. Utilização de uma balança analítica para pesar aproximadamente 250 mg de biodiesel seco num frasco de vidro de 15 mL;
3. Por fim, adicionar precisamente 2 mL de solução de padrão interno a 5 mg/mL ao biodiesel.

#### 4.1.2 Método e análise GC-FID

O método (software) para a análise de biodiesel por cromatografia gasosa com detetor de ionização por chama (GC-FID) deve ser previamente definido com as seguintes condições de operação [10]:

Programa de temperatura do forno: a temperatura inicial é de 50 °C (1 min), aumentar 25 °C/min até atingir 200 °C, seguido por um segundo aumento a 3 °C/min até 230°C. O tempo total de análise é de 20 min. A temperatura do injetor é definida para 250 °C e uma proporção de divisão (razão de split) de 1:100. A temperatura do detetor está definida para 250 °C. O volume da amostra injetada é de 1 µL e o caudal volumétrico de hélio (usado como gás de arraste) é de 1 mL/min.

#### 4.1.3 Tratamento de dados obtidos por GC-FID

As identificações de todos os FAME presentes nas amostras são feitas pela comparação dos tempos de retenção com os do cromatograma da mistura do padrão FAME 37 como se mostra na figura 8 e na tabela 5. [11]

O conteúdo de FAME é calculado através da equação 5 [10]:

$$C_{FAME(\%)} = \frac{(\sum A_{FAME} - A_{IS})}{A_{IS}} \times \frac{[C_{IS}] \times V_{IS}}{m_{biodiesel}} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

$C_{FAME(\%)}$ - Conteúdo de FAME (%);

$\sum A_{FAME}$ - Área total dos FAME desde C14:0 a C24:1;

$A_{IS}$ - Área do pico correspondente ao heptadecanoato de metilo;

$[C_{IS}]$  - Concentração da solução de heptadecanoato de metilo (mg/L);

$V_{IS}$  - Volume da solução de heptadecanoato de metilo (mL);

$m_{biodiesel}$  - Massa da amostra de biodiesel (mg).

O teor de éster metílico do ácido linolénico (L), expresso como uma fração de massa em percentagem, é calculado usando a seguinte equação: [10]

$$Teor_{L(\%)} = \frac{A_L}{(\sum A_{FAME} - A_{IS})} \times 100 \quad (6)$$

Onde

$Teor_{L(\%)}$ - Teor de éster metílico do ácido linolénico (%);

$\sum A_{FAME}$ - Área total dos FAME desde C14:0 a C24:1;

$A_{IS}$ - Área do pico correspondente ao heptadecanoato de metilo;

$A_L$ - Área do pico correspondente ao éster metílico do ácido linolénico.

Tabela 5: ID do pico, nome do composto, ID do pico e tempo de retenção (min). [11]

Peak number	Compound name	Peak ID	Retention time (min)
1	Butyric acid methyl ester	C4:0	3.662
2	Caproic acid methyl ester	C6:0	4.989
3	Caprylic acid methyl ester	C8:0	6.285
4	Capric acid methyl ester	C10:0	7.459
5	Undecanoic acid methyl ester	C11:0	8.053
6	Lauric acid methyl ester	C12:0	8.686
7	Tridecanoic acid methyl ester	C13:0	9.376
8	Myristic acid methyl ester	C14:0	10.171
9	Myristoleic acid methyl ester	C14:1	10.517
10	Pentadecanoic acid methyl ester	C15:0	11.085
11	cis-10-Pentadecanoic acid methyl ester	C15:1	11.498
12	Palmitic acid methyl ester	C16:0	12.172
13	Palmitoleic acid methyl ester	C16:1	12.514
14	Heptadecanoic acid methyl ester	C17:0	13.413
15	cis-10-Heptadecanoic acid methyl ester	C17:1	13.819
16	Stearic acid methyl ester	C18:0	14.872
17, 18	Oleic acid methyl ester, Elaidic acid methyl ester	C18:1 (c+t)	15.232
19, 20	Linoleic acid methyl ester, Linoleaidic acid methyl ester	C18:2 (c+t)	15.987
21	gamma-Linolenic acid methyl ester	C18:3n6	16.521
22	Linolenic acid methyl ester	C18:3n3	17.106
23	Arachidic acid methyl ester	C20:0	18.341
24	cis-11-Eicosenoic acid methyl ester	C20:1	18.811
25	cis-11,14-Eicosadienoic acid methyl ester	C20:2	19.918
26, 27	cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid methyl ester, Heneicosanoic acid methyl ester	C20:3n6, C21:0	20.620
28	cis-11,14,17-Eicosatrienoic acid methyl ester	C20:3n3	21.257
29	Arachidonic acid methyl ester	C20:4n6	21.629
30	cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid methyl ester	C20:5n3	23.212
31	Behenic acid methyl ester	C22:0	23.524
32	Erucic acid methyl ester	C22:1	24.264
33	cis-13,16-Docosadienoic acid methyl ester	C22:2	26.076
34	Tricosanoic acid methyl ester	C23:0	27.149
35	Lignoceric acid methyl ester	C24:0	31.893
36, 37	cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexanoic acid methyl ester, Nervonic acid methyl ester	C22:6n3, C24:1	33.116

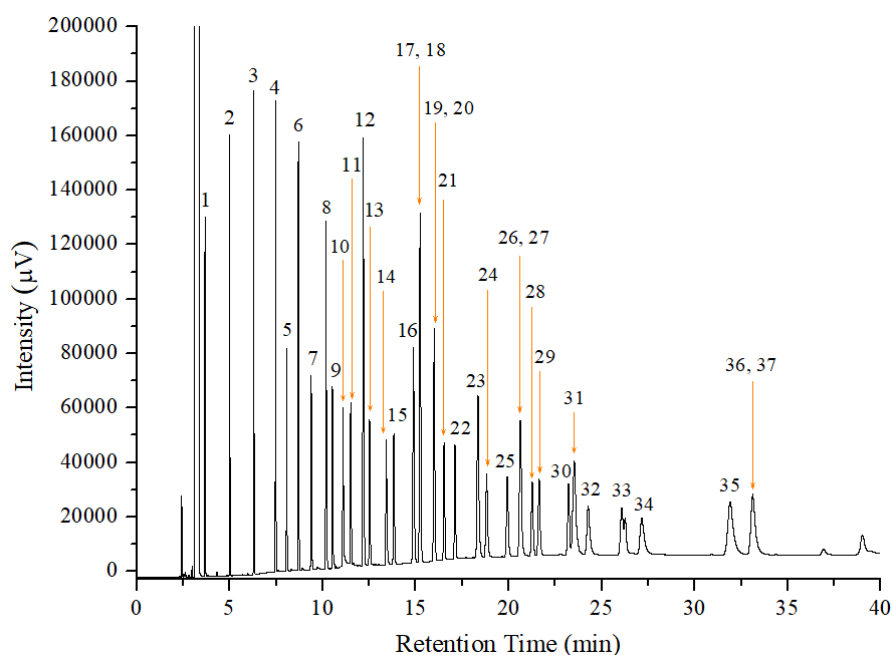


Figura 8: Análise cromatográfica obtida para a mistura FAME de 37 compostos utilizando o equipamento Shimadzu com coluna OPTIMA Biodiesel F [11].

A figura 9 mostra o gráfico do teor de FAME da amostra de biodiesel A1 comparando os tempos de retenção e área de cada FAME. As figuras que representam as outras amostras encontram-se no anexo A.

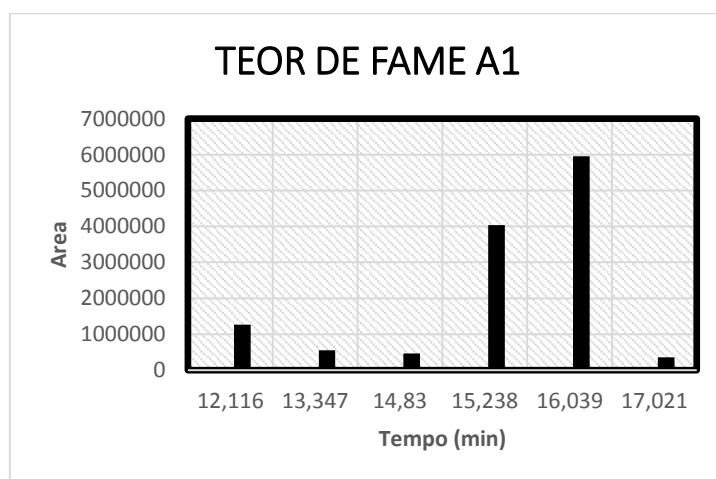


Figura 9: Resultado obtido da análise do biodiesel A1.

A tabela 6 mostra os compostos e o teor de FAME da amostra A1.

Tabela 6: Resultado obtido na análise do biodiesel A1

<b>A1</b>					V <sub>s</sub>	2	mL
					[IS]	5,074	mg/mL
11.Nov.2020							
biodiesel sample mass						263,6	mg
Peak ID	Name	time	Area	Structure	FAME (%)	Conversion (%)	
1	Éster metílico do ácido palmítico	12,116	1263899	C16:0	8,728	83,44%	
2	Éster metílico do ácido heptadecanóico	13,347	557492	C17:0	3,850		
3	Éster metílico do ácido esteárico	14,83	467275	C18:0	3,227		
4	Éster metílico do ácido oleico, Éster metílico do ácido elaidico	15,238	4036290	C18:1 (c+t)	27,873		
5	Éster metílico do ácido linoleico, Éster metílico do ácido linolelaídico	16,039	5955405	C18:2 (c+t)	41,125		
6	Linolenic acid methyl ester	17,021	359910	C18:3n3	2,485		
Total			12640271		87,288		
Conversion in FAME					83,438		

A tabela seguinte é um resumo das tabelas do teor de FAME mostrando o conteúdo de éster metílico do ácido linolénico e os FAME de todas as amostras de biodiesel que foram utilizadas.

Tabela 7: Percentagens dos FAME e do éster metílico do ácido linolénico.

Amostras	A1	A2	B1	B2	B3	D1
FAME	83,44%	86,75%	85,19%	83,19%	86,76%	91,61%
Linolenic acid methyl ester	2,49%	0,78%	0,83%	0,81%	0,86%	0,82%
Amostras	D2	C1	C+	E1	E2	F1
FAME	74,06%	85,72%	67,94%	81,34%	64,22%	80,86%
Linolenic acid methyl ester	2,18%	0%	0%	0%	0%	0%

Com base na tabela 7 é possível verificar que todas as amostras o teor de FAME é inferior a 91,61%, ou seja, nenhum cumpriu a norma. O teor de ácido linolénico está entre 0% e 2,485% logo todas as amostras cumpriram a norma.

#### 4.1.4 Derivatização de ácidos gordos por BF<sub>3</sub>

Através da derivação dos ácidos gordos por trifluoreto de boro (BF<sub>3</sub>) pode-se observar a distribuição dos ácidos gordos presentes nos óleos, transformando os triglicéridos e ácidos gordos em ésteres metílicos [11].

Para a derivatização dos óleos foram necessários os seguintes passos [11]:

1. Preparação da solução 0,5 mol/L de KOH em metanol (adicionando 28,05 g de KOH em um litro de metanol);
2. Preparação da solução 10 mg/mL de heptadecanoato de metilo (foi pesado 500 mg de heptadecanoato de metilo e adicionado 50 mL de heptano);

3. Adição de 25 mg de óleo e 2,5 mL da solução (0,5 mol/L) de KOH em metanol num frasco de 20 mL com tampa. Introduzindo o frasco na estufa a 90 °C durante 10 minutos, retirando o frasco da estufa deixando arrefecer até a temperatura ambiente;
4. Adição de 2 mL de BF<sub>3</sub> em solução de metanol (10% de BF<sub>3</sub> em relação ao metanol) em seguida foi novamente introduzida na estufa a 90 °C por 30 minutos, retirando o frasco da estufa deixando arrefecer até a temperatura ambiente;
5. Adição de 3 mL de heptadecanoato de metilo, agitar utilizando o Vórtex, seguida da adição de 2 mL de solução sobressaturada de NaCl agitando novamente;
6. Centrifugação da amostra durante 5 minutos a 3000 rpm para separar as 2 fases;
7. Recolha de 2 mL da fase mais leve (fase superior) para um frasco de 4 mL e adição de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para remover a água contida na amostra.

Depois da derivação dos óleos foi utilizado o GC para a análise do teor de FAME. O método e o tratamento dos dados são idênticos ao do biodiesel. No anexo A pode observar-se a distribuição dos ácidos gordos presentes nas amostras de óleo.

## 4.2 Massa volúmica a 15 °C

A determinação da massa volúmica pode ser realizada de acordo com a Norma Portuguesa NP 938 (1998) e a Norma Europeia EN ISO 3675. Foi determinada utilizando um densímetro (resultados em g/cm<sup>3</sup>). Esta propriedade é muito importante, pois tem uma grande influência no desempenho da injeção do combustível. [12]

Procedimento experimental à temperatura ambiente (T > 15 °C) [12]:

- Colocar cerca de 250 mL de amostra numa proveta;
- Medir a temperatura ambiente (T) utilizando um termómetro;
- Escolher um densímetro na gama esperada, introduzir o densímetro dentro da proveta e esperar que este pare o seu movimento;
- Ler o valor de massa volúmica indicado pela escala ( $\rho_{Biodiesel}^T$ );
- Calcular a massa volúmica a 15 °C, utilizando a equação 7.

$$\rho_{Biodiesel}^{15^\circ} = \frac{\rho_{Biodiesel}^{Ta}}{1 - 23 \times 10^{-6}(Ta - 15^\circ) - 2 \times 10^{-8}(Ta - 15^\circ)^2} \quad (7)$$

Onde:

$\rho_{Biodiesel}^{15^\circ}$  - Massa volúmica a 15 °C (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_{Biodiesel}^{Ta}$  - Massa volúmica a temperatura ambiente (g/cm<sup>3</sup>);

$Ta$ - Temperatura ambiente (°C);

Este procedimento foi utilizado para medir as amostras de óleos. Como mostram a tabela 8 e a figura 10.

*Tabela 8: Análise de resultados da massa volúmica dos óleos (g/cm<sup>3</sup>)*

Óleo	Massa volúmica (g/cm <sup>3</sup> )	
	20°C	15°C
A	0,92	0,9201
B	0,919	0,9191
C	0,93	0,9301
D	0,919	0,9191
E	0,925	0,9251
F	0,917	0,9171



Figura 10: Medição da massa volúmica da amostra utilizando um densímetro.

A determinação da massa volúmica das amostras de biodiesel foi realizada através de um equipamento a temperatura de 15 °C. A tabela 9 mostra a densidade das amostras de biodiesel. A figura 11 mostra o valor no equipamento utilizado.

Tabela 9: Análise de resultados da massa volúmica das amostras de biodiesel ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

Biodiesel	Massa Volúmica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 15°C
A1	0,8900
A2	0,8887
B1	0,8899
B2	0,8908
B3	0,8907
C1	0,8988
C+	0,8993
D1	0,8868
D2	0,8924
E1	0,8834
E2	0,8830
F1	0,8911

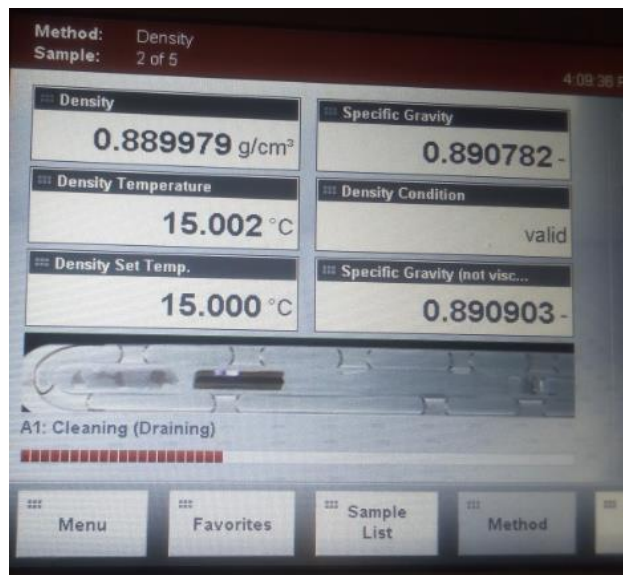


Figura 11: Medição automática da massa volúmica

### 4.3 Medição da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica

A Norma Internacional ISO 3104: 1994, do ISO/TC28, foi adotada como Norma Europeia pelo Comité técnico CEN/TC19 “produtos petrolíferos, lubrificantes e produtos relacionados”. A viscosidade é muito importante pois não só afeta o desempenho da injeção do combustível como o da própria combustão. [13]

A norma permite determinar a viscosidade cinemática ( $\nu$ ) de produtos petrolíferos líquidos por medição de tempo de escoamento de um volume determinado líquido, sob ação da gravidade, através de um viscosímetro. A viscosidade cinemática é a resistência de escoamento de um fluido sob ação da gravidade enquanto viscosidade dinâmica, é a relação entre a tensão de corte aplicada num líquido e o correspondente gradiente da velocidade. A viscosidade dinâmica ( $\tilde{\eta}$ ) pode ser obtida através da equação 8. [13]

$$\nu = \frac{\tilde{\eta}}{\rho} \quad (8)$$

Onde:

$\nu$  - Viscosidade cinemática (mm<sup>2</sup>/s);

$\rho$  - Massa volúmica (g/cm<sup>3</sup>);

$\eta$  - Viscosidade dinâmica ( $\frac{mm^2 * g}{cm^3 * s}$ )

Foi medida a uma temperatura constante de 40°C. Para o biodiesel foram utilizados os valores de 100 e 200 rpm e para o óleo foi utilizada uma rotação 50 rpm, como mostram as tabelas 10 e 11.

Tabela 10: Viscosidade cinemática e dinâmica do biodiesel.

Biodiesel	Massa Volúmica (g/cm <sup>3</sup> ) 15°C	rpm 100		rpm 200	
		Viscosidade dinâmica ( $\frac{mm^2 * g}{cm^3 * s}$ )	Viscosidade cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	Viscosidade dinâmica ( $\frac{mm^2 * g}{cm^3 * s}$ )	Viscosidade cinemática (mm <sup>2</sup> /s)
A1	0,8900	4,8168	5,4123	4,6794	5,2579
A2	0,8887	4,8008	5,4018	4,6641	5,2481
B1	0,8899	5,3784	6,0435	4,7922	5,3848
B2	0,8908	5,1324	5,7615	4,9732	5,5828
B3	0,8907	5,1940	5,8316	4,8969	5,4981
C1	0,8988	6,2993	7,0086	6,2139	6,9135
C+	0,8993	6,1358	6,8225	5,8147	6,4654
D1	0,8868	6,1612	6,9475	5,2334	5,9014
D2	0,8924	7,2271	8,0985	6,0153	6,7406
E1	0,8834	5,0708	5,7401	4,9641	5,6193
E2	0,8830	7,3371	8,3096	7,0657	8,0022
F1	0,8911	5,2049	5,8408	5,0935	5,7158

Tabela 11: Viscosidade cinética e dinâmica dos óleos.

Óleo	rpm 50		
	Viscosidade dinâmica ( $\frac{mm^2 * g}{cm^3 * s}$ )	Massa Volúmica (g/cm <sup>3</sup> ) 15°C	Viscosidade cinemática (mm <sup>2</sup> /s)
A	35,411	0,92	38,491
B	31,774	0,919	34,575
C	59,355	0,93	63,822
D	30,125	0,919	32,780
E	30,598	0,925	33,079
F	29,016	0,917	31,643

A gama de viscosidades do equipamento utilizado localiza-se no intervalo de 30-50% do valor. Nesta gama é aconselhável a utilização de velocidades de rotação próximas de 50 rpm e 200 rpm para os óleos e para o biodiesel, respetivamente. A faixa de viscosidade para o biodiesel é entre 3,5 e 5 mm<sup>2</sup>/s a 40 °C segundo a norma logo as amostras produzidas nenhuma delas cumpriu a norma.

#### 4.4 Determinação do teor de água (ISO 12937)

De acordo com a norma ISO 12937, determinou-se o teor de água por titulação coulométrica de Karl Fischer. Os resultados experimentais são expressos em miligramas de água por grama de amostra. O teor de água no biodiesel afeta a degradação dos equipamentos [14].

##### **Equipamento:** [14]

Karl Fisher Metrohm (Titrino 736 e Titrino 703 Stand) com eletrodo duplo de platina.

##### **Método analítico:** [14]

- Aferição do reagente (Hydranal composite 5) com água ultrapura;
- Solvente: mistura 1:1 etanol/éter dietílico;
- Seringa para introdução da amostra / balança analítica.

Procedimento (água ultrapura e biodiesel):

- Adição de solvente à célula de titulação;
- Inicialização do método de análise no software TiNet 2.3 (ou manualmente);
- Acondicionamento da célula de titulação – eliminação da água do solvente;
- Introdução da amostra;
- Titulação da amostra.

##### 4.4.1 Determinar o teor de água na amostra

Na titulação foram introduzidas amostras de biodiesel superiores a 0,2 g. O equipamento mostra os valores da massa de biodiesel (g) e o teor de água (mg água/g amostra). Foram feitas duas análises para cada amostra de biodiesel. Para determinar a massa de água contida em cada amostra de biodiesel (mg) foi utilizado a equação 9:

$$m_{H_2O} = Teor_{agua} * m_{biodiesel} \quad (9)$$

Onde:

$Teor_{agua}$  - Água contida na amostra (mg H<sub>2</sub>O/g amostra);

$m_{biodiesel}$  - Massa de amostra introduzida (g);

$m_{H_2O}$  - Massa de água na amostra analisada (mg).

Foram realizadas duas análises para cada amostra de biodiesel. A tabela 12 mostra os valores da massa de biodiesel utilizada (g), o teor de água contida no biodiesel (mg H<sub>2</sub>O/g amostra) e a massa de água contida no biodiesel (mg). Na figura 12 é possível observar o gráfico do equipamento Karl Fisher Metrohm medindo o teor de água.

Tabela 12: Teor de água contida no biodiesel

Teor de água									
Biodiesel	Massa biodiesel (g)		Teor de água (mg/g)				Massa água (mg)		
	Analise 1	Analise 2	Analise 1	Analise 2	Média	%	Analise 1	Analise 2	Média
A1	0,262	0,321	0,718	0,713	0,716	0,072%	0,189	0,229	0,209
A2	0,284	0,640	0,622	0,632	0,627	0,063%	0,176	0,404	0,290
B1	0,323	0,300	0,657	0,647	0,652	0,065%	0,212	0,194	0,203
B2	0,324	0,266	0,451	0,440	0,446	0,045%	0,146	0,117	0,132
B3	0,381	0,746	0,172	0,184	0,178	0,018%	0,065	0,137	0,101
C1	0,275	0,294	1,356	1,365	1,360	0,136%	0,373	0,402	0,387
C+	0,124	0,126	3,251	3,162	3,206	0,321%	0,402	0,397	0,399
D1	0,236	0,197	0,541	0,515	0,528	0,053%	0,128	0,101	0,114
D2	0,193	0,292	0,891	0,871	0,881	0,088%	0,172	0,254	0,213
E1					0,494	0,049%			
E2					0,404	0,040%			
F1					0,345	0,034%			

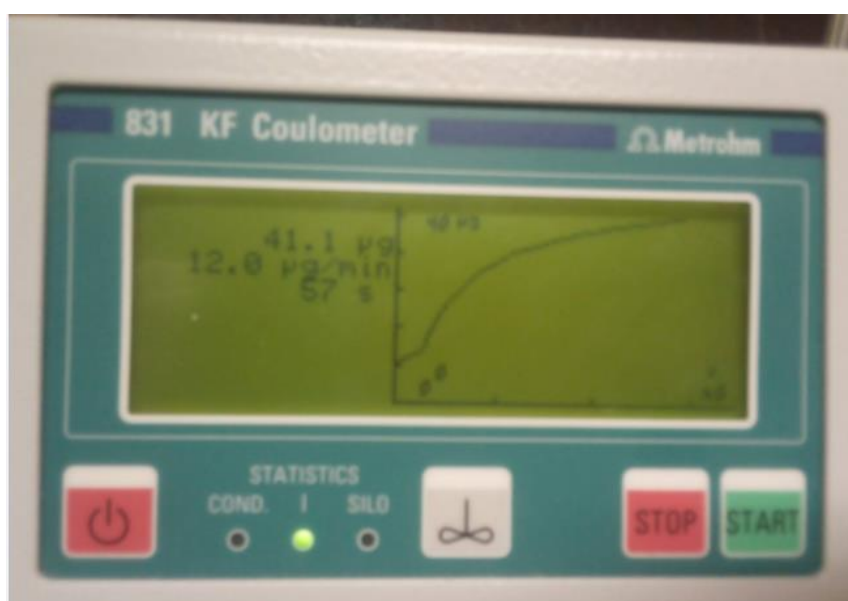


Figura 12: Karl Fisher Metrohm medindo o teor de água.

A norma exige que o biodiesel tenha um conteúdo em água inferior a 0,05%. Nem todas as amostras cumpriram a norma, as que não cumpriram a norma devem ser deixadas a evaporar aproximadamente por 30 a 60 minutos a uma temperatura de 110°C.

#### 4.5 Índice de acidez (EN 14104)

Mediu-se o índice da acidez por titulação volumétrica de acordo com a norma EN 14104 (2003), exprimindo-se os resultados experimentais em miligramas de KOH por grama de amostra. O índice de acidez é especialmente importante pois reflete o grau de degradação do biodiesel durante a armazenagem. [15]

##### 4.5.1 Procedimento experimental

**Solvente:** Mistura 1:1 de etanol/éter dietílico

**Solução padrão** de KOH a 0,1 mol/L

Para determinar o índice de acidez, foi necessário pesar 10 g de amostra (óleo e biodiesel) num erlenmeyer, adicionar 50 mL de solvente com uma proveta e 5 gotas de fenolftaleína, titular com KOH utilizando uma microbureta até a solução apresentar uma coloração rosa. Por fim, foi medido o volume gasto na titulação ( $V$ ). A acidez da amostra foi determinada através da equação 10 [15]:

$$IA = \frac{M_{KOH} \times V_{KOH} \times [C]_{KOH}}{m_{biodiesel}} \quad (10)$$

Onde:

$IA$  - Índice de acidez do biodiesel (mg KOH/g biodiesel);

$V_{KOH}$  - Volume gasto da solução padrão de hidróxido de potássio (mL);

$[C]_{KOH}$  - Concentração da solução padrão de hidróxido de potássio (mol/L);

$m_{biodiesel}$  - Massa de biodiesel utilizado na análise (g);

$M_{KOH}$  - Massa molar do hidróxido de potássio (56,1 g/mol).



Figura 13: Medição do índice de acidez

Nos óleos B, C e D foram medidos aproximadamente 5 g e adicionado 25 mL de solvente. Nos óleos B e D foram utilizados uma solução padrão de KOH a 0,09337 mol/L. Na amostra C+ foi utilizada apenas 2 g de biodiesel e 10 mL de solvente.

As tabelas 13 e 14 mostram as massas de amostras (biodiesel e óleos) que foram tituladas, o volume de KOH ( $V_{KOH}$ ) utilizado e o índice de acidez das amostras.

Tabela 13: Índice de acidez das amostras de biodiesel

Biodiesel	Massa da amostra de biodiesel (g)	$V_{KOH}$ (mL)	CKOH (mol/L)	IA ( $mg_{KOH}/g$ )
A1	10,003	0,8	0,100	0,449
A2	10,02	0,5	0,100	0,280
B1	10,011	0,3	0,100	0,168
B2	10,012	0,4	0,100	0,224
B3	10,03	0,3	0,100	0,168
C1	10,002	1,7	0,100	0,954
C+	2,081	0,3	0,100	0,809
D1	10,05	0,2	0,100	0,112
D2	10,056	1,1	0,100	0,614
E1	10,0224	0,9	0,100	0,504
E2	10,0376	1,1	0,100	0,615
F1	10,014	0,5	0,100	0,280

Tabela 14: Medição do índice de acidez dos óleos.

Óleo	Massa da amostra de óleo (g)	VKOH (mL)	CKOH (mol/L)	IA (mg <sub>KOH</sub> /g)
A	10,029	11,4	0,100	6,377
B	5,003	0,4	0,093	0,419
C	5,025	5,4	0,100	6,029
D	5,018	0,4	0,093	0,418
E	10,022	2,2	0,100	1,231
F	10,036	0,7	0,100	0,391

#### 4.6 Determinação do índice de iodo

O índice de iodo foi determinado segundo a norma EN 14114 que exige que o biodiesel tenha um índice de iodo inferior a 120 g iodo/100 g. O índice de iodo determina a estabilidade do biodiesel, quanto maior o índice de iodo, mais instável é o biodiesel. [16]

**Reagentes:** Biodiesel, Iodeto de potássio, Tiosulfato de sódio, Gotas de amido, Ciclohexano, Ácido acético, Reagente Wijs, água destilada. O método de preparação dos reagentes está no anexo A.

Para a determinação do índice de iodo foram necessários os seguintes passos [16]:

- Pesar entre 0,13 g e 0,15 g de biodiesel para um Erlenmeyer e deixar outro vazio para ser o branco;
- Adicionar 20 mL de solvente (ciclohexano e ácido acético na razão 1:1);
- Adicionar 25 mL de reagente Wijs;
- Tapar o Erlenmeyer e guardar durante 1 hora em lugar escuro;
- Adicionar 20 mL de iodeto de potássio (100 g/L);
- Adicionar 150 mL de água destilada;
- Titular com tiosulfato de sódio 0,1 mol/L padrão até a solução ficar amarelo-claro;
- Adicionar umas gotas de amido até escurecer bastante a solução;
- Continuar a titulação até a solução apresentar uma coloração branca.

O valor de iodo é obtido pela equação 11. [16]

$$IV = \frac{(V_{branco} - V_{Biodiesel}) * [C] * 12,69}{m_{biodiesel}} \quad (11)$$

Onde:

$IV$  - Valor de iodo do biodiesel (g iodo/100 g biodiesel);

$V_{branco}$  - Volume de tiosulfato de sódio gasto no ensaio em branco (mL);

$V_{Biodiesel}$  - Volume de tiosulfato de sódio gasto na titulação do biodiesel (mL);

$[C]$  - Concentração de tiosulfato de sódio padrão (0,1 mol/L);

$m_{biodiesel}$  - Massa de biodiesel (g).

A tabela 15 mostra o índice de iodo perante a massa de biodiesel utilizada e o volume de titulação necessário. As outras amostras realizadas estão no Anexo A.

*Tabela 15: Análise dos resultados da medição do índice de iodo da Amostra A2.*

A2			
Amostra	1	2	3
Massa (g)	0,1469	0,1361	0,1397
Volume (mL)	23,85	24,10	24,1
IV	90,98	95,87	93,40

#### 4.7 Caracterização do biodiesel

Caracterizou-se o biodiesel segundo a Norma Europeia EN 14214. A gama de resultados obtida para as diferentes propriedades em estudo encontra-se na tabela 16, assim como os limites impostos pela norma.

Tabela 16: Propriedades das amostras de biodiesel em relação com a Norma Europeia (EN 14214).

Propriedades								
Norma EN 14214		Massa volúmica a 15°C (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidade cinemática a 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	Índice de acidez (mg <sub>KOH</sub> /g)	Teor de água (%)	Teor em FAME (%)	Teor em ácido linolénico (%)	Índice de iodo (gI <sub>2</sub> /100g)
		0,86-0,90	3,5-5,0	<0,5	<0,05%	>96,5	<12	<120
Biodiesel	A1	0,890	5,258	0,45	0,072%	83,44%	2,49%	114,40
	A2	0,889	5,248	0,28	0,063%	86,75%	0,78%	93,41
	B1	0,890	5,385	0,17	0,065%	85,19%	0,83%	84,46
	B2	0,891	5,583	0,22	0,045%	83,19%	0,81%	105,81
	B3	0,891	5,498	0,17	0,018%	86,76%	0,86%	79,77
	C1	0,899	6,914	0,95	0,136%	85,72%	0,82%	87,97
	C+	0,899	6,465	0,81	0,321%	67,94%	2,18%	53,06
	D1	0,887	5,901	0,11	0,053%	91,61%	0,00%	75,45
	D2	0,892	6,741	0,61	0,088%	74,06%	0,00%	90,90
	E1	0,883	5,619	0,50	0,049%	81,34%	0,00%	94,57
	E2	0,883	8,002	0,61	0,040%	64,22%	0,00%	106,15
	F1	0,891	5,716	0,28	0,034%	80,86%	0,00%	110,32

A amostra E2 teve bastante dificuldade em separar a glicerina do biodiesel. Foram necessárias várias lavagens, formou-se sabões que conseqüentemente diminuiu a qualidade do biodiesel. A amostra C+ foi a fase mais leve do biodiesel produzido através do óleo C, essa fase foi separada para análise a fim de verificar se era biodiesel. Essa amostra teve menor teor de FAME.

A Norma EN 14214 possibilita a verificação da qualidade de um lote de biodiesel garantindo a segurança e o rendimento dos veículos e outros equipamentos.

O teor de FAME foi inferior a 96,5% em todas as amostras, ou seja, não está de acordo com a Norma EN 14214. A amostra com maior teor de FAME é D1 com 91,61%. A análise do teor de éster metílico de ácido linolénico (C18:3) mostra que todas as amostras são inferiores a 12% de acordo com a Norma EN 14214.

Segundo a Norma EN 14214 o biodiesel tem uma massa volúmica compreendida entre 860 e 900 kg/m<sup>3</sup> a 15°C. As amostras apresentam massas volúmicas entre 0,88 g/cm<sup>3</sup> e 0,899 g/cm<sup>3</sup>, portanto estão enquadradas na Norma.

Relativamente à viscosidade, a Norma EN 14214 exige que o biodiesel tenha uma viscosidade cinemática entre 3,50 mm<sup>2</sup>/s e 5,00 mm<sup>2</sup>/s. As amostras apresentam uma viscosidade cinemática entre 5,248 mm<sup>2</sup>/s e 8,002 mm<sup>2</sup>/s, portanto não estão enquadradas nesta Norma. As amostras produzidas pelo óleo A foram as que ficaram mais próximas de cumprir a Norma.

No que refere ao conteúdo em água, a Norma EN 14214 exige que o biodiesel tenha um conteúdo em água inferior a 0,05% (500 mg H<sub>2</sub>O/kg biodiesel). As amostras apresentam um conteúdo entre 0,034% e 0,321%. Nem todos cumpriram a Norma EN 14214, contudo esse valor pode ser alcançado realizando a secagem do biodiesel respetivo. Na amostra C+ não foi feita a evaporação da água, por isso contém um alto conteúdo de água por ser uma fase diferente do biodiesel. As amostras B2, B3, D1, E1, E2, F1 cumpriram a Norma, as outras amostras que não cumpriram a norma devem ser deixadas a evaporar aproximadamente por 30 a 60 minutos a uma temperatura de 110°C.

Quanto ao índice de acidez, a Norma EN 14214 exige que o biodiesel tenha um índice de acidez inferior a 0,50 mg KOH/g. As amostras apresentam um índice de acidez entre 0,112 mg KOH/g a 0,954 mg KOH/g. As amostras C1, C+, D2, E2 durante o processo de lavagem formaram sabões que dificultaram a lavagem do biodiesel por isso o índice de acidez foi elevado, não cumprindo a Norma EN 14214. As restantes amostras apresentam valores no limite máximo permitido pela Norma.

No que diz respeito ao índice de iodo, a norma EN 14214 exige que o biodiesel tenha um índice de iodo inferior a 120 g iodo/100 g. As amostras apresentam um índice de iodo entre 53,1 g iodo/100g e 114,4 g iodo/100 g. Portanto os valores apresentados se enquadram no limite máximo permitido pela Norma.

## 5. Implementação de sistemas renováveis para substituir o diesel fóssil na empresa Agropec

A Agropec é uma empresa localizada na ilha de São Vicente em Cabo Verde, que tem como principal atividade a criação, reprodução e abate aves, com o objetivo de comercializar os produtos derivados para toda a ilha de São Vicente. A empresa abate cerca de 26 mil frangos por mês com um consumo elétrico de 27 MWh, consumo de gás butano de 550 kg (aquecimento dos ovos) e um consumo de gásóleo de 330 L (aquecimento de água para o abate 60 °C). Tem um gerador elétrico a gásóleo de 100 kW para emergência com um consumo de 7L/h.

A empresa tem um projeto de implementação de biogás para o reaproveitamento dos dejetos produzidos pelos frangos. Tem uma produção de 6,91 ton/dia de dejetos, produzindo 300 m<sup>3</sup>/dia de biogás e também 400kg/dia de biofertilizantes. Com um investimento 23.000.000\$00 CVE (equivalente a 208.588,00€).

### 5.1 Reaproveitamento de gorduras de frango para produção de biodiesel

A Agropec tem um consumo de 330 L/mês de gásóleo numa caldeira que consome 3 L/h de gásóleo. O objetivo é dimensionar um sistema de produção de biodiesel através das gorduras residuais dos frangos abatidos para substituir o gásóleo utilizado no aquecimento de água para o abate de frangos.

#### 5.1.1 Estado da Arte

##### 5.1.1.1 Gordura contidas nos resíduos de frango

No abate de frangos cerca de 30% do peso vivo do frango é descartado sendo 6,335% das penas, 7,29% das vísceras não comestíveis, 2,368% do sangue e 14,007 % dos ossos. Segundo o laboratório nacional de referência agropecuária do brasil é possível obter 11% de gorduras. [17]

##### 5.1.1.2 Processo de extração do óleo

Os resíduos obtidos no abate de frangos devem ser cortados em pequenas porções depois derretidos a temperatura entre 90-110°C, em seguida filtrados ou centrifugados para separar as substâncias sólidas contidas no óleo. Dependendo do teor de ácidos gordos livres é necessário fazer um pré-tratamento para reduzir os ácidos gordos livres para evitar formação de sabões, dificultando assim a separação das fases.

No pré-tratamento é feita uma reação entre álcool e ácidos carboxílicos para reduzir os ácidos gordos livres para menos que 1%. Não é necessário o pré-tratamento se o teor de ácidos livres for inferior a 3%. No pré-tratamento utilizando o ácido sulfúrico como catalisador em 0.9% do peso do óleo, com uma relação álcool e óleo de 6:1, com um tempo de 60 minutos a temperatura de 60°C, houve uma redução do teor de ácidos gordos livres de 11% para valores inferiores a 1%. [8]

#### *5.1.1.3 Processos de produção de biodiesel através de gordura de frango*

Geralmente em reações homogêneas a relação álcool e gordura é de 6:1, com um tempo de 60 minutos a temperatura de 60°C, e com 1% de catalisador em relação ao peso da gordura. O teor de ácidos gordos livres é o principal fator que define o tipo de catalisador (ácido ou básico) utilizado na reação de transesterificação. [5]

Se o teor de ácidos gordos for elevado, a utilização de catalisadores básicos não é recomendada porque há formação de sabões que dificulta a separação das fases e conseqüente redução do rendimento. Por isso é recomendada a transesterificação ácida porque há uma esterificação dos ácidos gordos livres e transesterificação dos triglicéridos ao mesmo tempo, ou seja, converte os ácidos gordos livres em ésteres. [5]

A transesterificação por catálise ácida, relativamente à transesterificação de catálise básica necessita de maior relação entre álcool e gordura e maior tempo de reação, o que aumenta o custo de produção. Quando o teor de ácidos gordos livres for reduzido é recomendável utilizar a catálise básica e se o teor de ácidos gordos livres for elevado é aconselhável utilizar a catálise ácida.

Na reação de transesterificação a temperatura é mantida próxima da temperatura de ebulição do álcool, no caso do metanol a temperatura é de 60-65°C. Ao realizar as duas transesterificações (catálise ácida e básica) obtém-se rendimentos teóricos de 98%, ou seja, utilizar a transesterificação ácida como um pré-tratamento dos óleos (reduzindo os ácidos gordos livres) e posteriormente a transesterificação básica para a produção de biodiesel. [5]

#### *5.1.1.4 Resultados obtidos*

Segundo a referência, foi utilizado cerca de 25 a 35% de metanol em relação ao volume de gordura de frango e por cada 100 mL de gordura foi utilizado 1,5 a 2 g de hidróxido de potássio como catalisador a uma temperatura de 60°C, obtendo rendimentos entre 89,6% e 95%. Ou seja, foi considerado um teor de ácidos gordos livres inferior a 3%. [17]

### 5.1.2 Produção de biodiesel através de gorduras de frango

As condições e os resultados da reação foram feitos com base no capítulo 5.1.1.4. Foi considerado que o óleo tem um teor de ácidos gordos livres inferior a 3%, não sendo necessário pré-tratamento.

A empresa funciona durante os dias das semanas (22 dias/mês), abate cerca de 26.000 frangos por mês, consumindo cerca de 15 litros de gásóleo por dia e 25 m<sup>3</sup> de água quente à temperatura de 60°C. O peso médio dos frangos é de 2,1 kg.

#### 5.1.2.1 Custos de produção

Os resíduos a serem utilizados para a produção de biodiesel são as vísceras não comestíveis porque grande parte dos ossos e peles são vendidos com a carne e também grande parte do sangue é perdido durante o abate. As vísceras não comestíveis são 7,29% do peso vivo do frango, contendo cerca de 11% de gorduras, as gorduras são extraídas através do método referido no capítulo 5.1.1.2, o óleo ou a gordura de frango originado das vísceras tem uma densidade de 0,915 g/cm<sup>3</sup>. [17], [19]

A massa e o volume de gorduras extraídas foram calculados através das equações 12 e 13.

$$m_{gorduras} = m_{frango} * \%visceras * teor_{gorduras} * n^{\circ}_{frangos} \quad (12)$$

$$V_{gorduras} = \frac{m_{gorduras}}{\rho_{gorduras}} \quad (13)$$

Onde:

$m_{gorduras}$  - Massa total de gorduras extraídas do frango abatido (kg);

$m_{frango}$  - Massa vivo do frango (kg);

$\%visceras$  - Percentagem de vísceras não comestíveis contidas no frango (%);

$teor_{gorduras}$  - Percentagem de gorduras contidas nas vísceras não comestível (%);

$n^{\circ}_{frangos}$  - Número de frangos abatidos;

$V_{gorduras}$  - Volume de gordura total extraído (L);

$\rho_{gorduras}$  - Massa volúmica da gordura das vísceras não comestível (kg/L).

As etapas para a produção de biodiesel através de gorduras de frango por transesterificação básica foram referidas no capítulo 3.2 e o processo de extração foi referindo no capítulo 5.1.1.2.

A tabela 17 mostra a quantidade de óleo extraído por mês.

*Tabela 17: Quantidade de gorduras extraídas por mês.*

<b>Frangos abatidos</b>	<b>Peso vivo medio (kg)</b>	<b>Vísceras (%)</b>	<b>Teor de gorduras (%)</b>	<b>Densidade kg/L</b>	<b>Gorduras totais (kg)</b>	<b>Gorduras totais (L)</b>
26000	2,1	7,29%	11%	0,915	437,84	478,51

A tabela 18 mostra a produção, o consumo de metanol e do catalisador perante a gordura extraída.

*Tabela 18: Consumo de reagentes e rendimento da reação*

<b>Volume de metanol (L)</b>		<b>Massa de catalisador (kg)</b>		<b>Rendimento (L)</b>	
25,0%	35,0%	1,5%	2,0%	89,6%	95,0%
119,63	167,48	7,18	9,57	428,75	454,59

Na substituição do diesel fóssil para o biodiesel é necessário fazer o balanço de energia porque o poder calorífico inferior dos combustíveis são diferentes. O PCI do biodiesel é de 27 MJ/kg enquanto o do gásóleo fóssil é de 42,3 MJ/kg. A densidade do biodiesel é de 0,86 a 0,9 g/cm<sup>3</sup> e do gásóleo é de 0,82 a 0,845 g/cm<sup>3</sup>. [18]

Foram utilizadas as seguintes equações para determinar o volume do gásóleo substituído:

$$E = V * \rho * PCI \quad (14)$$

$$V_{gásóleo_{subst}} = \frac{V_{biodiesel} * PCI_{biodiesel} * \rho_{biodiesel}}{PCI_{gásóleo} * \rho_{gásóleo}} \quad (15)$$

$$V_{gásóleo_{neces}} = V_{gásóleo_{cons}} - V_{gásóleo_{subst}} \quad (16)$$

Onde:

E - Energia contida no combustível (MJ);

$E_{gas\acute{o}leo}$  - Energia contida no gas\acute{o}leo (MJ);

$E_{biodiesel}$  - Energia contida no biodiesel (MJ);

$V_{gas\acute{o}leo_{subst}}$  - Volume do gas\acute{o}leo substituído por biodiesel (L);

$V_{gas\acute{o}leo_{cons}}$  - Volume de gas\acute{o}leo consumido mensalmente (L);

$V_{biodiesel}$  - Volume de biodiesel produzido (L);

$V_{gas\acute{o}leo_{neces}}$  - Volume de gas\acute{o}leo necess\u00e1rio ap\u00f3s a produ\u00e7\u00e3o de biodiesel (L);

PCI - Poder calorifico inferior (MJ/kg);

$\rho$  - Massa vol\u00famica (kg/L).

A tabela 19 mostra os resultados da substitui\u00e7\u00e3o do gas\acute{o}leo para o biodiesel.

*Tabela 19: Volume de gas\acute{o}leo substituído por biodiesel.*

	<b>Biodiesel produzido</b>		<b>Gas\acute{o}leo substituído</b>		<b>Gas\acute{o}leo necess\u00e1rio</b>	
$\eta$ da rea\u00e7\u00e3o	89,6%	95,0%	89,6%	95,0%	89,6%	95,0%
Volume (L)	428,75	454,59	289,28	306,72	40,72	23,28

O custo de gas\acute{o}leo em Cabo Verde \u00e9 de 0.829€/L (91,50 CVE). O pre\u00e7o do metanol no ano de 2020 era de 409\$/toneladas (0,34€/L). No gr\u00e1fico da figura 51 do anexo B pode-se observar a varia\u00e7\u00e3o dos pre\u00e7os ao longo dos anos. Um saco de 25 kg de hidr\u00f3xido de pot\u00e1ssio custo cerca de 158,57€, ou seja, um pre\u00e7o de 6,34€/kg. Nos custos dos reagentes foram ignorados os impostos e o custo de transporte. [20],[21],[22]

Foi considerado que quando maior a percentagem de \u00e1lcool e catalisador maior \u00e9 o rendimento, ou seja, para uma percentagem de 35% e 2% de \u00e1lcool e catalisador respetivamente, considerou-se um rendimento m\u00e1ximo de 95%. Com base nos resultados anteriores foi poss\u00edvel determinar os gastos nos reagentes atrav\u00e9s da equa\u00e7\u00e3o 18 e tamb\u00e9m o lucro obtido atrav\u00e9s da equa\u00e7\u00e3o 19. O lucro obtido s\u00f3 foi baseado nos gastos do metanol e hidr\u00f3xido de pot\u00e1ssio, ou seja, foi ignorado os custos de energia, custo de extra\u00e7\u00e3o e tratamento do \u00f3leo.

$$\epsilon_{poupado} = V_{gas\acute{o}leo_{subst}} * \epsilon_{gas\acute{o}leo} \quad (17)$$

$$\epsilon_{gastos} = V_{metanol} * \epsilon_{metanol} + m_{KOH} * \epsilon_{KOH} \quad (18)$$

$$Lucro = \epsilon_{poupado} - \epsilon_{gastos} \quad (19)$$

Onde:

$\epsilon_{poupado}$  - Poupança no custo do gasóleo (€);

$\epsilon_{gas\acute{o}leo}$  - Preço do gasóleo (€/L);

$\epsilon_{gastos}$  - Preço total dos reagentes (€);

$V_{metanol}$  - Volume do metanol (L);

$\epsilon_{metanol}$  - Preço do metanol (€/L);

$m_{KOH}$  - Massa de Hidróxido de Potássio (€/kg);

$\epsilon_{KOH}$  - Preço do Hidróxido de Potássio (€/kg);

$Lucro$  - Lucro mensal (€/mês).

A tabela 20 mostra os custos dos reagentes para produzir biodiesel por mês.

*Tabela 20: Custos dos reagentes para produção de biodiesel.*

	Volume de metanol (L)		Massa de catalisador (kg)	
Porcentagem	25,0%	35,0%	1,5%	2,0%
Volume(L) e Massa(kg)	119,63	167,48	7,18	9,57
Custo unitário (€/L) (€/kg)	0,34 €		6,34 €	
Custo de cada reagente (€)	40,61 €	56,85 €	45,53 €	60,70 €

Na tabela 21 pode-se observar o balanço económico da produção de biodiesel através de óleo de frango.

Tabela 21: Balanço económico da produção de biodiesel.

Limite	Inferior		Superior	
% Álcool e catalisador	25%	1,5%	35%	2%
Custos dos reagentes	86,14 €		117,56 €	
Custo poupada	239,81 €		254,27 €	
Lucro	153,68 €		136,71 €	

O principal fator que afeta este sistema é o teor de ácidos gordos livres que podem levar a formação de sabões que dificulta a separação das fases, reduzindo o rendimento da reação.

O preço do gasóleo é o fator que mais varia o lucro porque o seu custo varia algumas vezes por ano, sendo difícil prever a sua variação a longo prazo. Quanto maior o custo do gasóleo maior é o lucro.

O investimento na produção de biodiesel é um importante fator que define o tempo de retorno do capital investido. Para a produção de biodiesel através de gordura de frango é necessário alguns equipamentos como placas de aquecimentos, balança analítica, reator, filtros, provetas, ampolas de decantação e entre outros.

A produção de biodiesel necessita de energia térmica e mecânica (agitação) para poder realizar a reação de transesterificação. Utilizando uma placa de aquecimento consegue-se produzir ambas as energias através de energia elétrica. Mas também pode-se realizar a reação introduzindo o recipiente que contém os reagentes num fluido à temperatura de reação (banho Maria) para a obtenção da energia térmica. E a energia mecânica pode ser produzida através de agitação magnética provocando movimento num íman magnético.

Pode-se tornar o custo de energia quase nula através da seguinte forma. A temperatura de consumo de água para o abate de frango é de 60 °C pode-se aproveitar essa água para aquecer e o caudal para agitar a reação. A energia térmica consumida durante a reação não tem grande efeito na temperatura final da água consumida porque a água fica em circulação, considerando que a água não tem contacto com o exterior as perdas são mínimas.

O caudal pode ser utilizado para agitar o biodiesel através de um equipamento similar a uma turbina hídrica (roda d'água) com um íman magnético. Sabendo que não tem contato entre o interior e exterior, funciona a pressões superiores a pressão atmosfera.

Esse sistema tem a desvantagem de não permite desligar a água de consumo durante a produção de biodiesel, para solucionar o problema é necessário usar uma bomba. É necessário um reator grande ou um conjunto de reatores para consumir a quantidade de gordura extraída. Requer o consumo mínimo de cerca de 6 L/h de gordura, para ter tempo de preparar os reagentes e preparar o reator a cada reação

realizada (aproximadamente 4 reações por dia), utilizando um recipiente com um volume de 10L para 6L de gordura.

### 5.1.2.2 Sistema de controle

Aquando da produção de biodiesel a circulação da água passa pelo reator, fechando a via direta para o consumo (via do sistema antigo) e liga a bomba. Parando a reação a bomba desliga e muda para o sentido direto para o consumo. O depósito está a um nível superior ao reator e ao consumo.

É recomendada colocar a bomba no circuito mais frio (reator para depósito), entretanto na figura 14 a bomba foi colocada no circuito mais quente. Porque o circuito mais frio dificultaria a saída da água para consumo.

A válvula antirretorno tem a função de impedir que o depósito enche o reator quando não está a ocorrer reação (o reator pode estar sem tampa), permitindo que a água circula do reator para o consumo. Ligado ao reator tem um tubo e uma válvula para reduzir o volume e a pressão do reator antes de ser aberto (circuito de despejo).

A figura 14 mostra o esquema de princípio antes da instalação do sistema de biodiesel (esquema 1) bem como depois da instalação do sistema de produção de biodiesel (esquema 2).

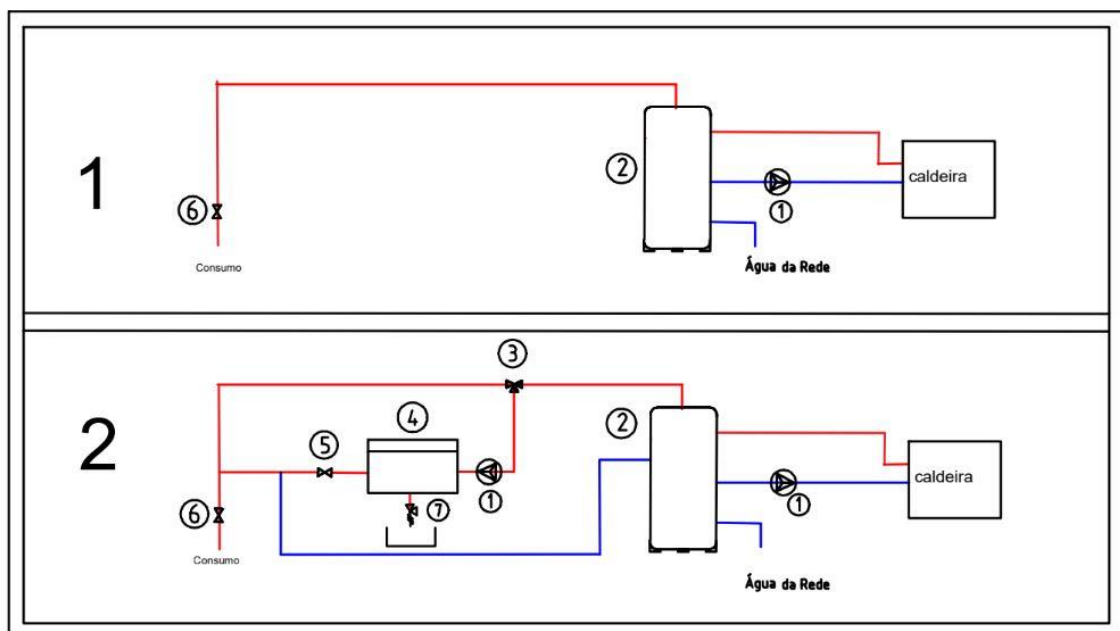


Figura 14:Esquema de princípio antes (1) e depois da instalação (2).

Na figura 14 pode observar os equipamentos utilizados nos sistemas: bomba (1), depósito (2), válvula de três vias (3), reator (4) e válvulas (5 e 6).

### 5.1.2.3 *Investimento*

Considerando as equações anteriores, para calcular o volume do álcool e a massa do catalisador a partir de cada reação de transesterificação utilizando 6 litros de gordura. Para consumir 478,51 litros de gordura é necessário realizar 4 reações por dia com um volume 6 L cada reação.

Foram necessários 4 balões volumétrico de 5 L, sendo que 2 dos balões estão no reator produzindo biodiesel e os outros 2 preparam para a próxima reação (metóxido de potássio). O custo total dos balões é de 589,76€ e deverão ser substituídos de 2 em 2 anos devido a acidentes e desgastes. Podem ser fabricados de inox, no entanto o custo inicial seria mais elevado, mas não necessitariam de ser substituídos, tornando uma boa escolha a longo prazo. [23]

Para a lavagem utiliza-se cerca de 50% de água em relação ao volume de biodiesel. Utilizando o volume de 6 litros de gordura pode-se obter valores próximos a 6 litros de biodiesel, logo é necessário 3 litros de água, sendo que o volume mínimo necessário do decantador é de 9 litros. Assim sendo utiliza-se uma ampola de 10 litros por cada reação.

Considerando que são realizadas 4 reações por dia e que o período de lavagens demora 2 dias, implica que o volume necessário de ampola seja de 80 litros. A ampola encontrada à venda tem um volume de 2 litros com um custo de 69,84€ totalizando um custo de 2793,6€, sem considerar os suportes e área ocupada. Nesse caso é mais econômico produzir 2 ampolas de 40 litros.

O sistema de lavagem funciona da seguinte forma: o biodiesel produzido até ao final do dia fica num gobelé em repouso (em algumas situações a glicerina é sólida), no outro dia de manhã é transferido para a ampola onde se vai realizar as lavagens, ficando nesta por um período de 48h. A figura 15 mostra como funciona o sistema de lavagem. A ampola pode ser de plástico ou de vidro transparente, sabendo que a temperatura de utilização é a temperatura ambiente. As ampolas são de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), o custo de cada uma não atinge os 200€ com um volume de 40 litros.

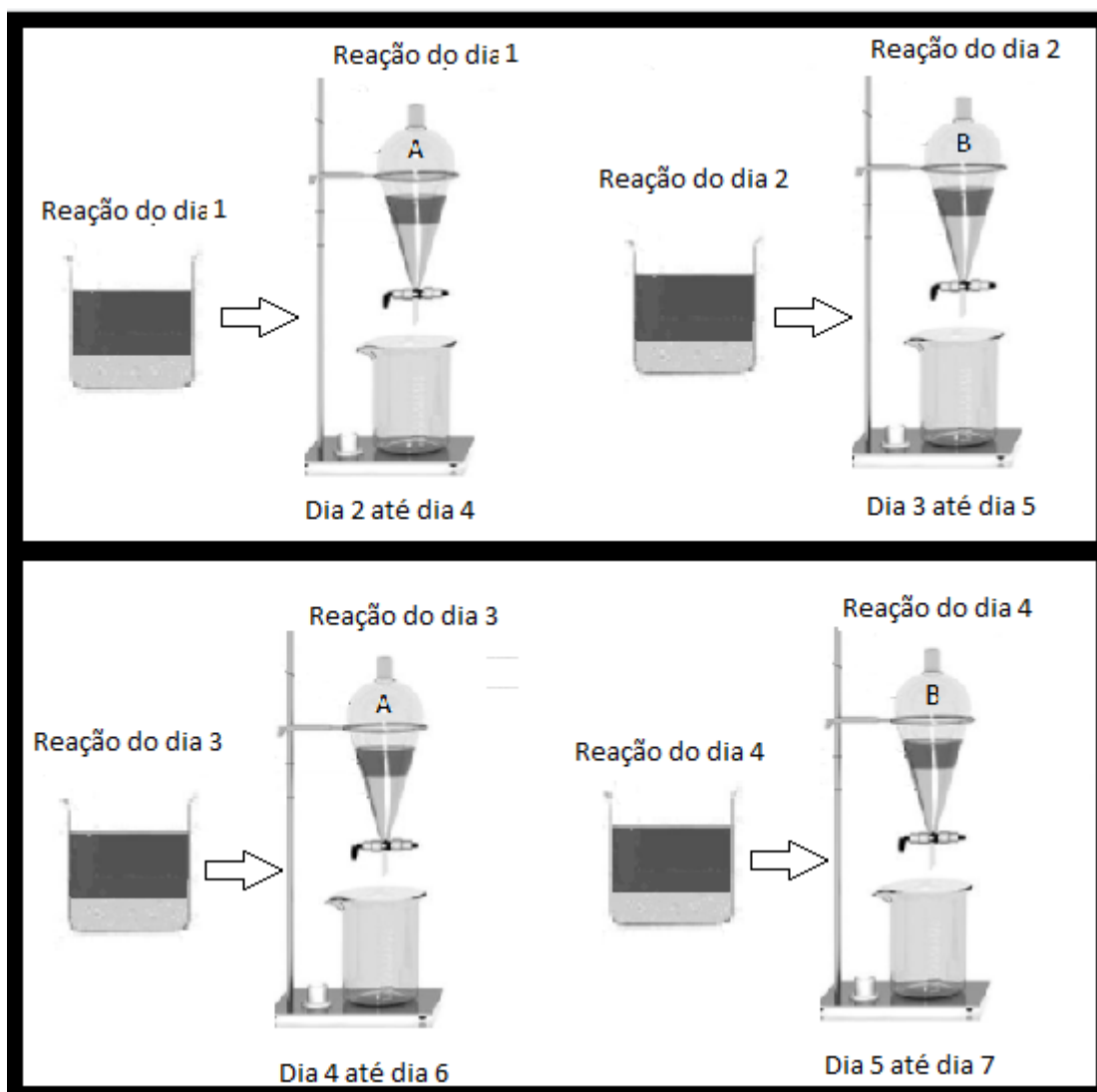


Figura 15: Processo de lavagem do biodiesel.

O gobelé pode ser um recipiente de plástico, metal, ou vidro sabendo que o biodiesel não é corrosivo e a temperatura máxima é de 60 °C. Foi escolhido um reservatório (galão) de 30 litros com um custo aproximando de 15€.

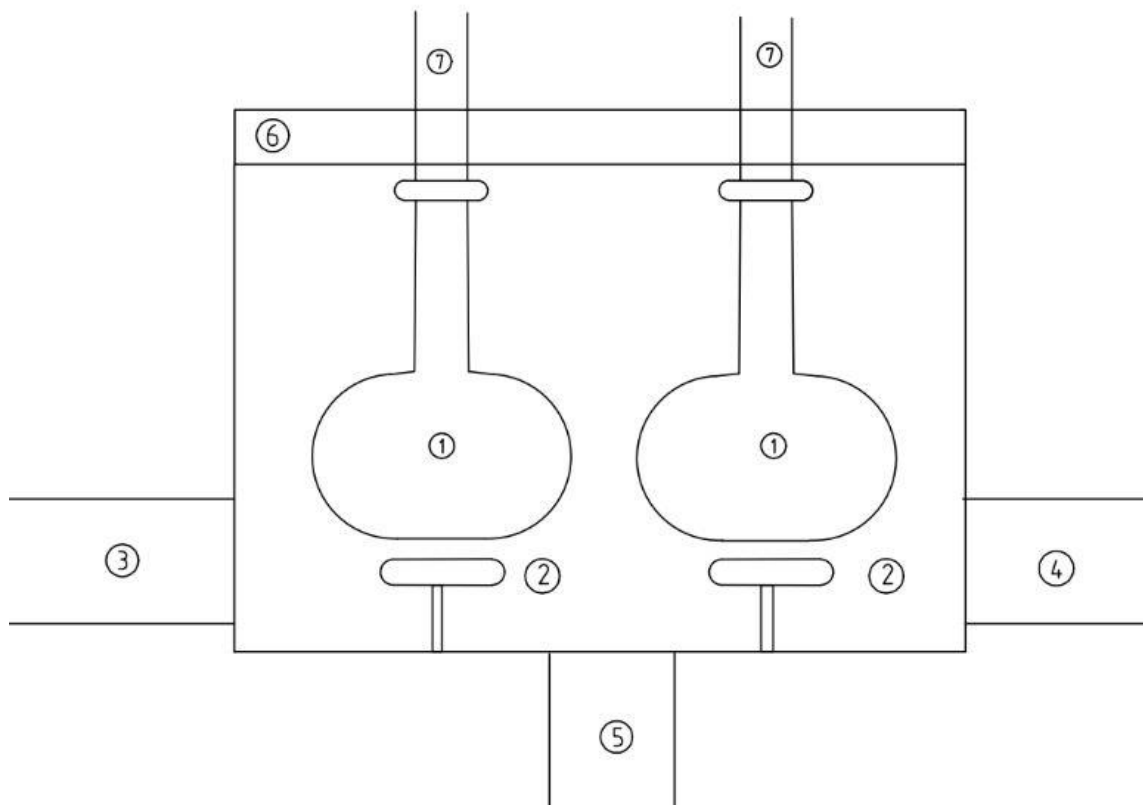
O funil e as provetas são os equipamentos mais baratos do sistema, tendo um custo de 1€ e 5€, respetivamente. Podem ser de plástico porque são utilizados à temperatura ambiente e porque o metanol, o óleo e o biodiesel não são corrosivos. As provetas utilizadas são recipientes graduados de 1 litro. A balança de precisão custa 95,82€. [24]

O reator pode ser feito de inox ou fibra de vidro. Uma folha de inox de 3m x 1,6m x 3mm é necessário para produzir o reator, a folha custa 60 000\$00CVE. O custo de mão-de-obra é de 20% do custo do material. É necessário isolar o exterior do reator com isopor como medida de segurança e

evitando perdas de energia. O reator tem 40 cm de altura e 60 de diâmetro, a tampa do reator tem 5 cm de altura e 60 cm de diâmetro.

A roda de água tem um diâmetro de 165 mm com um custo de 28,37€. Seria associado a um íman para agitar a reação. Todas as características do equipamento estão no Anexo B.

A figura 16 mostra o esquema e os equipamentos que constituem o reator. O reator foi constituído por dois balões (1), duas rodas d'água (2), tubo de entrada e saída de água (3 e 4 respetivamente), tubo de esvaziamento (5), tampa (6), tubo de conexão do balão ao exterior (7).



*Figura 16: Reator para produção de biodiesel.*

A tabela 22 mostra os custos estimados na aquisição de toda a instalação. A tubagem e os seus acessórios (válvulas, curvas e tês) foram considerados preços de Cabo Verde. Foi admitido um custo de transporte 50% do custo inicial dos equipamentos comprados no exterior.

Tabela 22: Investimento do sistema de produção de biodiesel.

Equipamentos	Investimento inicial			15 anos	
	Quantidade	Preço	Total	Nº substituição	Investimento total
Balão volumétrico	4	147,44 €	589,76 €	7	4 718,08 €
Ampolas	2	100,00 €	200,00 €	14	3 000,00 €
Gobelé	1	15,00 €	15,00 €	14	225,00 €
Funil	1	1,00 €	1,00 €	14	15,00 €
Provetas	2	5,00 €	10,00 €	14	150,00 €
Balança	1	95,82 €	95,82 €	0	95,82 €
Roda de água	2	28,37 €	56,74 €	4	283,70 €
Reator	1	654,55 €	654,55 €	0	654,55 €
Bomba	1	16,89 €	16,89 €	2	50,67 €
Tubagem (4m)	5	8,25 €	41,25 €	0	41,25 €
Curvas	2	0,15 €	0,30 €	0	0,30 €
Tês	1	0,15 €	0,15 €	0	0,15 €
Válvulas antirretorno	1	8,30 €	8,30 €	0	8,30 €
Válvulas de 3 vias	1	14,60 €	14,60 €	0	14,60 €
Válvulas de corte	1	9,26 €	9,26 €	0	9,26 €
Instalação hidráulico	1	300 €	300 €	0	300,00 €
Taxa de transporte 50%	--	--	487,11 €	--	4 186,64 €
Total sem transporte	--	--	1 713,62 €	--	9 566,68 €
Total com transporte	--	--	--	--	13 753,32 €

Os custos da mão-de-obra e extração dos óleos foram ignorados. O biodiesel produzido não necessariamente deve cumprir a norma porque vai ser utilizado na combustão numa caldeira, mas um biodiesel de baixa qualidade tem um PCI menor, o que causara um maior consumo de biodiesel para satisfazer as necessidades.

O lucro em 15 anos foi obtido através da equação 20.

$$Lucro_{15anos} = Lucro_{anual} * 15 - I_{Total} \quad (20)$$

Onde:

$Lucro_{15anos}$ - Lucro obtido em 15 anos (€);

$I_{Total}$ - Investimento total (€).

Na tabela 23 pode observar o tempo de retorno do capital e o lucro do sistema em 15 anos.

*Tabela 23: Balanço económico em 15 anos de funcionamento.*

Limite	Inferior	Superior
Investimento total (15 anos)	13 753,26 €	
Anos de retorno	7,46	8,38
Lucro	13 908,85 €	10 854,90 €

A glicerina produzida pode ser utilizada para a produção de biogás aumentando assim o lucro do sistema.

## 5.2 Dimensionamento de um sistema solar térmico

O objetivo é dimensionar um sistema solar térmico que consiste em satisfazer as necessidades de energia térmica para o aquecimento de água na empresa. A empresa consome 25m<sup>3</sup> de água por mês, o objetivo é substituir o diesel para o sistema solar térmico sabendo que consome cerca de 15 L/dia. Esse sistema mantém a água a temperatura constante de 60°C, o que aumenta o consumo de combustível.

O sistema solar térmico serve como um pré-aquecimento da água, reduzindo assim o consumo de combustível e melhorando a eficiência energética da empresa.

### 5.2.1 Orientação dos Coletores

Os coletores devem situar de tal forma que ao longo do período anual de utilização aproveitem a máxima radiação solar incidente e para o caso de estudo, elas orientar-se-ão ao Sul geográfico, não coincidente com o Sul magnético definido pela bússola, já que o Sul geográfico está 5° para a direita do Sul magnético.

A tabela 24 mostra a inclinação dos coletores segundo a época do ano e a finalidade [25].

*Tabela 24: Inclinação dos coletores.*

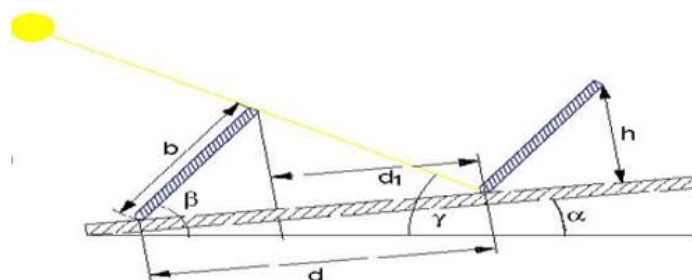
Inclinação	Ângulo
Todo o ano (A.Q.S.)	Latitude do lugar - 5°
Inverno (aquecimento)	Latitude do lugar + 15°
Verão (piscinas)	Latitude do lugar - 15°

Para o sistema em questão utiliza-se o primeiro caso, que consiste na utilização de água quente durante todo o ano e deste modo a inclinação ótima dos coletores é dada pela equação 21.

$$\text{Inclinação coletores} = 16.86 - 5 = 11,86^\circ \quad (21)$$

### 5.2.1.1 Sombreamento

A determinação da sombra sobre os coletores é feita observando ao redor, desde o ponto médio da aresta inferior até o ponto médio da aresta superior do coletor, tomando como referência a linha Norte-Sul. Os coletores devem situar-se de tal forma, que ao longo do período anual de utilização, aproveitem a máxima radiação solar incidente, orientando-se ao Sul geográfico. A figura 17 mostra a distância entre os coletores. [25]



Dados da instalação							Distância das fileiras			
Local	Latitude	Inverno (γ)	Verão (γ)	Comprimento (b)	Inclinação (β)	Desnível (α)	Inverno (d)	Verão (d)	d1	h
São Vicente	16,86	49,64	96,64	2,37	11,86	0,00	2,73	2,26	0,41	0,49

Figura 17: Distância entre as fileiras para não ter sombra. [25]

### 5.2.2 Dimensionamento energético

Os valores da radiação, temperatura ambiente e as horas de sol foram retirados o PV-GIS com a localização de Cabo Verde na ilha de São Vicente. [26]

Foram utilizadas as seguintes equações para determinar a energia necessária. A temperatura da água da rede é de 20 °C e a temperatura pretendida é de 65 °C.

$$\Delta T = T_p - T_i \quad (22)$$

$$T_f = \frac{T_p + T_i}{2} \quad (23)$$

$$Q_{neces} = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (24)$$

Onde:

$Q_{neces}$  - Energia necessária (MJ);

$m$  - Massa de água ( $m^3$ );

$\Delta T$  - Diferença de temperatura ( $^{\circ}C$ );

$T_p$  - Temperatura de água pretendida ( $^{\circ}C$ );

$T_i$  - Temperatura inicial (temperatura da água da rede) ( $^{\circ}C$ );

$C_p$  - Calor específico da água 4,1868 [MJ/( $m^3 \cdot ^{\circ}C$ )];

$T_f$  - Temperatura média do fluido térmico ( $^{\circ}C$ ).

O painel escolhido foi do modelo WarmSun FKC-2S do fabricante Vulcano. Na tabela seguinte mostra os dados e resultados necessários para dimensionar o sistema solar térmico (SST) (através das características dos equipamentos e as equações usadas anteriormente).

Tabela 25: Dados para dimensionar o SST.

Nome	Valores	Unidades
Cp (água)	4,1868	MJ/m <sup>3</sup> . °C
Temperatura de H <sub>2</sub> O pretendida	65	°C
Latitude (São Vicente)	16,86	°
Inclinação	5	(-) °
Fator de correção Zona Urbana	0,95	%
Fator de Aproveitamento	0,94	%
Temperatura média do fluido	42,5	°C
Variação de Temperatura ΔT	45	°C
Energia necessária	4710,15	MJ
Rendimento do Coletor	0,766	%
Perdas de Arranque	0,97	%
Fator Sujidade e Envelhecimento	0,97	%
Coeficiente de Perdas do Fabricante (a <sub>1</sub> )	3,22	W/m <sup>2</sup> . °K
Coeficiente de Perdas secundarias (a <sub>2</sub> )	0,015	W/m <sup>2</sup> . °K
Perdas globais da instalação	0,85	%
Superfície total do coletor	2,37	m <sup>2</sup>
Superfície de absorção do coletor	2,18	m <sup>2</sup>
Caudal do Fluido Térmico por área coletora	0,02	kg/s.m <sup>2</sup>
Caudal do Fluido Térmico do coletor	156,96	l/h
Rendimento da caldeira	0,85	%
PCI do gasóleo	42,3	MJ/kg
Preço de combustível	0,829	€/l

Para determinar a radiação aproveitada e a intensidade útil da radiação foram utilizadas as equações 25 e 26. [25]

$$Q_{r_{aproveitado}} = Q_{r_{diaria}} * f_{inclinação} * f_{ZU} * f_{apr} \quad (25)$$

$$I_{util} = \frac{Q_{r_{aproveitado}} * 1000}{3.6 * Horas_{sol}} \quad (26)$$

Onde:

$Q_{r_{aproveitado}}$  - Radiação térmica aproveitada (MJ/m<sup>2</sup>);

$f_{inclinação}$  - Fator de inclinação;

$f_{ZU}$  - Fator de correção zona urbana;

$f_{aprov}$  - Fator de aproveitamento;

$I_{util}$  - Intensidade de radiação útil ( $W/m^2$ ).

Através da equação 27 foi calculado o rendimento do coletor. [25]

$$\eta_{coletor} = \eta_{teorico} * p_{arraque} * f_{suj} - a1_{coef} * \frac{Tf-Ta}{I_{util}} - a2_{coef} * I_{util} * \left(\frac{Tf-Ta}{I_{util}}\right)^2 \quad (27)$$

Onde:

$\eta_{coletor}$  - Rendimento do coletor (%);

$\eta_{teorico}$  - Rendimento (%);

$P_{arraque}$  - Perdas de arranque;

$f_{suj}$  - Fator sujidade;

$a1_{coef}$  - Coeficiente de perdas do fabricante (perdas lineares) [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ];

$a2_{coef}$  - Coeficiente de perdas secundarias [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C^2)$ ];

$Ta$  - Temperatura ambiente ( $^\circ C$ ).

A tabela 26 mostra a radiação, horas de sol, fator inclinação e o rendimento do coletor ao longo do ano.

Tabela 26: Rendimento do coletor.

Meses	Radiação Mensal (MJ/m <sup>2</sup> )	Radiação diária (Q <sub>r</sub> <sup>diário</sup> ) (MJ/m <sup>2</sup> )	Horas de Sol	Inclinação	Q <sub>r</sub> <sup>Diário</sup> Aproveitado (MJ/m <sup>2</sup> )	Intensidade útil (W/m <sup>2</sup> )	Ta (°C)	η <sub>coletor</sub> (%)
Janeiro	504,288	16,27	11	1,11	16	407	20,3	53%
Fevereiro	527,724	18,85	12	1,09	18	425	19,3	53%
Março	757,548	24,44	12	1,06	23	535	20	57%
Abril	769,86	25,66	12	1,03	24	546	20,2	58%
Mai	834,48	26,92	12	1,01	24	562	21,4	59%
Junho	773,424	25,78	13	1	23	492	21,9	57%
Julho	741,888	23,93	13	1,01	22	461	23,2	57%
Agosto	697,068	22,49	12,5	1,04	21	464	24,7	59%
Setembro	708,048	23,60	12	1,07	23	522	25,1	60%
Outubro	603,792	19,48	12	1,11	19	447	25,4	59%
Novembro	479,916	16,00	11	1,14	16	411	24	56%
Dezembro	491,652	15,86	11	1,13	16	404	21,6	54%

Para cada mês foi calculado a energia captada, área necessária para satisfazer as necessidades e o número de coletor foi utilizado as equações 28, 29 e 30 respectivamente. Os dados do painel utilizado estão no anexo B [25].

$$\frac{E_{captada}}{\text{Área}} = Q_{r\text{aproveitado}} * \eta_{coletor} * P_{globais} \quad (28)$$

$$Area_{necessaria} = \frac{Q_{necessario}}{E_{captada}/\text{Área}} \quad (29)$$

$$n^o_{coletor} = \frac{Area_{necessaria}}{Area_{coletora}} \quad (30)$$

Onde:

$\frac{E_{captada}}{\text{Área}}$  - Energia captada por área (MJ/m<sup>2</sup>);

$P_{globais}$  - Perdas globais do sistema;

$Area_{necessaria}$  - Área necessária para satisfazer as necessidades do sistema (m<sup>2</sup>);

$Area_{coletora}$  - Área do coletor ( $m^2$ );

$n^{\circ}_{coletor}$  - Número de coletor para satisfazer as necessidades energéticas.

A tabela 27 mostra os resultados obtidos utilizando as equações anteriores. O número de painel foi a média dos 9 melhores mês.

Tabela 27: Energia captada e número de coletor necessário.

Meses	Energia capitada diária ( $MJ/m^2$ )	Energia capitada mensal ( $MJ/m^2$ )	Superfície ( $m^2$ )	Número coletores
Janeiro	7,29	225,90	20,85	10
Fevereiro	8,42	235,86	19,97	9
Março	11,87	367,83	12,81	6
Abril	12,56	376,70	12,50	6
Maió	13,45	417,04	11,29	5
Junho	12,56	376,66	12,50	6
Julho	11,67	361,89	13,02	6
Agosto	11,22	347,79	13,54	6
Setembro	12,13	363,93	12,94	6
Outubro	9,73	301,63	15,62	7
Novembro	7,66	229,82	20,49	9
Dezembro	7,25	224,83	20,95	10
<b>Número de coletor calculado</b>				<b>6,4</b>
<b>Número de coletor utilizado</b>				<b>7</b>

Para a determinação da energia captada, a energia desperdiçada, a energia aproveitada, foram utilizadas as seguintes equações. A energia desperdiçada só pode ter valor igual ou superior a zero.

$$E_{captada} = n^{\circ}_{coletor} * \frac{E_{captada}}{Area} * Area_{coletora} \quad (31)$$

$$E_{desperdiçada} = E_{captada} - Q_{necessaria} \quad (32)$$

$$E_{aproveitada} = E_{captada} - E_{desperdiçada} \quad (33)$$

Onde:

$E_{captada}$  - Energia captada pelos coletores (MJ);

$\frac{E_{captada}}{Area}$  - Energia captada por área (MJ/m<sup>2</sup>);

$Area_{coletora}$  - Área útil do coletor (m<sup>2</sup>);

$E_{desperdiçada}$  - Energia não aproveitada pelo sistema (MJ);

$E_{aproveitada}$  - Energia aproveitada (MJ);

$Fração_{solar}$  - Percentagem de energia solar utilizada (%).

Para calcular a fração solar foi utilizado a equação 34.

$$Fração_{solar} = \frac{E_{aproveitada}}{E_{captada}} \quad (34)$$

Para determinar a energia de apoio que é a energia fornecida pela caldeira para compensar o sistema solar nos meses com menor produção de energia foi utilizada a equação 35.

$$E_{apoio} = Q_{neces} - E_{aproveitada} \quad (35)$$

Onde:

$E_{apoio}$  - Energia de apoio (MJ);

$Q_{neces}$  - Energia necessária (MJ).

A tabela 28 mostra o balanço energético do sistema solar térmico ao longo do ano.

Tabela 28: Balanço energético SST.

Meses	Energia Captada (MJ)	Desperdício (MJ)	Energia aproveitada (MJ)	Fração Solar %
Janeiro	3447,3	0,0	3447,3	100%
Fevereiro	3599,2	0,0	3599,2	100%
Março	5613,1	903,0	4710,2	84%
Abril	5748,4	1038,3	4710,2	82%
Maiο	6364,1	1653,9	4710,2	74%
Junho	5747,9	1037,7	4710,2	82%
Julho	5522,4	812,2	4710,2	85%
Agosto	5307,3	597,1	4710,2	89%
Setembro	5553,6	843,5	4710,2	85%
Outubro	4602,8	0,0	4602,8	100%
Novembro	3507,1	0,0	3507,1	100%
Dezembro	3430,9	0,0	3430,9	100%

Para determinar o balanço económico da utilização do sistema solar foi necessário calcular o custo do combustível com o sistema solar (SST) e sem o sistema solar (sistema atual), sabendo esses valores é possível determinar a poupança do sistema solar. Foram utilizadas as equações 36, 37 e 38.

$$\epsilon_{compainel} = \frac{E_{apoio}}{\eta_{caldeira} * PCI_{gasotio} * \rho_{gasoleo}} * \epsilon_{gasoleo} \quad (36)$$

$$\epsilon_{sempainel} = V_{mensal_{gasoleo}} * \epsilon_{gasoleo} \quad (37)$$

$$\epsilon_{poupança} = \epsilon_{sempainel} - \epsilon_{compainel} \quad (38)$$

Onde:

PCI - Poder calorífico inferior (MJ/Kg);

$\rho_{gasoleo}$  - Massa volúmica do gasóleo (kg/dm<sup>3</sup>);

$\epsilon_{compainel}$  - Custo de combustível gasto com a utilização do sistema solar térmico (€);

$\epsilon_{sem\ painel}$  - Custo de combustível gasto sem a utilização do sistema solar térmico (€);

$\eta_{caldeira}$  - Rendimento da caldeira (%);

$V_{mensal\ gasoleo}$  - Volume de gasóleo consumido atualmente (L);

$\epsilon_{poupanca}$  - Poupança mensal na compra de combustível (€).

Na tabela 29 pode-se observar o balanço económico do sistema solar térmico.

*Tabela 29: Balanço económico do SST.*

Meses	Custo de combustível		Economia (€)
	Com painel (€)	Sem painel (€)	
Janeiro	34,5 €	273,9 €	239,4 €
Fevereiro	30,3 €	273,9 €	243,6 €
Março	0 €	273,9 €	273,9 €
Abril	0 €	273,9 €	273,9 €
Maió	0 €	273,9 €	273,9 €
Junho	0 €	273,9 €	273,9 €
Julho	0 €	273,9 €	273,9 €
Agosto	0 €	273,9 €	273,9 €
Setembro	0 €	273,9 €	273,9 €
Outubro	2,9 €	273,9 €	271,0 €
Novembro	32,8 €	273,9 €	241,1 €
Dezembro	34,9 €	273,9 €	239,0 €
<b>Anual</b>	<b>135,43 €</b>	<b>3 286,80 €</b>	<b>3 151,37 €</b>

### 5.2.3 Dimensionamento dos equipamentos

Na figura 18 observa-se o esquema de princípio utilizado para dimensionar o sistema solar térmico incluindo todos os equipamentos utilizados.

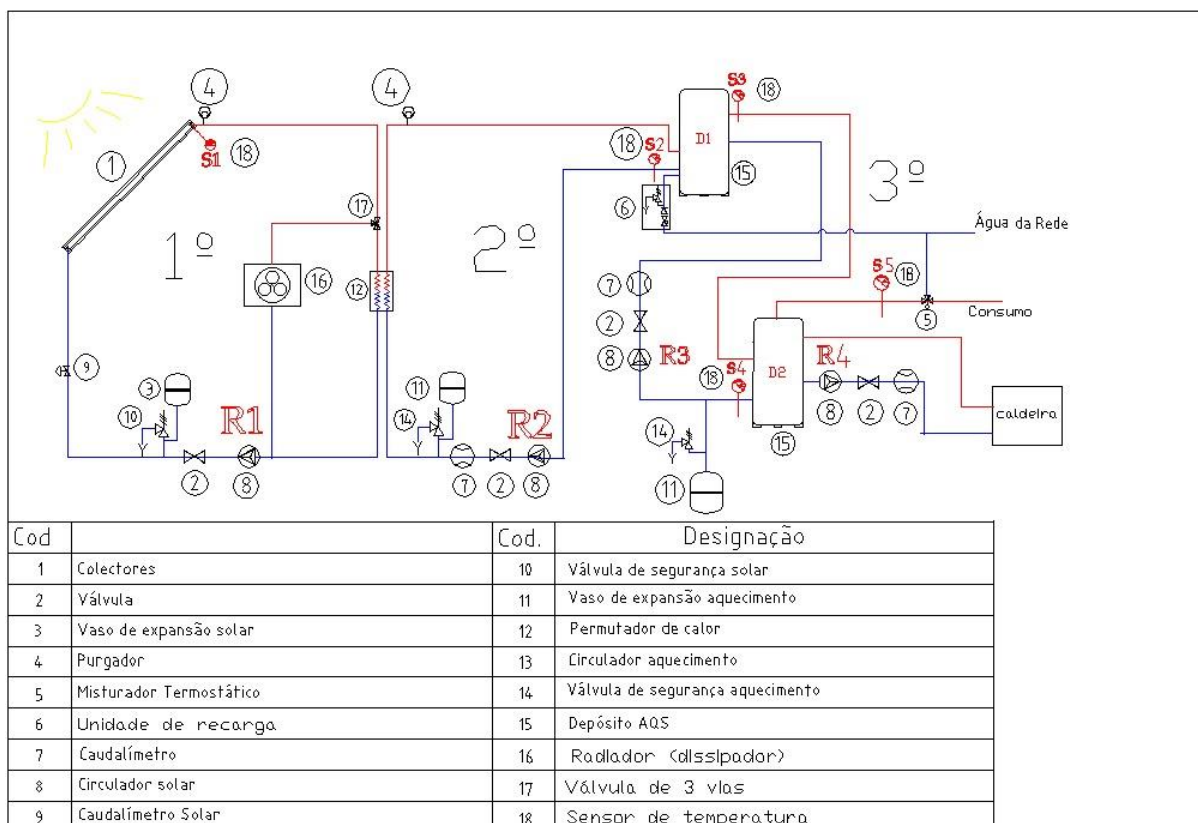


Figura 18: Esquema de princípio do SST.

### 5.2.3.1 Sistema de controlo

A bomba R1 liga quando a temperatura do sensor 1 for superior ao do sensor 2. A bomba R2 liga quando a bomba R1 tiver ligado e a temperatura do sensor 1 for superior ao do sensor 2.

A bomba R1 desliga quando a temperatura do sensor 1 for inferior ao do sensor 2. A bomba R2 desliga quando a bomba R1 estiver desligada ou quando a temperatura do sensor 2 for superior a 90°C.

A bomba R3 liga quando a temperatura do sensor 3 for superior a temperatura do sensor 4, desligando quando o sensor 3 for inferior a temperatura do sensor 4. A bomba R4 liga quando a temperatura do sensor 5 for inferior a 60 °C e desliga quando a temperatura do sensor 5 for superior a 60 °C.

A válvula de três vias direciona o fluido para o permutador quando a temperatura do sensor 2 for inferior a 90 °C. E muda de direção (sentido para o dissipador) quando a temperatura do sensor 2 for superior a 90 °C e liga automaticamente o dissipador.

O equipamento usado para controlar o SST é um conjunto de módulo solar do modelo MS 200 que é constituído por: 8 entradas para sondas de temperatura NTC, 2 ligações PWM para circuladores de alta eficiência, possibilidade de controlo até 4 bombas ou válvulas misturadoras/desviadoras, display

LCD com indicação de temperaturas do depósito e do painel, códigos de erro, modo de funcionamento e estado da bomba, sistemas pré-configurados com pictogramas e inclui 2 sondas de temperatura NTC (1 sonda para painel e 1 sonda para depósito). [27]

São necessários 5 sensores, 1 sensor para o painel e 4 sensores para os depósitos. O controlador solar é vendido com 2 sensores.

### 5.2.3.2 Dimensionamento das tubagens

Para o cálculo da tubagem inicialmente deve-se obter o caudal do fluido térmico do sistema. O painel tem um caudal de fluido térmico mássico de 0,02 Kg/(s.m<sup>2</sup>). Através da equação 39 calcula-se o caudal do fluido térmico do sistema. [25]

$$\dot{m}_{\text{Fluido}} = \dot{m}_{\text{mássico}} * n^{\text{o}}_{\text{coletor}} * \text{Área}_{\text{coletora}} * 3600 \quad (39)$$

Onde:

$\dot{m}_{\text{Fluido}}$  - Caudal do fluido térmico (L/s);

$\dot{m}_{\text{mássico}}$  - Caudal de fluido térmico mássico (L/(s.m<sup>2</sup>));

$\text{Área}_{\text{coletora}}$  - Área coletora (m<sup>2</sup>).

O diâmetro interior da tubagem é determinado através da equação 40, a velocidade recomendada é de 1,5 m/s no circuito primário e 2 m/s no circuito secundário. [25]

$$\dot{m}_{\text{Fluido}} = \pi * \frac{d^2}{4} * v \quad (40)$$

Onde:

$\dot{m}_{\text{Fluido}} \text{ térmico volúmico}$  - Caudal do fluido térmico (m<sup>3</sup>/s);

d - Diâmetro de tubagem (m);

v - Velocidade (m/s).

### 5.2.3.3 Perdas de carga

Para determinar as perdas de carga nas tubagens, primeiramente determina-se as perdas de carga lineares, depois as perdas localizadas e por fim as perdas totais nas tubagens. Inicialmente deve-se saber o comprimento total (L) da tubagem. Para as perdas de carga lineares calcula-se o número de Reynolds de forma a saber o regime de escoamento do fluído dada pela equação 41, se o valor for inferior a 2000 está no regime laminar. [25]

$$Re = \frac{v \times d_c}{\nu} \leq 2000 \quad (41)$$

Onde:

$Re$  - Número de Reynolds;

$d_c$  - Diâmetro comercial (m);

$\nu$  - Viscosidade do fluído (m<sup>2</sup>/s).

A tabela 30 mostra os dados e resultados para o dimensionamento da tubagem.

Tabela 30: Características da tubagem.

Nome	Valor	Unidade
Velocidade	1,5	m/s
Gravidade	9,8	m/s <sup>2</sup>
Viscosidade	0,0001	m <sup>2</sup> /h
Densidade	1,021	kg/m <sup>3</sup>
Diâmetro	16,1	mm
Diâmetro Com.	16,5	mm
Velocidade	1,43	m/s
Nº de Reynold	235,63	
f <sub>pcarga</sub>	0,272	

Com o coeficiente de perdas de carga dado pela equação 42, sabendo o coeficiente de perdas, determinam-se as perdas de carga lineares utilizando a equação 43. O comprimento da tubagem do circuito painel para o permutador é de 60 metros.

$$f_{p_{cargas}} = \frac{64}{Re} \quad (42)$$

$$h_p = f_{p_{cargas}} \times \frac{L}{d_c} \times \frac{v^2}{2g} \quad (43)$$

Onde:

$f_{p_{cargas}}$  - Coeficiente de perdas de carga;

$h_p$  - Perdas de carga linear (m. c. a);

$L$  - Comprimento de tubagens (m);

$d_c$  - Diâmetro comercial da tubagem (m);

$g$  - Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

Depois que foram contabilizados os números de válvulas, curvas e Tês, determina-se o coeficiente de perda de carga localizada total através da equação 44, assim é possível determinar a perda de carga localizada dada pela equação 45.

$$k_{Total} = \sum (k \cdot n^0) \quad (44)$$

$$h_{PL} = K \frac{v^2}{2g} \quad (45)$$

Onde:


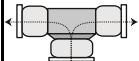
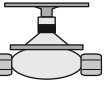
$h_{PL}$  - perda de carga local (m. c. a);

$k$  - Coeficiente de perda de carga localizada de um equipamento;

$k_{Total}$  - Coeficiente de perda de carga localizada do sistema.

A tabela 31 mostra os equipamentos e os respectivos coeficiente de perda de carga localizada. [25]

Tabela 31: Coeficiente de Perda de carga localizada nos equipamentos.[25]

	Equipamentos	K	Quantidades	Total
	Joelho de 90°	0,4	29	11,6
	Tês	1,4	12	16,8
	Válvula de esfera aberta	12	14	168
	Total			196,4

Por fim calcular as perdas de carga totais ( $h_{PT}$ ), na qual contabiliza as perdas de carga lineares, localizadas, do termoacumulador e dos coletores, dada pela equação 46. A perda de carga num coletor é de 150 mm.c.a. [25]

$$h_{PT} = h_p + h_{pL} + h_{Coletor} + h_{Permut.} + h_{dissipador} \quad (46)$$

A tabela 32 mostra as perdas de cargas totais do circuito primário. A água no circuito primário quando sai do painel tem dois sentidos que podem circular para o permutador ou para o dissipador. É utilizado o sentido com maior perda de carga para dimensionar a bomba. O comprimento de tubagem para o dissipador é de 28 metros.

Tabela 32: Perdas de carga no SST.

Perdas de carga	Valor	Unidade
Perdas linear (hp)	102,77	mmca
Perdas localizadas (hpl)	20,44	mmca
Perdas total tubagem	123,20	mmca
Perda de carga nos painéis	2289,00	mmca
Permutador	46,94	mmca
Dissipador	2918,38	mmca
Perdas de carga (painel - permutador)	2459,14	mmca
Perdas de carga (painel - dissipador)	5,33	mca
Perdas de carga do maior circuito	5,41	mca

#### 5.2.3.4 O permutador

O permutador escolhido é dimensionado através do programa disponibilizado pela marca Danfoss, utilizando o caudal de circulação no sistema primário (sentido do painel) e as temperaturas de entrada e saída. Do outro lado é necessário só definir as temperaturas de entrada e saída. O modelo sugerido é XB51L-1-20 composta por 20 placas. No anexo B mostra os dados de funcionamento e as características do equipamento. [28]

#### 5.2.3.5 Bomba

A bomba escolhida é dimensionada através do caudal do fluido térmico (l/h) e as perdas de carga (m). Neste caso foi utilizado o grupo de circulação do modelo AGS 10-2 (Painel 1 a 10, altura manométrica máxima 7 metros). [27]

O grupo de circulação para o circuito primário de instalações de energia solar é composto por: 1 bomba, 2 válvulas de esfera com termómetro integrado e antirretorno por gravidade, 1 eliminador de ar, torneiras de corte, 1 medidor de caudal, 1 válvula de segurança a 6 bar com manómetro, ligação para enchimento e esvaziamento do circuito primário solar, ligação de saída para o vaso de expansão. A válvula de segurança 6 bar é substituída por uma válvula de segurança de 3 bar. [27]

As bombas conectadas aos depósitos que foram utilizadas são as bombas do modelo UP-15-30 (altura manométrica máxima de 3m) que estão acopladas as unidades de recarga. A perda de carga no depósito 1 e o permutador é de aproximadamente 0,018 mm.c.a, por estar a uma distância muito próxima. A unidade de recarga também foi utilizada para ligar o depósito à rede. Foram necessárias 3 unidades de recarga. [27]

#### 5.2.3.6 Dissipador

O dissipador tem a função de dissipar a energia produzida em excesso. O dissipador foi dimensionado através da equação 47. A radiação térmica máxima horaria foi retirado do PV-GIS.

$$P_{dissipador} = Qr_{horam\u00e1ximo} * \u00c1rea_{coletora} * n^{\circ}_{coletor} \quad (47)$$

Onde:

$Qr_{horam\acute{a}ximo}$  - Radiação térmica máxima em 1 hora (kW/m<sup>2</sup>);

$P_{dissipador}$  - Potência térmica do dissipador (kW).

A potência do dissipador mais próximo é de 24 kW de potência térmica. O dissipador tem uma potência elétrica de 285W dando um consumo elétrico de 22,7 kW por ano. [27]

#### 5.2.3.7 Os depósitos

O volume ótimo de acumulação depende do tipo de coletores, do local e do perfil de consumo. O volume de armazenamento recomendado é idêntico ao consumo diário. Valores superiores não originam maiores economias porque é necessária mais energia para manter o depósito a temperatura pretendida.

Neste sistema foram utilizados 2 depósitos:

- O depósito 1- serve como um pré-aquecimento para o depósito 2. Esse depósito armazena a energia do sistema solar. O depósito 1 só circula água para o depósito 2 quando há consumo de água ou quando a temperatura do depósito 1 for superior à temperatura do depósito 2. A reposição do depósito 1 é através da água da rede;
- O depósito 2- Estará sempre a temperatura igual ou superior a 60 °C. Se a temperatura for inferior a 60 °C liga a caldeira. Quando há consumo de água do depósito 2 haverá reposição da água através do depósito 1. O depósito 2 deverá ter um volume mais baixo, porque este ficará sempre a temperatura igual ou superior a 60°C, logo, quanto maior o volume maior será o consumo de energia. O depósito 2 foi dimensionado para satisfazer o consumo máximo em 1h.

A empresa funciona só nos dias da semana, em média 22 dias/mês e 8h/dia. Foi estimado que o sistema de consumo da água quente funciona 7h/dia. O volume total de armazenamento é aproximadamente o volume consumido diariamente. [25]

Depois de calcular os volumes dos depósitos utiliza-se o volume de depósito comercial mais próximos (igual ou superior). O depósito 2 é calculada através do volume de consumo por hora. As equações 48, 49 e 50 permitem calcular os volumes dos depósitos 1 e 2.

$$V_{diario} = \frac{V_{mensal}}{n^{\frac{dias}{mês}}} \quad (48)$$

$$V_{horas} = \frac{V_{diario}}{n^{\frac{horas}{dia}}} \quad (49)$$

$$V_{D1Teórico} = V_{diario} - V_{D2} \quad (50)$$

Onde:

$V_{diario}$  - Volume de água consumida diariamente (L);

$V_{mensal}$  - Volume de água consumida mensalmente (L);

$V_{horas}$  - Volume de água consumida por hora (L);

$n^{\frac{dias}{mês}}$  - Número de dias de funcionamento por o mês;

$n^{\frac{horas}{dia}}$  - Número de horas de funcionamento por o dia;

$V_{D1Teórico}$  -Volume recomendado para o depósito 1 (L);

$V_{D2}$  - Volume comercial do depósito 2 (L).

Foram utilizados depósitos de inércia do fabricante Vulcano, as características dos depósitos, encontra-se descritas no anexo B. Na tabela 33 pode-se observar os resultados obtidos através das equações anteriores.

*Tabela 33: Volume dos depósitos.*

Nome	Valor
Volume horário (L)	162,34
Volume Depósito 2 (L)	200
Volume diário (L)	1136,36
Volume teórico Depósito 1 (L)	936,36
Volume Depósito 1(L)	1000

### 5.2.3.8 Válvula de segurança

A função da válvula de segurança é evitar que haja pressões elevadas nos circuitos, que podem prejudicar a integridade e a funcionalidade dos vários componentes. A válvula de segurança é dimensionada a partir do equipamento com menor valor de pressão máxima. A válvula de segurança escolhida é de 3 bar.

### 5.2.3.9 Vaso de expansão

O vaso de expansão tem como função manter dentro dos limites aceitáveis os possíveis aumentos de pressão, devido às variações de temperatura do fluido. O diâmetro do circuito secundário foi calculado através da equação 40. O vaso de expansão foi determinado pela equação 54. [25]

$$V_{Painel} = 1.5 * \frac{\text{Área}_{coletora}}{2} \quad (51)$$

$$V_{Tubagem} = C_{tubagem} * \frac{\pi * d_c^2}{4} \quad (52)$$

$$V_T = V_{Tubagem} + V_{Painel} + V_{deposito} \quad (53)$$

$$V_E = \frac{(0,07 \times t - 2,5)(P+1)}{100 \times (p+1)} \times V_T \quad (54)$$

Onde:

$V_E$  – Volume do vaso de expansão (L);

$V_T$  – Volume total do circuito (L);

$t$  – Temperatura máxima admissível sem vaporizar (°C);

$P$  – Pressão absoluta (bar);

$p$  – Pressão no depósito de expansão (bar);

$V_{Tubagem}$  - Volume da tubagem (L);

$V_{\text{painel}}$  - Volume dos painéis (L);

$V_{\text{depósito}}$  - Volume do depósito (L);

$C_{\text{tubagem}}$  - Comprimento de tubagem (dm).

A tabela 34 mostra o volume total de cada circuito. O comprimento da tubagem do 1º circuito é o somatório da tubagem de painel para permutador e o painel para dissipador.

*Tabela 34: Volume de água contida em cada circuito.*

Nome	1º Circuito	2º Circuito	3º Circuito
	Painel Permutador	Depósito Permutador	Depósito 1 para 2
Diâmetro de tubagem (mm)	16,5	11	11
Comprimento de tubagem (m)	100	10	6
Volume de tubagem (L)	21,372	0,950	0,570
Volume painel (L)	11,445	0	0
Volume depósito (L)	0	1000	200
Volume total (L)	32,817	1000,950	200,570

A tabela 35 mostra os resultados e o vaso de expansão comercial. O vaso de expansão escolhido tem que ter um volume igual ou superior ao volume de expansão calculado. São vasos de expansão Mecalia para instalações solares do modelo DP/VS. As suas características estão apresentadas no anexo B. [29]

*Tabela 35: Vasos de expansão usados.*

Nome	Valores	Comercial
Temperatura máxima (°C)	133,5	-----
Pressão absoluta (bar)	3	-----
Pressão no depósito de expansão (bar)	1,5	-----
Volume útil do vaso de expansão 1 (L)	3,78	18L
Volume útil do vaso de expansão 2 (L)	109,62	200L
Volume útil do vaso de expansão 3 (L)	22,01	24L

#### 5.2.4 Custo do sistema solar térmico

As características dos equipamentos do SST encontram-se descritas no anexo B. Os equipamentos não são substituídos nos primeiros 15 anos.

O custo de mão-de-obra em Cabo Verde é de 4,38 €/h. A margem é o ganho sobre o preço do custo (material e mão de obra) é de 25%. O custo de transporte foi considerado 50% dos equipamentos. A mão-de-obra, custo unitário, preço unitário, preço total, o preço transporte foram calculadas pelas equações 55, 56, 57, 58 e 59 respetivamente.

$$\text{€}_{\text{Mão\_de\_obra}} = \text{Custo}_{\text{Mão\_de\_obra}} * \text{Tempo}_{\text{exceção}} \quad (55)$$

$$\text{Custo}_{\text{unitário}} = \text{€}_{\text{Mão\_de\_obra}} + \text{€}_{\text{Material}} + \text{€}_{\text{Acessorios}} \quad (56)$$

$$\text{€}_{\text{unitário}} = (\text{Margem} + 1) * \text{Custo}_{\text{unitário}} \quad (57)$$

$$\text{€}_{\text{total}} = \text{€}_{\text{unitário}} * \text{Qtd} \quad (58)$$

$$\text{€}_{\text{transporte}} = \text{€}_{\text{Material}} * \text{Qtd} * (1 + \text{Margem}) * 50\% \quad (59)$$

Onde:

$\text{€}_{\text{Mão\_de\_obra}}$  – Preço da mão-de-obra total para instalar o equipamento (€);

$\text{Custo}_{\text{Mão\_de\_obra}}$  – Custo da mão-de-obra por hora para instalar os equipamentos (€/h);

$\text{Tempo}_{\text{exceção}}$  – Tempo que demora para instalar o equipamento (h);

$\text{€}_{\text{Material}}$  - Preço dos equipamentos (€);

$\text{€}_{\text{Acessorios}}$  – Preço dos acessórios (€);

$Custo_{unitário}$  – Custo unitário do equipamento (€);

$\epsilon_{unitário}$  – Preço unitário do equipamento (€);

$\epsilon_{total}$  – Preço total do equipamento (€);

$Qtd$  – Quantidade do equipamento;

$\epsilon_{transporte}$  – Preço do transporte (€).

Na tabela 36 pode-se observar o preço unitário dos equipamentos utilizados para a instalação do sistema de solar térmico. Na tabela 58 do anexo B mostra todos os preços, quantidades e os tempos de instalações de cada equipamento.

*Tabela 36: Investimento total do SST*

Descrição	Qtd.	Preço unit.	Preço-Total
Painel -Vulcano - WARMSUN FKC-2S	7	821,88 €	5 753,16 €
Bomba deposito - Vulcano- SBL	3	355,47 €	1 066,41 €
Grupo de bomba-Vulcano- AGS	1	535,94 €	535,94 €
Permutador- DanFoss - XB51L-1-20	1	875,82 €	875,82 €
Depósito 1- Vulcano- G 1000-I	1	2 516,41 €	2 516,41 €
Depósito 2 -Vulcano - G 200-I	1	1 016,41 €	1 016,41 €
Dissipador -Vulcano- kW 24, DGS401A/4	1	1 253,91 €	1 253,91 €
Vaso de expansão 1 - 18L	1	67,97 €	67,97 €
Vaso de expansão 2 - 24 L	1	71,72 €	71,72 €
Vaso de expansão 3 - 200L	1	480,47 €	480,47 €
Tubo cobre isolado Ø12mm (5m)	4	35,27 €	141,08 €
Purgador - Vulcano - ELT 5	1	97,03 €	97,03 €
Válvula de corte	14	14,86 €	208,04 €
Válvula misturadora 3/4	1	118,91 €	118,91 €
Válvula de segurança 3bar	3	21,16 €	63,48 €
Válvula 3 Vias Motorizada	1	159,53 €	159,53 €
Sistema de controlo - Vulcano - MS 200	1	448,44 €	448,44 €
Sonda de depósito - Vulcano- NTC	3	15,78 €	47,34 €
Tubo de cobre Isolado 18 mm (vara 5 m)	20	52,38 €	1 047,60 €
Joelho de 90° Cobre 18 mm	29	6,26 €	181,54 €
Tês cobre 18 mm	12	8,29 €	99,48 €
Transporte	1	7 754,47 €	7 754,47 €
Investimento total			24 005,16 €

A tabela 37 mostra o investimento total e o retorno do capital investido no sistema solar térmico.

Tabela 37: Investimento total e o lucro em 15 anos.

<b>Custos</b>	<b>Preço</b>
Investimento Total	24 005,16 €
Lucro anual	3 151,37 €
Anos de retorno do capital	7,62
Lucro em 15 anos	23 265,36 €

### 5.3 Comparação entre os dois sistemas renováveis

O sistema de produção de biodiesel e o sistema solar térmico são ambas boas opções para a substituição do gásóleo fóssil. As junções dos 2 tipos de sistemas seriam uma mais-valia, aproveitando a energia dissipada no solar térmico (nos meses mais quente) para produzir biodiesel, que por sua vez é utilizado para compensar o sistema solar térmico nos meses mais frio. E o resto do biodiesel pode ser usado para produzir energia elétrica através do gerador de emergência.

#### 5.3.1 Balanço económico

Na tabela 38 é possível observar a relação entre o SPB e o SST pelo lucro anual, lucro em 15 anos, investimento e anos de retorno do capital investido. No SPB o lucro em 15 anos e ano de retorno do capital foi considerando o valor médio.

Tabela 38: Balanço económico dos sistemas.

<b>Custos</b>	<b>SST</b>	<b>SPB</b>
Investimento Total	24 005,16 €	13 753,26 €
Lucro anual	3 151,37 €	1 742,34 €
Lucro em 15	23 265,36 €	12 381,88 €
Anos de retorno do capital	7,62	7,92

Ambos os sistemas são rentáveis, mas o sistema solar térmico tem um lucro maior no fim de 15 anos. O SST é um sistema mais confiável porque não depende do mercado internacional para o fornecimento dos reagentes. A energia solar é a fonte de energia que pode ser prevista ao longo dos anos, ou seja, é uma fonte contínua pouco variável entre os anos de funcionamento. Já o biodiesel é uma fonte que necessita dos reagentes para serem produzidos, podem variar os preços ao longo dos anos. E também as propriedades das gorduras extraídas podem causar baixos rendimentos, esses fatores tornam esse sistema pouco confiável.

A energia produzida em excesso pelo sistema solar térmico pode ser armazenado apenas por poucos dias, já o sistema de produção de biodiesel pode armazenar o excesso de biodiesel por alguns meses. No SST a energia produzida não pode ser utilizada em outros setores dentro da empresa, ou seja, só para aquecimento de água para o abate. Enquanto o SPB pode ser utilizado em diferentes setores como para o aquecimento de água, energia elétrica e o transporte.

O SST é 100% automatizado, não precisa de funcionários para o sistema operar, a manutenção é baixa ou até desprezável e os equipamentos tem uma vida útil elevado. O sistema de produção de biodiesel não é automatizado, precisa de uma mão-de-obra especializada, alguns equipamentos são frágeis necessitando de substituição periodicamente.

O SPB utiliza o metanol que é uma substância tóxica podendo causar problemas aos funcionários responsáveis pela produção de biodiesel. A qualidade do biodiesel afeta a energia produzida na sua combustão. O SST não tem componentes tóxicos, o principal fator que afeta a sua produção de energia é o sol, sabendo que em Cabo Verde há sol o ano todo, as chuvas são raras e acontecem nos meses de agosto a setembro, havendo anos com ausência de chuva, ou seja, o SST não tem fatores que influenciam a sua produção energética.

O SPB tem um subproduto que é a glicerina que pode ser queimado para produção de energia. Neste caso a glicerina pode ser reaproveitada para a produção de biogás aumentando a fatura energética. O biodiesel precisa de grandes quantidades de água para a sua lavagem, e também para a lavagem dos equipamentos utilizados durante a reação. No dimensionamento desse sistema foi ignorado, o custo de extração do óleo e o custo dos salários dos funcionários, o que pode diminuir o lucro e aumentar o tempo de retorno do capital. Enquanto no SST não existem outros custos adicionais.

De acordo com os fatores referidos acima, pode-se concluir que o melhor sistema é o SST, por ser mais lucrativo e mais seguro para instalar na empresa.

### 5.3.2 Produção de biodiesel em Cabo Verde a nível comercial

Cabo Verde é um país isolado e de pequena área, que enfrenta problemas com fornecimento de energia devido ao isolamento e a indisponibilidade de reservas de petróleo. A energia produzida em CV é maioritariamente derivada de combustível fóssil, fazendo com que a situação energética seja fortemente dependente mercado petrolífero internacional.

A produção de biodiesel em grande escala em CV através de oleaginosas seriam um grande problema, devido a seca que leva a gastos elevados de água e a utilização de fertilizantes. Requerendo ainda grandes quantidades de áreas para plantação agrícolas, a maior parte das ilhas são montanhosas

dificultando o uso de máquinas agrícolas. A utilização de gorduras animais não seria uma boa escolha devido a baixa produção de carne em CV, e a pesca é artesanal o que dificultaria a recolha das gorduras. Devido a esses motivos tornaria o custo de produção de biodiesel elevado.

O principal setor económico de CV é o turismo, fazendo com que haja grandes investimentos em hotéis e restaurantes. A ilha do Sal tem uma área de 216 km<sup>2</sup>, sendo a ilha com maior investimento no turismo, contendo cerca de 434 hotéis registado na plataforma online do Momondo. [30]

Em todas as épocas do ano os hotéis estão com uma elevada taxa de ocupação. Os hotéis e os restaurantes na ilha, produzem toneladas de óleos por dia em uma curta área, facilitando a recolha dos óleos alimentares usados. Por lei é proibido deitar os óleos nos esgotos, esses óleos são jogados na lixeira e posterior incineração. Criando um sistema de recolha seria muito simples e barato recolher os óleos alimentares usados.

Os óleos alimentares usados são de boa qualidade para a produção de biodiesel, por serem feitas poucas frituras devido as leis sanitárias implementadas e também para não afetarem a qualidade e sabor dos alimentos.

A implementação de sistema de produção de biodiesel utilizando óleos alimentares usados seria uma boa escolha para diminuir a dependência internacional dos combustíveis fósil. Este sistema seria lucrativo porque o maior custo de produção do biodiesel é o óleo.

A energia térmica utilizada para a produção de biodiesel pode ser produzida através de um sistema solar térmico e a energia mecânica para agitar o biodiesel pode ser obtida utilizando a energia elétrica produzida através do sistema solar fotovoltaico. A energia necessária para produzir biodiesel seria 100% renovável aproveitando a energia do sol que é a principal fonte renovável de CV. A glicerina produzida durante a produção de biodiesel pode ser utilizada para produção de biogás ou até para a combustão o que compensaria a falta de energia nos meses com menor radiação.

O SPB através de óleos alimentares usados seria uma junção do SST e SPB referidos acima. O esquema de princípio do SST não altera, no SPB a água seria aquecida por uma serpentina interna no reator e agitado por um motor elétrico. Esse sistema não teria um consumo de água só um consumo energético.

Por serem óleos alimentares usados de boa qualidade, o índice de acidez é baixo, evitando assim a formação de sabões e aumentando o rendimento do sistema. Com uma quantidade baixa de ácidos gordos livres a reação de transesterificação por catálise básica é uma melhor valia para a produção de biodiesel. O consumo de catalisador seria baixo em relação o SPB através da utilização de gorduras de frangos.

## 6. Conclusões

Com a situação energética, a dependência dos recursos esgotáveis e devido a problemas ambientais, atualmente tem-se investido nas fontes de energias renováveis como energia solar, eólica, geotérmica, hídrica, biocombustíveis entre outros.

O trabalho consistiu em uma pesquisa bibliográfica sobre a produção de biodiesel, a realização de experiências para a produção de biodiesel através de transesterificação básica e por fim dimensionar um SST e SPB, fazendo um orçamento, determinando o tempo de retorno do capital e lucros dos sistemas.

O biodiesel é biodegradável, de baixo teor de enxofre, lubrificante, com ponto flash elevado, miscível com o diesel fóssil, sendo renovável e possibilitando o reaproveitamento dos óleos residuais. Cerca de 70% do custo do biodiesel provém dos óleos, causando competição com os alimentos e solo de cultivo devido as grandes escalas de plantio para a produção e comercialização do biodiesel.

No laboratório foram realizadas reações de transesterificação básica com óleos alimentares usados (exceto óleo D), com propriedades diferentes para obter resultados mais próximos da realidade. Pode-se observar que todas as amostras tiveram rendimentos acima de 83% exceto a amostra E2, por ter uma relação de álcool e óleo menor o que causou a formação de sabões reduzindo o rendimento da reação.

Nenhuma das amostras de biodiesel cumpriu em todos os parâmetros exigidos pela Norma EN 14214. O biodiesel produzido no laboratório não é adequado para a utilização em motores diesel, mas pode ser queimado em caldeira para a produção de energia.

Com o projeto foi possível avaliar e comparar economicamente o SST e SPB para instalação num matadouro. O dimensionamento dos sistemas inclui os equipamentos e o balanço económico de cada um. Com o balanço económico pode-se concluir que na empresa Agropec o SST seria mais rentável. Em CV a melhor forma de produzir biodiesel seria através dos óleos alimentares usados recolhidos nos hotéis e restaurantes na ilha do Sal.

## 7. Bibliografia

[1] - Aghbashlo, M., Peng, W., Tabatabaei, M., Kalogirou, S., Soltanian, S., Bandbafha, H., Mahian, O., Lam, S., (2021). Machine learning technology in biodiesel research: A review. Progress in Energy and Combustion Science volume 85, 100904.

Obtido por <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128521000022>

[2] – Borugadda, V., Gound, V., (2012). Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities. Renewable and Sustainable Energy Reviews volume 16, Issue 7, pages 4763-4784.

Obtido por: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112002687>

[3] – Singh, D., Sharma, D., Soni, S. Inda, C., Sharma, S., Sharma, P., Jhalani, A., (2021). A comprehensive review of biodiesel production from waste cooking oil and its use as fuel in compression ignition engines: 3rd generation cleaner feedstock. Journal of Cleaner Production Volume 307, 127299.

Obtido por: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621015183>

[4] – Fonseca, J., Teleken, J., Almeida, V., Silva, C., (2019). Biodiesel from waste frying oils: Methods of production and purification. Energy Conversion and Management Volume 184205-218. Obtido por:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890419301074>

[5] - Bankovic, I., Stojkovic, I., Stamenkovic, O., Velijkovic, V., Hung Y., (2014). Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 32, 238-254.

Obtido por: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114000495>

[6] - Karmakar, A., Karmakar, S., Mukherjee, S., (2010). Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. Bioresource Technology volume 1017201-7210.

Obtido por: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410007650>.

[7] - Brasil escola, (2021). Biodiesel de Algas.

Obtido por: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/biodiesel-algas.htm>

[8] - Kirubakaran, M., Selvan, V., (2018). A comprehensive review of low cost biodiesel production from waste chicken fat. Renewable and Sustainable Energy Reviews volume 82, Part 1390-401. Obtido por:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211731287X>

[9] – BS EN 14214:2008+A1:2009, (2010). Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines – Requirements and test methods.

Obtido por: <http://agrifuelsqcs-i.com/attachments/1598/en14214.pdf>

[10] – EN14103, (2003). Fat and oil derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME) - Determination of ester and linolenic acid methyl ester contents.

[11] – Lima, A., (2020). Evaluation of alkaline ionic liquids for catalysis of biodiesel from cooking oil. Tese de Mestrado na Escola Superior de Tecnologia e Gestão.

[12] – EN ISO 3675, (1998). Petróleo cruo y productos petrolíferos líquidos – Determinación de la densidad en laboratorio – Método del areómetro.

[13] – NP EN ISO 3104, (1999). Produtos petrolíferos, Líquidos transparentes e opacos. Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica.

[14] – EN ISSO 12937, (2001). Productos petrolíferos, Determinación de água, Método de Karl Fischer por valoración culombimétrica (ISSO 12937:2000).

[15] – EN14103, (2003). Fat and oil derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME) - Determination of acid value.

[16] – EN 14111, (2003). Derivados de aceites y grasas, Ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME), Determinación del índice de yodo.

[17] - Cardoso, L., (2009). Inventário e Caracterização de Resíduos Animais com Potencialidades para a Produção de Biodiesel na Região do Grande Porto. Tese de Mestrado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Obtido por: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59286/1/000137128.pdf>

[18] – Ministério da Economia e da Inovação, (2008). Direcção-Geral de energia e geologia: Despacho nº 17313/2008.

[19] - Pereira, C., Gonçalves, C., Lira, J., Pereira, N., (2016). Caracterização da gordura de frango como alternativa para produção de biodiesel. 8º Simpósio Nacional de Biocombustíveis: Tecnologias, Sociedade e Ambiente.

Obtido por: <http://www.abq.org.br/biocom/2015/trabalhos/70/6456-17594.html>

[20] – Biodieselbr, (2020). Preços de referência do metanol atingem máxima para o ano de 2020.

Obtido por: <https://www.biodieselbr.com/noticias/usinas/insumo/precos-de-referencia-do-metanol-atingem-maxima-para-o-ano-de-2020-251120>

[21] – Loja dos químicos, (2021). Hidróxido de Potássio.

Obtido por: <https://www.lojadosquimicos.pt/product/hidroxido-de-potassio/> Acedido 12/05/2021

[22] - Global petrol price, (2021). Cabo Verde Preços do gasóleo.

Obtido por: [https://pt.globalpetrolprices.com/Cape-Verde/diesel\\_prices/](https://pt.globalpetrolprices.com/Cape-Verde/diesel_prices/) Acedido 12/05/2021

[23] – Meta química, (2021). Balão Volumétrico Classe A Rolha De Polietileno 5000ml.

Obtido por: <https://www.metaquimica.com/balao-volumetrico-classe-a-rolha-de-polietileno-5000ml.html> Acedido 12/05/2021

[24] - Kaiser+kraft, (). KERN – Balança de precisão utilização versátil.

Obtido por: [https://www.kaiserkraft.pt/balancas/balancas/balanca-de-precisao/utilizacao-versatil/p/M7740993/?articleNumber=569817&utm\\_content=Scales%3EScales&utm\\_term=569817&customerType=B2C&PC=&storefront=current&gclid=CjwKCAjwnPOEBhA0EiwA609ReS-O3l6D27kcPF5UiXLLRbTo88ii46gojjA7GGioV4-kWr8EeDV7oxoCFOQQAvD\\_BwE](https://www.kaiserkraft.pt/balancas/balancas/balanca-de-precisao/utilizacao-versatil/p/M7740993/?articleNumber=569817&utm_content=Scales%3EScales&utm_term=569817&customerType=B2C&PC=&storefront=current&gclid=CjwKCAjwnPOEBhA0EiwA609ReS-O3l6D27kcPF5UiXLLRbTo88ii46gojjA7GGioV4-kWr8EeDV7oxoCFOQQAvD_BwE)

[25] – Correia, L., (2019). Apontamentos da unidade curricular de Sistema Solar Térmico, Instituto Politécnico de Bragança.

[26] – PVGIS. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA FOTOVOLTAICA.

Obtido por: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP)

[27] - Vulcano, (2017). Tabela de preços solar térmico.

Obtido por: <http://pre.pt/eurotubo/pdf/Produtos/Paineis%20Solares/Paineis%20Solares-Vulcano/Tabela/Tabela%20de%20Precos%20Solar%202017.PDF>

[28] - Danfoss, (2017). Engineering tomorrow.

Obtido por: <https://simslu.es/uploads/secure/205/4/Tarifa%20danfoss%202017.pdf>

[29] - Sotecnisol, (2014). Tabelas de preços de venda – vasos expansão.

Obtido por:

[https://www.sotecnisol.pt/resources/777f40511b178afb7f9e2c1a7a9e55af/tabelas\\_de\\_preco/vasos\\_de\\_expansao\\_20141.pdf](https://www.sotecnisol.pt/resources/777f40511b178afb7f9e2c1a7a9e55af/tabelas_de_preco/vasos_de_expansao_20141.pdf)

[30] - Momondo, (2021). Hotéis em Ilha do Sal Encontra as melhores ofertas em 434 hotéis em Ilha do Sal.

Obtido por: <https://www.momondo.pt/hoteis/ilha-do-sal.ksp>

[31] - Vulcano, (2017). FKC-2S.

Obtido por: [https://www.vulcano.pt/ocsmedia/optimized/full/o276006v288\\_6720839499.pdf](https://www.vulcano.pt/ocsmedia/optimized/full/o276006v288_6720839499.pdf)

[32] Nicolaurosa,(2019). Tubo de cobre nú 18 x 1 mm (vara 5 m).

Obtido por: [<https://www.nicolaurosa.com/img/cms/cms/tabela-em-pdf/105.pdf> ]

[33] Nicolaurosa,(2021). Armaflex AC para tubos 6 mm, 6 mm espessura, vara 2 m, isolamento térmico Armacell.

Obtido por: [https://www.nicolaurosa.com/armacellacafdiv/5520-armaflex-ac-6mm-6mmvara-2m-7612207100174.html?search\\_query=isolamento&results=351isolamento](https://www.nicolaurosa.com/armacellacafdiv/5520-armaflex-ac-6mm-6mmvara-2m-7612207100174.html?search_query=isolamento&results=351isolamento)

[34] - AliExpress, (2021). Bomba de água solar da circulação da água do motor sem escova 1100l/h 7m dc 6-24v das bombas de água submersíveis solares da lagoa dos peixes melhoria da casa.

Obtido por:

[https://pt.aliexpress.com/item/1005001321518921.html?albpd=pt1005001321518921&acnt=494-037-6276&aff\\_platform=aaf&albpg=489474619664&netw=u&albcpr=12838082327&sk=UneMJZVf&trgt=489474619664&terminal\\_id=3475467e36be42c29429a58ea2a2b82d&tmLog=new\\_Detail&needSmbHouyi=false&albbt=Google\\_7\\_shopping&src=google&crea=pt1005001321518921&aff\\_fcid=92c52da4c818487895801f10fab9f616-1620959719922-05699-UneMJZVf&gclid=CjwKCAjwnPOEBhA0EiwA609RebbQIZ1pQcrRKvcKF\\_dqmnIFxYZy6Qd1BR\\_AKsfKtS\\_WgPZcD5wpuABoCIFEQAvD\\_BwE&albag=121613758699&aff\\_fsk=UneMJZVf&albch=shopping&albagn=888888&isSmbAutoCall=false&aff\\_trace\\_key=92c52da4c818487895801f10fab9f616-1620959719922-05699-UneMJZVf&device=c&gclsrc=aw.ds](https://pt.aliexpress.com/item/1005001321518921.html?albpd=pt1005001321518921&acnt=494-037-6276&aff_platform=aaf&albpg=489474619664&netw=u&albcpr=12838082327&sk=UneMJZVf&trgt=489474619664&terminal_id=3475467e36be42c29429a58ea2a2b82d&tmLog=new_Detail&needSmbHouyi=false&albbt=Google_7_shopping&src=google&crea=pt1005001321518921&aff_fcid=92c52da4c818487895801f10fab9f616-1620959719922-05699-UneMJZVf&gclid=CjwKCAjwnPOEBhA0EiwA609RebbQIZ1pQcrRKvcKF_dqmnIFxYZy6Qd1BR_AKsfKtS_WgPZcD5wpuABoCIFEQAvD_BwE&albag=121613758699&aff_fsk=UneMJZVf&albch=shopping&albagn=888888&isSmbAutoCall=false&aff_trace_key=92c52da4c818487895801f10fab9f616-1620959719922-05699-UneMJZVf&device=c&gclsrc=aw.ds)

[35] - AliExpress, (2021). Roda da turbina da água de pelton com 11 colher plástica, diâmetro externo = 165 mm & 6.50 polegadas.

Obtido por:

[https://pt.aliexpress.com/item/1005002109166078.html?spm=a2g0o.detail.0.0.621b46c037T0XE&gps\\_id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.169870.0&scm\\_id=1007.13339.169870.0&scm-url=1007.13339.169870.0&pvid=0e8cd70f-1b83-4d1d-869f-962fe81ff043&t=gps-id:pcDetailBottomMoreThisSeller,scm-url:1007.13339.169870.0,pvid:0e8cd70f-1b83-4d1d-869f-962fe81ff043,ttp\\_buckets:668%230%23131923%2325\\_668%230%23131923%2325\\_668%23888%233325%2317\\_668%23888%233325%2317\\_668%232846%238112%231997\\_668%235811%2327191%23100\\_668%232717%237566%23864\\_668%231000022185%231000066059%230\\_668%233468%2315608%23113\\_668%232846%238112%231997\\_668%235811%2327191%23100\\_668%232717%237566%23864\\_668%233164%239976%23826\\_668%233468%2315608%23113](https://pt.aliexpress.com/item/1005002109166078.html?spm=a2g0o.detail.0.0.621b46c037T0XE&gps_id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.169870.0&scm_id=1007.13339.169870.0&scm-url=1007.13339.169870.0&pvid=0e8cd70f-1b83-4d1d-869f-962fe81ff043&t=gps-id:pcDetailBottomMoreThisSeller,scm-url:1007.13339.169870.0,pvid:0e8cd70f-1b83-4d1d-869f-962fe81ff043,ttp_buckets:668%230%23131923%2325_668%230%23131923%2325_668%23888%233325%2317_668%23888%233325%2317_668%232846%238112%231997_668%235811%2327191%23100_668%232717%237566%23864_668%231000022185%231000066059%230_668%233468%2315608%23113_668%232846%238112%231997_668%235811%2327191%23100_668%232717%237566%23864_668%233164%239976%23826_668%233468%2315608%23113)

# ANEXO A

## Determinação do teor de FAME por cromatografia gasosa

Nas figuras seguintes pode observar o teor de FAME de cada amostra de biodiesel realizado.

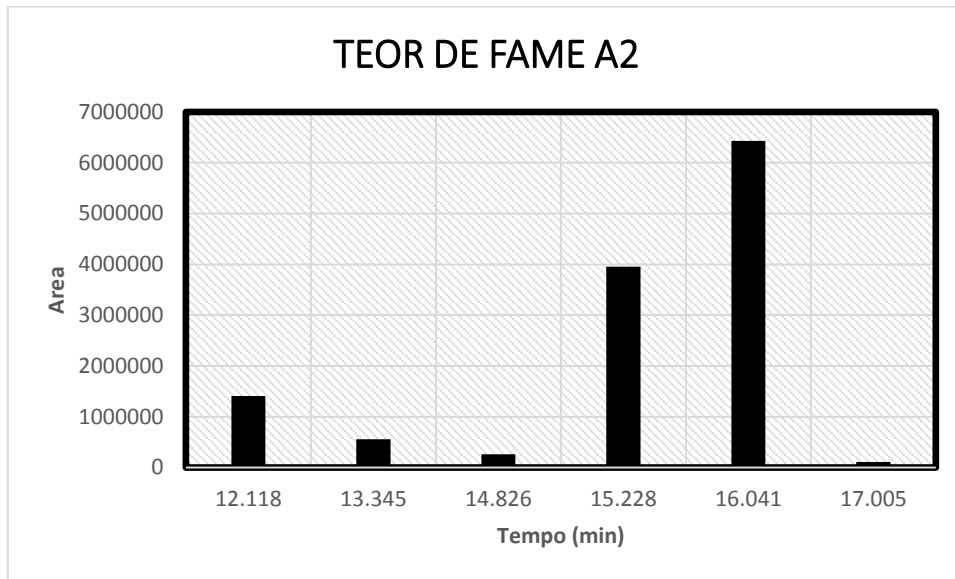


Figura 19: Resultado obtido da análise do biodiesel A2

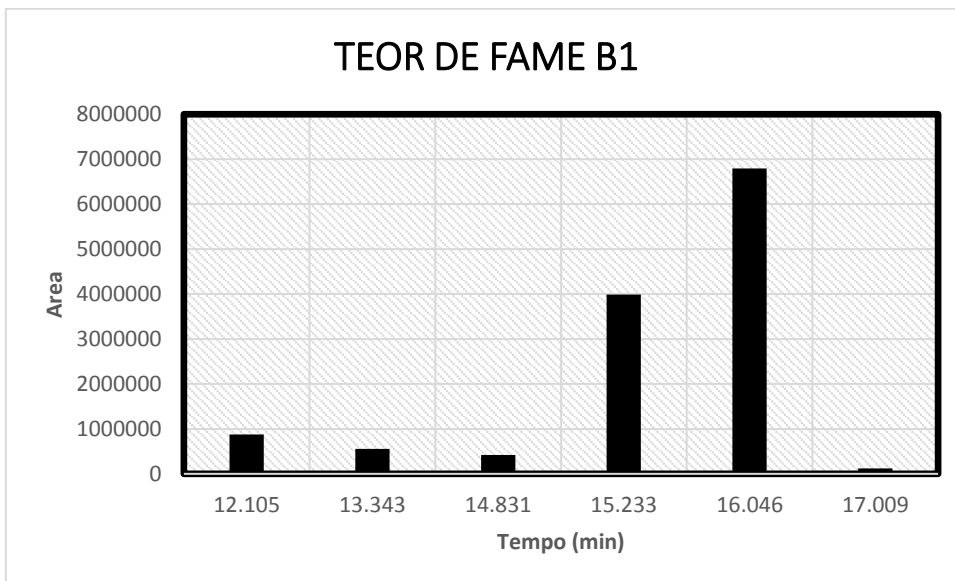
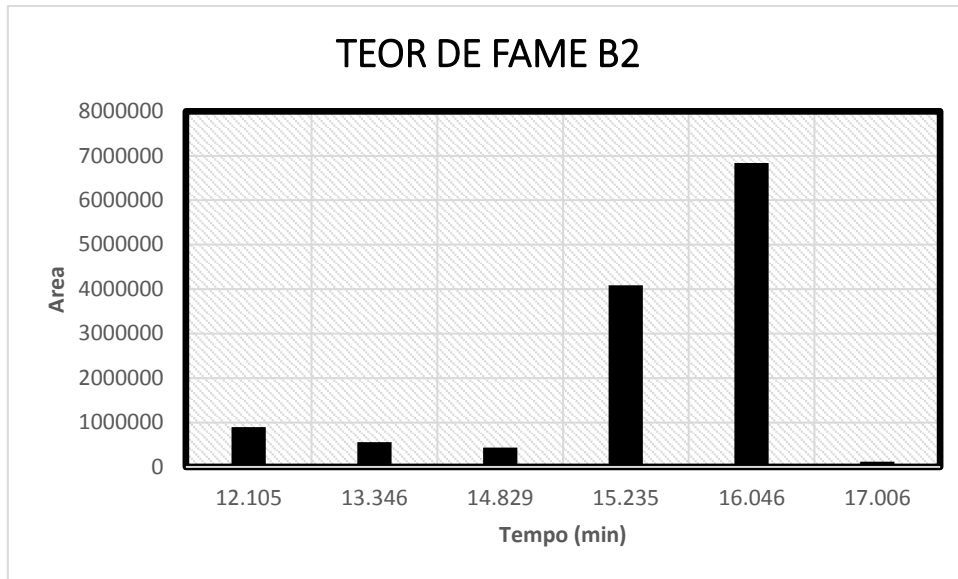
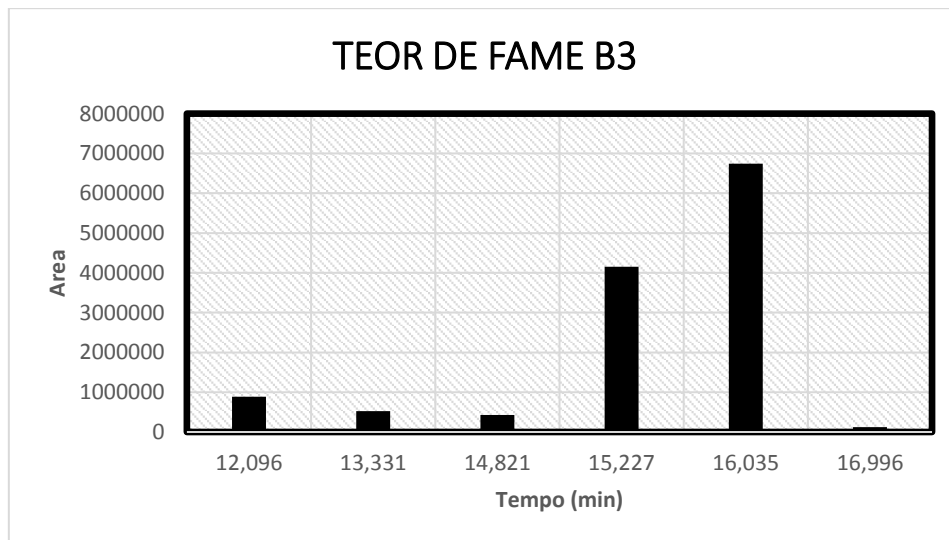


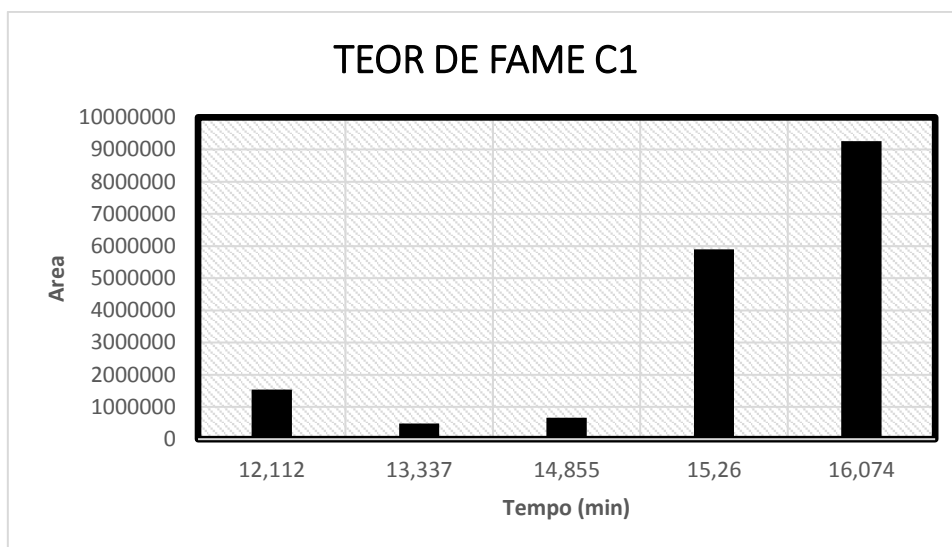
Figura 20: Resultado obtido da análise do biodiesel B1



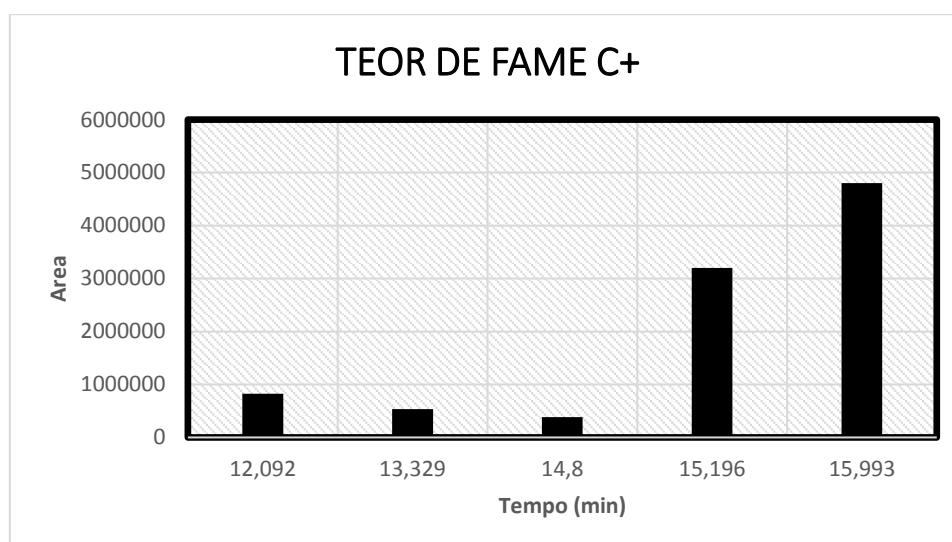
*Figura 21: Resultado obtido da análise do biodiesel B2*



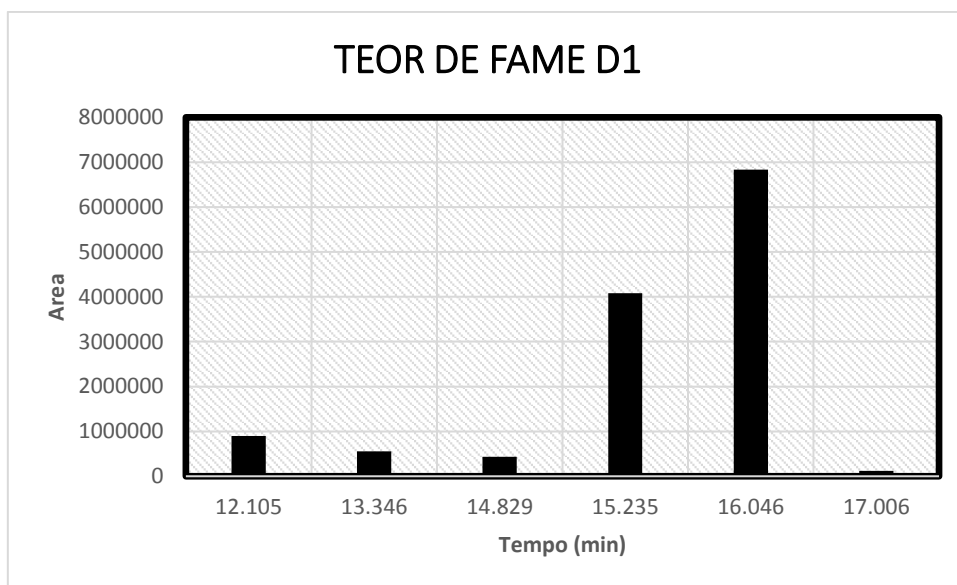
*Figura 22: Resultado obtido da análise do biodiesel B3*



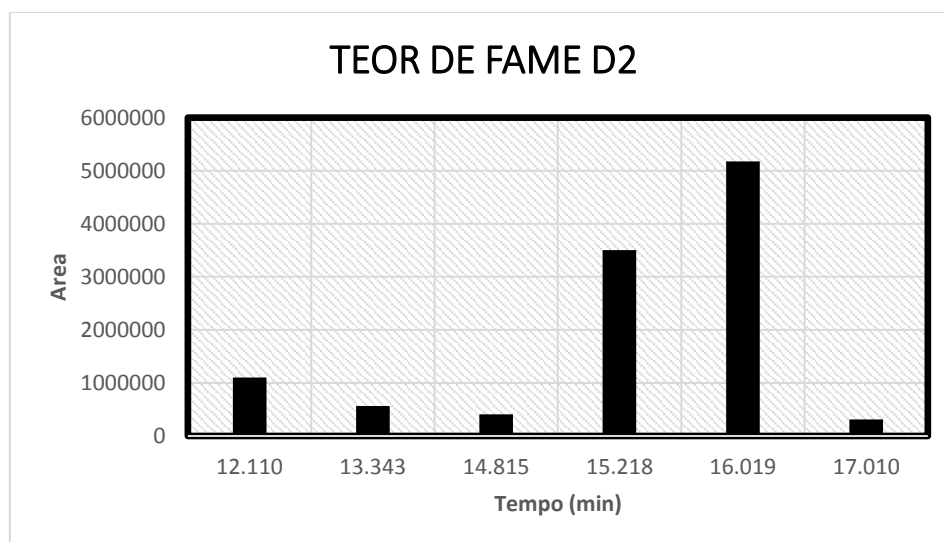
*Figura 23: Resultado obtido da análise do biodiesel C1*



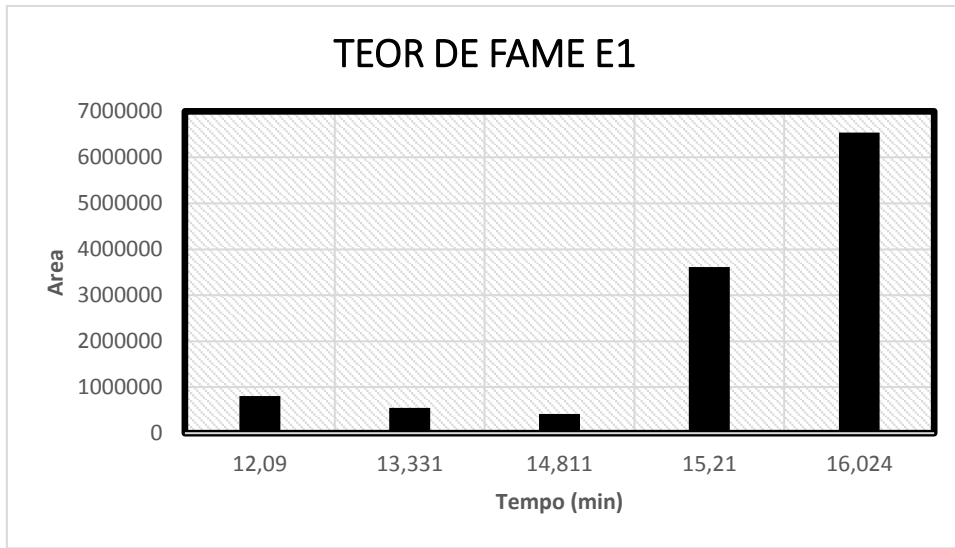
*Figura 24: Resultado obtido da análise do biodiesel C+*



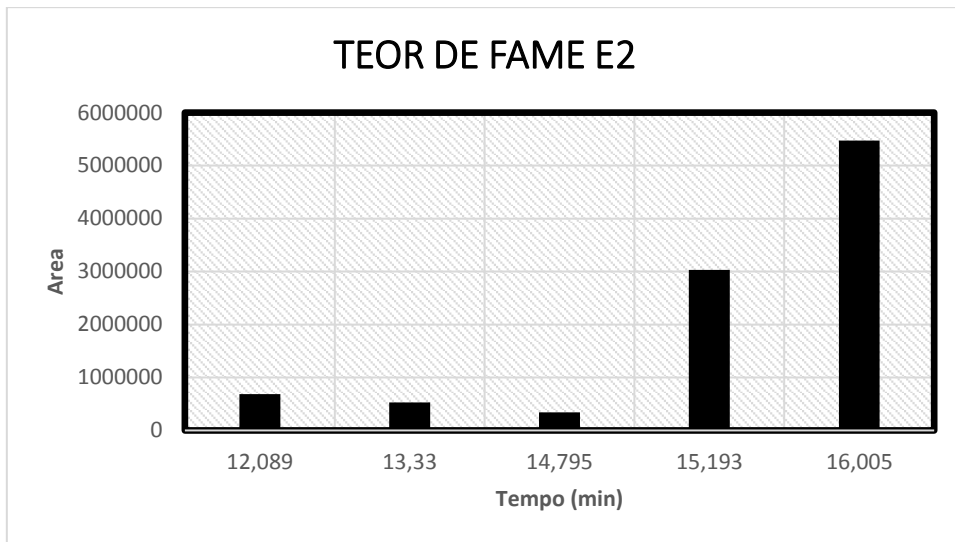
*Figura 25: Resultado obtido da análise do biodiesel D1*



*Figura 26: Resultado obtido da análise do biodiesel D2*



*Figura 27: Resultado obtido da análise do biodiesel E1*



*Figura 28: Resultado obtido da análise do biodiesel E2*

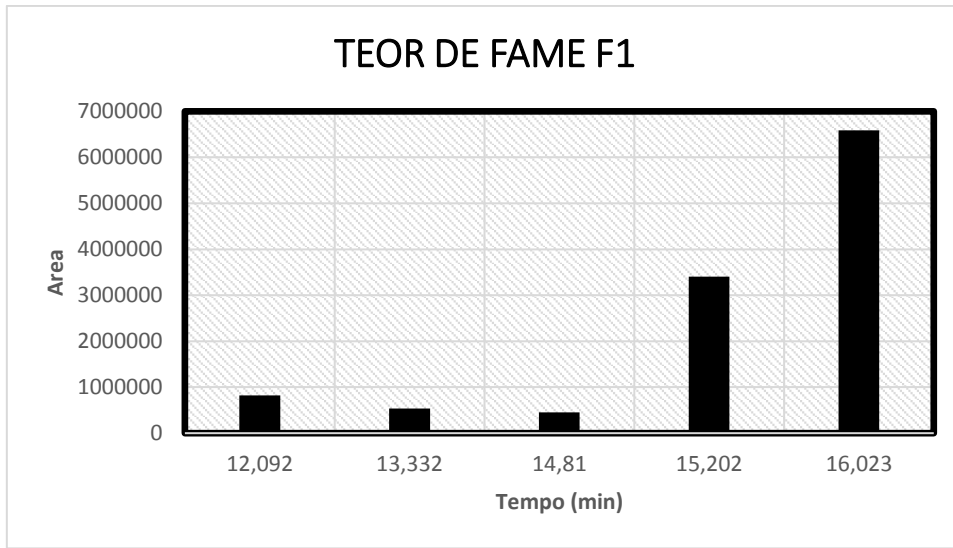


Figura 29: Resultado obtido da análise do biodiesel F1

Nas figuras seguintes pode-se observar o teor de FAME de cada óleo usado para produzir as amostras de biodiesel.

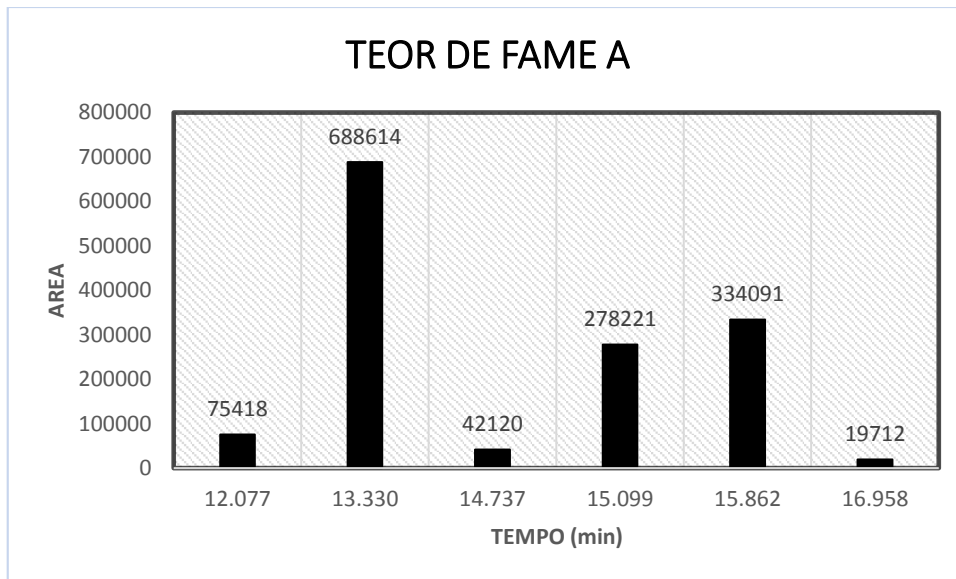


Figura 30: Resultado obtido da análise do óleo A

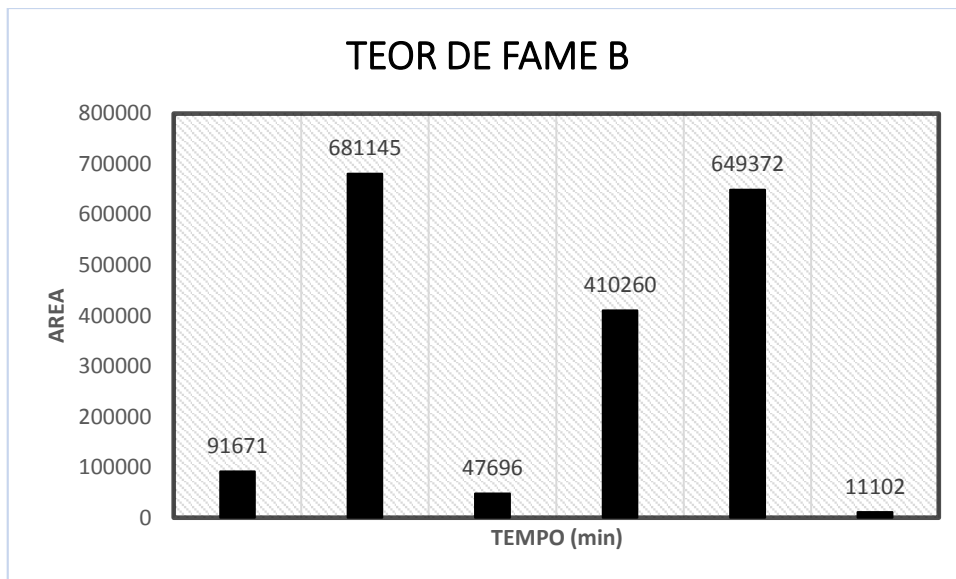


Figura 31: Resultado obtido da análise do óleo B

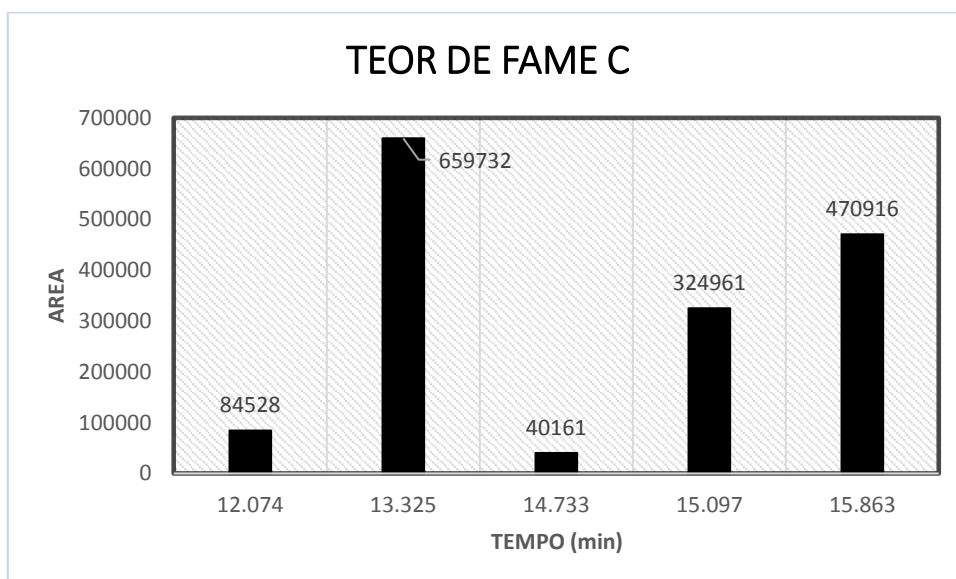


Figura 32: Resultado obtido da análise do óleo C

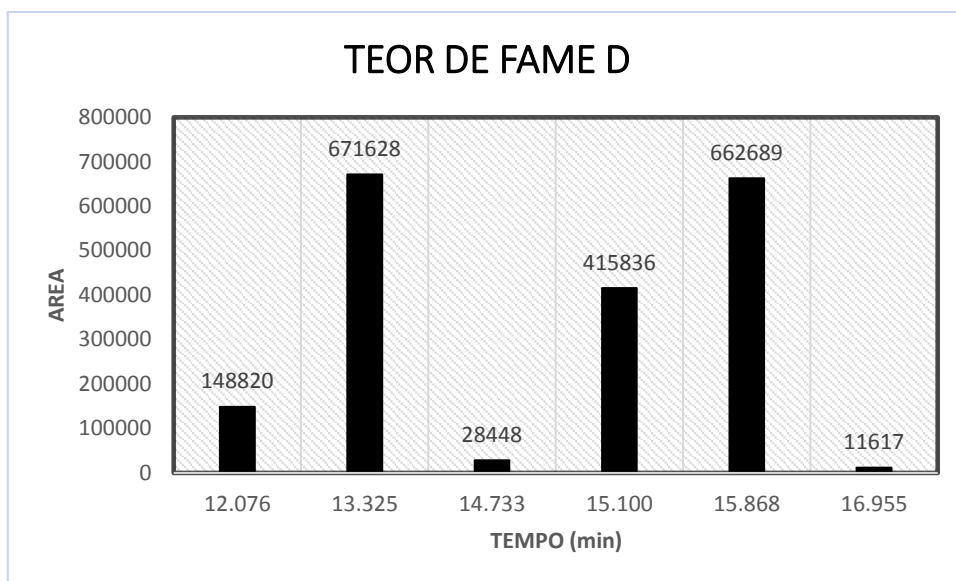


Figura 33: Resultado obtido da análise do óleo D

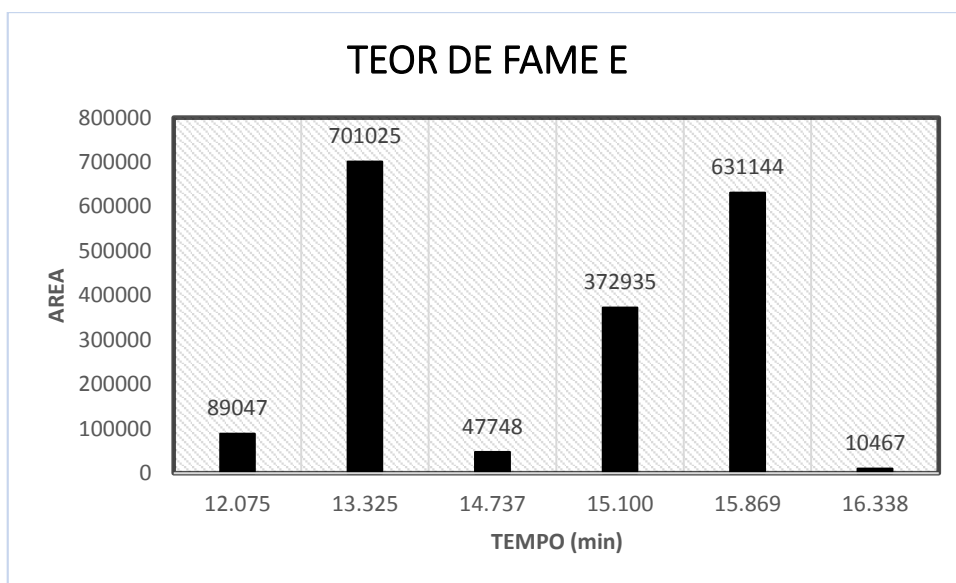


Figura 34: Resultado obtido da análise do óleo E

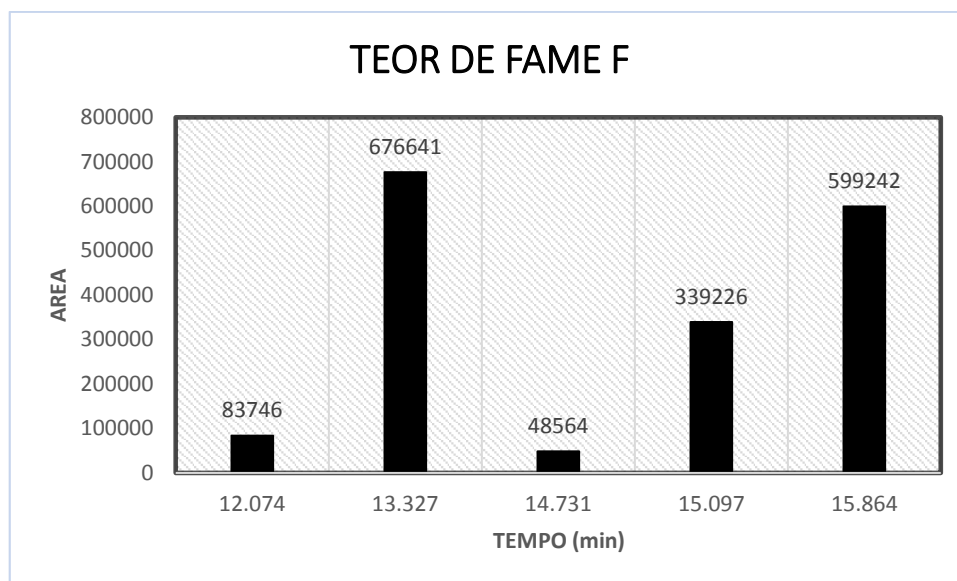


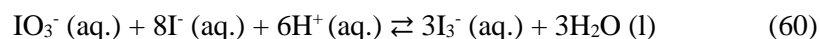
Figura 35: Resultado obtido da análise do óleo F

## Determinação do índice de iodo

### Preparação de uma solução de tiosulfato de sódio e sua padronização com iodato de potássio.

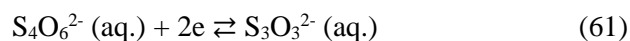
Apesar de ser possível obter o tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) com um elevado grau de pureza, existe pouca segurança da quantidade exata de água que contém. Por este motivo, não é uma substância apropriada para ser utilizada como padrão primário.

A padronização de soluções de tiosulfato pode ser efetuada com um padrão adequado, por exemplo, o iodato de potássio, que é uma substância primária. Para isso, utiliza-se uma quantidade rigorosamente conhecida de iodato de potássio que oxida, em meio ácido, o iodeto em excesso a triiodeto, segundo a equação seguinte.

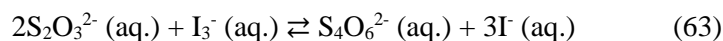


O triiodeto formado é titulado com a solução de tiosulfato cuja concentração se pretende determinar.

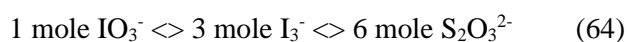
Semi-equações de redução:



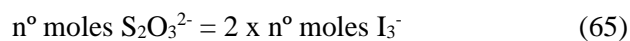
Equação global:



Ou seja,



Alternativamente,



## Procedimento Experimental

### Reagentes:

- Tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) (s);
- Iodeto de potássio (s);
- Iodato de potássio (s);
- Carbonato de sódio (s) / Clorofórmio;
- Solução de cozimento de amido;
- Solução de ácido sulfúrico 1 M (na hotte).

### Modo de proceder

#### A – Preparação de 500 mL de uma solução de tiosulfato sódio pentahidratado $\cong 0,1$ mol/L:

1. Preparar cerca de 1L de água fervida;
2. Pesar num gobelé de 250 mL 12,4 g de sólido (MM=248,18 g/mol) e adicionar cerca de 150 mL de água fervida dissolvendo com a ajuda de uma vareta;
3. Adicionar ao matraz cerca de 0,1 g de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ou três gotas de clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ) para estabilizar a solução;
4. Transferir para um balão de 500 mL e completar com água fervida;

5. Guardar a solução num frasco devidamente rotulado e longe da luz até ao momento da sua utilização.

$$C_{TIO} \cong \frac{12,4g/(248,18g/mol)}{0,5L} \quad (66)$$

### **B – Preparação de 100 mL de uma solução padrão de iodato de potássio 0,014 mo/L:**

1. Pesar rigorosamente (utilizar a balança analítica) cerca de 0,3000 g de iodato de potássio ( $MM(KIO_3) = 214,6 \text{ g/mol}$ ) para um vidro de relógio (anotar a massa de iodato com 4 casas decimais);

2. Transferir o sólido, para um balão volumétrico de 100 mL, e perfazer o volume do balão com água destilada recentemente fervida. Lavar, várias vezes, o vidro de relógio e o funil. Completar o volume do balão volumétrico e agitar para homogeneização completa. Escrever neste balão, com um marcador de vidro “solução de iodato”.

$$C_{KIO_3} = \frac{0,3000g/(214,6g/mol)}{0,1L} \quad (67)$$

### **C – Preparação de 100 mL de uma solução de iodeto de potássio a 10%:**

1. Pesar num gobelé de 100 mL 10,0 g de KI e adicionar cerca de 50 mL de água destilada dissolvendo com a ajuda de uma vareta;

2. Transferir para um balão de 100 mL e completar com água destilada;

3. Guardar a solução num frasco devidamente rotulado.

### **D – Padronização da solução de tiosulfato sódio com a solução padrão de iodato de potássio (tomas volúmicas):**

1. Preparar uma bureta de 25 mL com a solução de tiosulfato;

2. Para um matraz de 250 mL de boca larga medir com pipeta volumétrica 20,00 mL da solução padrão de iodato de potássio;

3. Adicionar ao matraz 12 mL de solução de iodeto de potássio (KI) a 10% (10g/100mL);

4. Adicionar ao matraz (na hotte) 3,5 mL de ácido sulfúrico a 1M;

5. Adicionar o tiosulfato da bureta, à solução do matraz até o líquido ficar com cor amarelo-claro. Não é necessário registrar este volume, e não deve voltar a encher a bureta, porque apenas interessa o volume final;

6. Nesta altura deve interromper a adição de tiosulfato e diluir a solução do matraz até aproximadamente 150 mL com água destilada e adicionar 2 mL (pipeta graduada) de solução de cozimento de amido;

7. Prosseguir a titulação, com o mesmo matraz, até viragem da cor da solução de azul para incolor. Registrar no diário de laboratório o volume total de tiosulfato gasto.

As tabelas seguintes pode observar o índice de iodo de cada amostra de biodiesel realizado.

*Tabela 39: Índice de iodo da Amostra A1*

A1			
Amostra	1	2	3
Massa (g)	0,1314	0,1395	0,1369
Volume (mL)	24,6	21,20	22,95
IV	117,20	119,99	106,00

*Tabela 40: Índice de iodo da Amostra B2*

B2			
Amostra	1	2	3
Massa (g)	0,1425	0,15	0,1393
Volume (mL)	22,5	22,50	22,2
IV	105,85	100,56	111,03

*Tabela 41: Índice de iodo da Amostra B1*

B1		
Amostra	1	2
Massa (g)	0,1317	0,1395
Volume (mL)	25,70	25
IV	83,60	85,32

Tabela 42: Índice de iodo da Amostra B3

B3		
Amostra	1	2
Massa (g)	0,1391	0,1365
Volume (mL)	24,50	26,5
IV	88,04	71,50

Tabela 43: Índice de iodo da Amostra C1

C1		
Amostra	1	2
Massa (g)	0,1382	0,1523
Volume (mL)	24,82	23,3
IV	85,74	90,21

Tabela 44: Índice de iodo da Amostra C+

C+		
Amostra	1	2
Massa (g)	0,1307	0,1381
Volume (mL)	27,50	29,8
IV	65,16	40,96

Tabela 45: Índice de iodo da Amostra D1

D1		
Amostra	1	2
Massa (g)	0,1451	0,1379
Volume (mL)	25,00	26,5
IV	80,12	70,78

Tabela 46: Índice de iodo da Amostra D2

D2		
Amostra	1	2
Massa (g)	0,1502	0,1447
Volume (mL)	23,65	23,5
IV	88,57	93,23

Tabela 47: Índice de iodo da Amostra E1

E1		
Amostra	1	2
Massa (g)	0,14	0,136
Volume (mL)	23,45	24,25
IV	96,80	92,33

Tabela 48: Índice de iodo da Amostra E2

E2		
Amostra	1	2
Massa (g)	0,1359	0,1314
Volume (mL)	23,40	22,5
IV	100,18	112,13

Tabela 49: Índice de iodo da Amostra F1

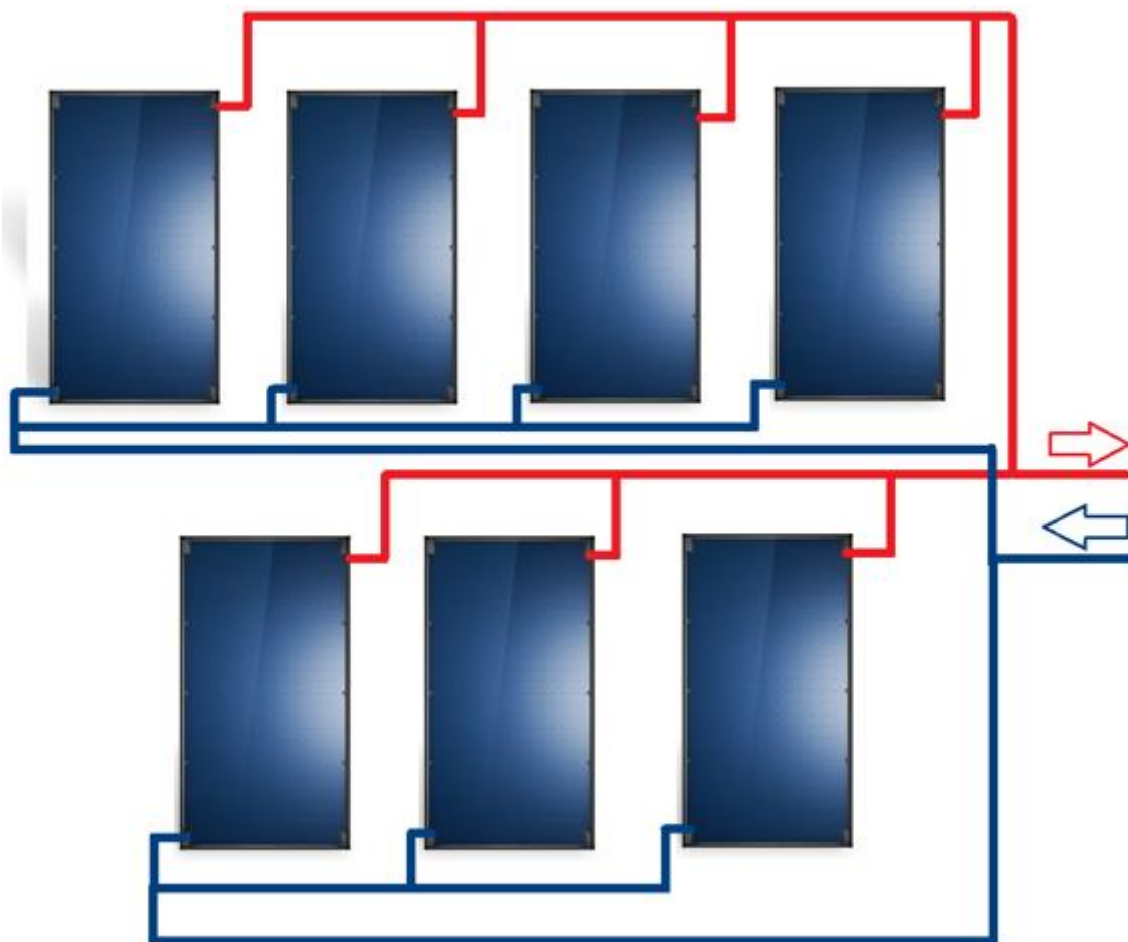
F1		
Amostra	1	2
Massa (g)	0,1436	0,1393
Volume (mL)	23,30	20,35
IV	95,67	124,96

## ANEXO B

### Equipamentos utilizados

#### SST

Foi escolhido a ligação entre os painéis em paralelo. Foi feito o ciclo invertido para que o caudal seja igual em todos os painéis ou seja o 1º painel que recebe a água será o último a sair a água e assim sucessivamente como mostra na figura seguinte.



*Figura 36: Esquema de princípio dos painéis*

Tabela 50: Dados do painel escolhido [31]

Dados do produto	Símbolo	Unidade	8718530958
<b>Tab. I: instalação solar para utilização com aquecedor elétrico e aparelho combinado</b>			
Área de abertura do coletor	$A_{sol}$	m <sup>2</sup>	2,25
Eficiência do coletor	$\eta_{col}$	%	61
<b>Tab. II: instalação solar para utilização com aquecedores de água</b>			
Área de abertura do coletor	$A_{sol}$	m <sup>2</sup>	2,25
Eficiência com perdas nulas	$\eta_p$		0,766
Coefficiente de primeira ordem	$a_1$	W/(m <sup>2</sup> K)	3,22
Coefficiente de segunda ordem	$a_2$	W/(m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )	0,015
Modificador do ângulo de incidência	IAM		0,92



MODELO WARMSUN FK-25		
MODELO	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Coletor solar plano de alto rendimento</b>, em alumínio/cobre com tratamento altamente seletivo (PVD), <b>para instalação na vertical</b> • Permite ligação em paralelo até 10 coletores, com ligação cruzada</li> <li>• Circuito hidráulico de grelha de tubos, com reduzida perda de carga • Ligações flexíveis em EPDM reforçadas com nylon, de instalação muito simples e resistente até 6 bar e 120° C • Isolamento em lâ mineral de 55 mm de espessura • Bandeja de uma só peça fabricada em fibra de vidro, de grande leveza e elevada resistência mecânica aos raios UV • Área útil coletável: 2,25 m<sup>2</sup> • Curva de rendimento*: <math>\eta_0=0,766</math>; <math>K_1=3,216</math>; <math>K_2=0,015</math> • <b>Dimensões:</b> A 2017 x L 1175 x P 87 mm</li> </ul>		
<b>WARMSUN FK-25:</b> Instalação na vertical	<b>8 718 530 958</b>	<b>640,00 €</b>

Figura 37: Características do painel escolhido [27]



MODELO SBL		
MODELO	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Unidade de recarga</b> para depósitos de água quente ou de inércia ligados em série • Inclui uma bomba tipo UP 15-30 (altura manométrica de bomba de 3 m) • <b>Dimensões:</b> A 185 x L 355 x P 180 mm</li> </ul>		
<b>SBL:</b> Unidade de recarga	<b>7 739 300 895</b>	<b>280,00 €</b>

Figura 38: Características da unidade de bombagem para os depósitos [27]



MODELO AGS		
MODELO	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Grupo de circulação</b> para o circuito primário de instalações de energia solar, composto por: 1 bomba, 2 válvulas de esfera com termómetro integrado e antirretorno por gravidade, 1 eliminador de ar, torneiras de corte, 1 caudalímetro, 1 válvula de segurança a 6 bar com manómetro; ligação para enchimento e esvaziamento do circuito primário solar; ligação de saída para o vaso de expansão</li> <li>• <b>Dimensões:</b> A 355 x L 290 x P 235 mm</li> </ul>		
<b>AGS 10-2:</b> P 1 a 10; AMB 7 m; DL 15 mm	<b>7 735 600 062</b>	<b>420,00 €</b>
<b>AGS 20-2:</b> P 10 a 20; AMB 7,5 m; DL 22 mm	<b>7 735 600 063</b>	<b>650,00 €</b>
<b>AGS 50-2:</b> P 20 a 50; AMB 9 m; DL 22 mm	<b>7 735 600 064</b>	<b>900,00 €</b>

**Nota:** A instalação deverá ter a quantidade de purgadores adequada ao seu correto funcionamento.  
**P:** Número de coletores; **AMB:** Altura manométrica da bomba; **DL:** Diâmetro de ligação.

Figura 39: Características da unidade de bombagem para os painéis [27]

Tabela 51: Parâmetros de cálculos para dimensionar o permutador



Catálogo do trocador de calor a placas



Danfoss Hexact(v5.5.2)		Ref.: GE20210514233728	
Cliente:		Pessoa de contato:	
Projeto:		E-mail:	
Trocador de calor: XB51L-1-20		Engenheiro (a): GE	
Unidade: 1 (Paralelo)	Código: 004B1532	Data: 14/05/2021 23:37:40	

Parâmetros calculados	Unidade	Lado 1	Lado 2
Tipo de fluxo		Contracorrente	
Carga térmica	kW		32,00
Temp. de entrada	°C	90,00	20,00
Temp. de saída (Especificado)	°C	65,00	60,00
Temp. de saída (Atual)	°C	--	--
Vazão mássica	kg/h	1098,7	688,8
Vazão volumétrica	L/min	18,789	11,561
Perda de carga total	kPa	0,46	0,18
Perda de carga - conexões	kPa	0,01	0,00
Fator de encrustação	m <sup>2</sup> -K/kW	0,460654	0,460654
Área total	m <sup>2</sup>		1,89
Margem da superfície	%		71,9
LMTD	K		37,30
HTC(Disponível / Obrigatório)	W/m <sup>2</sup> -K		780,2/453,9
Velocidade conexões	m/s	0,15	0,09

Tabela 52: Características do permutador dimensionado

**XB51**

Dimensiones  
mm 466 x 256  
Distancia entre ejes  
mm 379 x 170  
Diámetro conexiones  
G 2"  
Material Placas  
AISI 316  
Material Soldadura  
Cobre  
Presión 25 bar



**XB51L**

Modelo	Código	Peso kg	ABC Class	Descripción	Numero de placas	PN	Precio €
XB51L	004B1141	9,80	C	XB51L-1 10 PN25 G 2 x 50mm	10	25	529,42
	004B1142	12,08	C	XB51L-1 16 PN25 G 2 x 50mm	16		620,06
	004B1532	13,60	C	XB51L-1 20 PN25 G 2 x 50mm	20		696,28
	004B1533	15,88	B	XB51L-1 26 PN25 G 2 x 50mm	26		798,25
	004B1194	19,24	B	XB51L-1 30 PN25 G 2 x50mm	30		875,50
	004B1195	20,72	B	XB51L-1 36 PN25 G 2 x50mm	36		976,44
	004B1196	22,12	B	XB51L-1 40 PN25 G 2 x50mm	40		1.065,02
	004B1197	24,10	B	XB51L-1 50 PN25 G 2 x50mm	50		1.175,23
	004B1198	27,18	B	XB51L-1 60 PN25 G 2 x50mm	60		1.285,44
	004B1199	30,18	B	XB51L-1 70 PN25 G 2 x50mm	70		1.395,65
	004B1200	35,94	B	XB51L-1 80 PN25 G 2 x50mm	80		1.534,70
	004B1201	43,60	B	XB51L-1 90 PN25 G 2 x50mm	90		1.666,54
	004B1202	45,00	C	XB51L-1 100 PN25 G 2 x50mm	100		1.813,83
	004B1203	50,00	C	XB51L-1 110 PN25 G 2 x50mm	110		1.928,16
	004B1204	53,50	C	XB51L-1 120 PN25 G 2 x50mm	120		2.042,49
	004B1534	55,40	C	XB51L-1 130 PN25 G 2 x 50mm	130		2.171,24
004B1536	59,20	C	XB51L-1 140 PN25 G 2 x 50mm	140	2.298,96		

Tabela 53: Características dos depósitos de inércia [27]

## Depósitos de Inércia



GAMA G-I e MV-I					
MODELO	CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA A.Q.S.	CAPACIDADE	EAN	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
<p>• Depósito de inércia; Ideal para aplicações coletivas de média dimensão (modelo G-I) e de elevada dimensão (modelo MV-I); Principais aplicações: acumulação de inércia do circuito fechado de distribuição de calor, em sistemas solares térmicos coletivos, com permutador individual por apartamento, para produção instantânea de A.Q.S. de forma indireta com recurso a energia solar térmica; Acumulação em sistemas de aquecimento central de baixa temperatura; Acumulação em sistemas de aquecimento/arrefecimento por bomba de calor; Elevado poder de estratificação; Isolamento em espuma rígida de poliuretano de 80 mm (Exceto modelos até 600 l: 40 mm) e 45 kg/m<sup>3</sup> (não inclui CFC); Acumulação contínua de água até 100° C; Fornecido com acabamento exterior em forro acolchoado.</p> <p>• <b>Dimensões G 80-I:</b> A 749 x Ø 480 mm <b>G 140-I:</b> A 1155 x Ø 480 mm <b>G 200-I:</b> A 985 x Ø 620 mm <b>G 260-I:</b> A 1240 x Ø 620 mm <b>G 600-I:</b> A 1730 x Ø 770 mm <b>G 800-I:</b> A 1840 x Ø 950 mm <b>G 1000-I:</b> A 2250 x Ø 950 mm <b>G 1500-I:</b> A 2320 x Ø 1160 mm <b>MV 2000-I:</b> A 2280 x Ø 1360 mm</p>					
G 80-I	B	80 l	4051516090180	<b>7 736 502 929</b>	<b>630,00 €</b>
G 140-I	C	136 l	4051516090197	<b>7 736 502 932</b>	<b>710,00 €</b>
G 200-I	B	200 l	4051516090203	<b>7 736 502 933</b>	<b>800,00 €</b>
G 260-I	C	260 l	4051516090517	<b>7 736 502 934</b>	<b>860,00 €</b>
G 600-I	C	600 l	4051516706944	<b>7 736 501 341</b>	<b>1 450,00 €</b>
G 800-I	C	800 l	4051516706951	<b>7 736 501 342</b>	<b>1 800,00 €</b>
G 1000-I	C	1000 l	4051516706968	<b>7 736 501 343</b>	<b>2 000,00 €</b>
G 1500-I	C	1500 l	4051516706975	<b>7 736 501 344</b>	<b>2 850,00 €</b>
MV 2000-I	C	2000 l	4051516706982	<b>7 736 501 345</b>	<b>3 200,00 €</b>

**Nota 1:** Os depósitos são fornecidos com forro e válvula de segurança.

**Nota 2:** Para mais informações consultar o catálogo de depósitos da Vulcano.

Tabela 54: Características do dissipador [27]




DISSIPADORES SOLARES		
MODELO	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
<p>• Solução perfeita para as instalações solares em que possam ocorrer dissipações de calor excessivo, evitando assim o sobreaquecimento e eventuais perdas de fluidos • O dissipador é integrado no circuito hidráulico e comandado pelo seu sistema de controlo • Consumo energético reduzido • Baixo nível de ruído • Resistência a corrosão categoria C4 • Preparado para trabalhar com Glicol 40% • Alargada gama de modelos até 120 kW com um ou dois ventiladores, consoante a potência • <b>Dimensões:</b> 780 x 555 x 362 mm (DGS401A/4 e DGS401B/8); 1380 x 555 x 362 mm (DGS402A/11); 1105 x 828 x 428 mm (DGS501A/11, DGS501B/14 e DGS501C/16) e 2005 x 828 x 428 mm (DGS502A/20)</p>		
<b>DGS401A/4:</b> CF 1,7 (m <sup>3</sup> /h); PC 28,6 (kPa); VxP 1x285; L 1/2"; kW 24; m <sup>2</sup> *: 30; V 230 V/50 Hz; C 285 W/0,6 A; V 1430 rpm	<b>7 738 311 014</b>	<b>990,00 €</b>
<b>DGS401B/8:</b> CF 2,3 (m <sup>3</sup> /h); PC 15,4 (kPa); VxP 1x285; L 1/2"; kW 32; m <sup>2</sup> *: 40; V 230 V/50 Hz; C 285 W/0,6 A; V 1430 rpm	<b>7 738 311 015</b>	<b>1 090,00 €</b>
<b>DGS402A/11:</b> CF 3,5 (m <sup>3</sup> /h); PC 13,8 (kPa); VxP 2x285; L 3/4"; kW 48; m <sup>2</sup> *: 60; V 230 V/50 Hz; C 285 W/0,6 A; V 1430 rpm	<b>7 738 311 016</b>	<b>1 530,00 €</b>
<b>DGS501A/11:</b> CF 4 (m <sup>3</sup> /h); PC 17,9 (kPa); VxP 1x780; L 1"; kW 56; m <sup>2</sup> *: 70; V 400 V/III/50 Hz; C 780 W/1,35 A; V 1340 rpm	<b>7 738 311 017</b>	<b>1 790,00 €</b>
<b>DGS501B/14:</b> CF 5,2 (m <sup>3</sup> /h); PC 21,6 (kPa); VxP 1x780; L 1"; kW 72; m <sup>2</sup> *: 90; V 400 V/III/50 Hz; C 780 W/1,35 A; V 1340 rpm	<b>7 738 311 018</b>	<b>1 990,00 €</b>
<b>DGS501C/16:</b> CF 5,8 (m <sup>3</sup> /h); PC 24,1 (kPa); VxP 1x780; L 1"; kW 80; m <sup>2</sup> *: 100; V 400 V/III/50 Hz; C 780 W/1,35 A; V 1340 rpm	<b>7 738 311 019</b>	<b>2 180,00 €</b>
<b>DGS502A/20:</b> CF 8,7 (m <sup>3</sup> /h); PC 22,9 (kPa); VxP 2x780; L 1 1/2"; kW 120; m <sup>2</sup> *: 150; V 400 V/III/50 Hz; C 780 W/1,35 A; V 1340 rpm	<b>7 738 311 020</b>	<b>2 550,00 €</b>

**Nota:** Dados calculados para 40% Glicol, temperatura fluido: 90° C, temperatura ambiente: 35° C

\* Dado aproximado, verificar segundo o modelo do coletor.













CF: Caudal de fluido; PC: P. Carga; VxP: Vent. X Pot.; L: Ligações; V: Voltagem; C: Consumo; V: Velocidade

Tabela 55: Características dos vasos de expansão [29]

TABELA DE PREÇOS DE VENDA - VASOS EXPANSÃO			
Descrição/Tipo	Referência	Código	PVP (s/ IVA)
<b>Vasos expansão Mecalia para instalações solares</b> Pressão máxima de serviço: 8 bar. Pressão de pré-carga: 2,5 bar. Temperaturas de operação: -10 °C a 1400 °C. Temperatura máx. no diafragma: 140 °C Máxima percentagem de glicol: 50% Conexão de 3/4" para vasos de 18L até 50L, conexão de 1" para vasos de 80L até 300L. Nota: Vasos de 18 a 24 para instalação mural. Vasos de 35 a 300L para instalação no solo.			
Vaso Expansão DP/VS 18 litros	06105		50,00 €
Vaso Expansão DP/VS 24 litros	06106		53,00 €
Vaso Expansão DP/VSV 35 litros	06107		88,00 €
Vaso Expansão DP/VSV 50 litros	06108		153,00 €
Vaso Expansão DP/VSV 80 litros	06110		180,00 €
Vaso Expansão DP/VSV 100 litros	05230		238,00 €
Vaso Expansão DP/VSV 200 litros	05231		380,00 €
Vaso Expansão DP/VSV 300 litros	05232		528,00 €

O tubo de cobre custo 36€ por cada vara de 5 metros, é necessário isolar o cobre para diminuir as perdas térmicas. Foi utilizado um isolamento de 6mm com um custo de 0.61€ por cada 2 metros. O tubo de cobre utilizado foi de 18mm em vez de 16,5 mm, essa substituição do tubo de cobre não afeta os equipamentos escolhidos para o sistema porque a perda de carga diminui quanto maior for o diâmetro, logo não é necessária substituir a bomba, e também os vasos de expansão foram sobredimensionados mesmo com o aumento do volume, os vasos de expansão ainda servem. O tubo de cobre de 11mm foi substituído por um de 12 mm o que não afeta os equipamentos, pelo mesmo motivo do tubo anterior.

Tabela 56: Preços dos tubos de Cobre [32]

	Tubo de cobre nú 15 x 0,8 mm (vara 5 m)	105000815 5603480068000		UN 10	24,20 € <b>29,77 €</b>
	Tubo de cobre nú 22 x 0,8 mm (vara 5 m)	105000822 5603480068024		UN 10	37,40 € <b>46,00 €</b>
	Tubo de cobre nú 12 x 1 mm (vara 5 m)	105001012 5603480028547		UN 10	24,25 € <b>29,83 €</b>
	Tubo de cobre nú 15 x 1 mm (vara 5 m)	105001015 5603480028554		UN 10	29,45 € <b>36,22 €</b>
	Tubo de cobre nú 18 x 1 mm (vara 5 m)	105001018 5603480028561		UN 10	36,05 € <b>44,34 €</b>
	Tubo de cobre nú 22 x 1 mm (vara 5 m)	105001022 5603480028578		UN 10	44,50 € <b>54,74 €</b>
	Tubo de cobre nú 28 x 1 mm (vara 5 m)	105001028 5603480061230		UN 5	58,10 € <b>71,46 €</b>
	Tubo de cobre nú 35 x 1 mm (vara 5 m)	105001035 5603480114134		UN 5	72,25 € <b>88,87 €</b>
	Tubo de cobre nú 28 x 1,2 mm (vara 5 m)	105001228 5603480028585		UN 5	69,95 € <b>86,04 €</b>
	Tubo de cobre nú 35 x 1,5 mm (vara 5 m)	105001535 5603480028592		UN 5	109,70 € <b>134,93 €</b>
	Tubo de cobre nú 42 x 1,5 mm (vara 5 m)	105001542 5603480028608		UN 3	134,05 € <b>164,88 €</b>



## Armaflex AC para tubos 6 mm, 6 mm espessura, vara 2 m, isolamento térmico Armacell

Referência: 175010606

Código de barras: 7612207100174

Unidade de venda: Unidade

IVA: 23 %

Fabricante: Armacell

### Valor de tabela

0,76 € s/ IVA

0,93 € c/ IVA

### Valor com desconto

**20%**

0,61 € s/ IVA

**0,75 € c/ IVA**

Figura 40: Preço do isolamento de 6mm [33]



### MODELO ELT 5

MODELO	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
--------	--------	--------------

• **Purgador automático** especial para instalações solares, para FKC-2 e FCC-25 • Equipado com câmara de acumulação de vapor, que facilita a eliminação do ar contido no líquido solar • Intervalo de temperatura: - 30° C a + 150° C • Incorpora válvula de esfera

ELT 5: Para instalações solares	7 739 300 432	75,00 €
---------------------------------	---------------	---------

Figura 41: Dados do purgador [27]



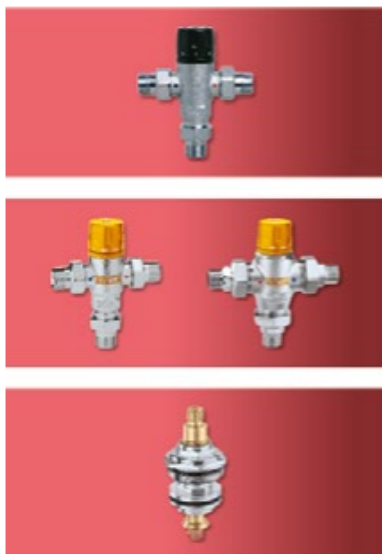
### VÁLVULA DE SEGURANÇA

MODELO	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
--------	--------	--------------

• **Válvula de segurança**, especial para aplicações de energia solar • Corpo em latão, cromado • Potência de descarga: 50 kW • Intervalo de temperatura: - 30° C a + 160° C

Válvula de segurança 2,5 bar	8 718 221 384 0	17,50 €
Válvula de segurança 3 bar	7 709 500 120	14,30 €
Válvula de segurança 6 bar	7 709 500 119	14,30 €

Figura 42: Dados da válvula de segurança [27]



VÁLVULAS MISTURADORAS TERMOSTÁTICAS		
MODELO	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Válvula misturadora termostática assegura uma temperatura adequada no fornecimento de água quente sanitária</li> </ul>		
Válvula misturadora termostática 3/4" (regulação 30° C a 65° C, Tmax 85° C)	7 709 500 064	59,00 €
Válvula misturadora termostática solar 1/2" (regulação 30° C a 65° C, Tmax 100° C)	7 709 500 290	92,50 €
Válvula misturadora termostática solar 3/4" (regulação 30° C a 65° C, Tmax 100° C)	7 709 500 291	92,50 €
Válvula misturadora termostática solar com válvula de retenção 3/4" (regulação 30° C a 65° C, Tmax 100° C)	7 709 500 292	107,00 €
Válvula misturadora termostática solar com cartucho substituição 1/2" (regulação 30° C a 65° C, Tmax 110° C)	7 709 500 293	533,00 €
Válvula misturadora termostática solar com cartucho substituição 3/4" (regulação 30° C a 65° C, Tmax 110° C)	7 709 500 294	558,00 €
Cartucho de substituição para misturadora solar	7 709 500 295	338,00 €
Válvula misturadora termostática 3/4" (Fixa 55° C, Tmax 100° C)	7 709 500 299	50,00 €

Figura 43: Dados da válvula misturadora e termostáticas [27]



MODELO VS-VU		
MODELO	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Válvula desviadora de três vias motorizada</li> </ul>		
DWU 20: Diâmetro 3/4"	7 739 300 116	125,00 €
VS-VU: Diâmetro 1"	8 510 322 0	120,00 €
Válvula motorizada 3/4"	7 736 502 093	125,00 €
Válvula motorizada 1"	7 736 502 094	125,00 €

Figura 44: Dados da válvula de desviadora [27]



CONJUNTO DE CONTROLADOR SOLAR E MÓDULO SOLAR		
MODELO	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 entradas para sondas de temperatura NTC</li> <li>• 2 ligações PWM para circuladores de alta eficiência</li> <li>• Possibilidade de controlo até 4 bombas ou válvulas misturadoras/desviadoras mais 2 bombas modulantes</li> <li>• Display LCD com indicação de temperaturas do depósito e do painel, códigos de erro, modo de funcionamento e estado da bomba</li> <li>• Sistemas pré-configurados com pictogramas</li> <li>• Dimensões do CS 200: A 101 x L 123 x P 27 mm</li> <li>• Dimensões do Módulo MS 200: A 184 x L 240 x P 61 mm</li> <li>• Montagem na parede</li> <li>• Inclui 2 sondas de temperatura NTC</li> </ul>		
CS 200 e MS 200	7 736 504 083	350,00 €

Figura 45: Dados do sistema de controlo [27]



MODELO SONDAS DE TEMPERATURA		
MODELO	CÓDIGO	PREÇO S/ IVA
SF 4: Sonda de temperatura NTC para ligação ao acumulador (12K)	7 747 009 881	10,00 €
TF 2: Sonda de temperatura NTC para ligação aos coletores (20K)	7 747 009 880	35,00 €
SE-8: Sonda de temperatura com termóstato para controlo do acumulador	7 719 001 172	55,00 €

Figura 46: Dados dos sensores de temperatura [27]

Tabela 57: Preços dos tê de Cobre [32]

	Tê de cobre para soldar 10 mm		UN	2,19 €
	105300010	5603480088213		
	Tê de cobre para soldar 12 mm		UN	1,17 €
	105300012	5603480029728	10	1,44 €
	Tê de cobre para soldar 15 mm		UN	0,69 €
	105300015	5603480029735	25	0,85 €
	Tê de cobre para soldar 18 mm		UN	1,38 €
	105300018	5603480029742	10	1,70 €
	Tê de cobre para soldar 22 mm		UN	2,37 €
	105300022	5603480029759	10	2,92 €
	Tê de cobre para soldar 28 mm		UN	4,38 €
	105300028	5603480029766	10	5,39 €
	Tê de cobre para soldar 35 mm		UN	11,97 €
	105300035	5603480029773	3	14,72 €
	Tê de cobre para soldar 42 mm		UN	22,98 €
	105300042	5603480029780	1	28,27 €
	Tê de cobre para soldar 54 mm		UN	37,98 €
	105300054	5603480029797	1	46,72 €

Tabela 58: Preços das curvas de Cobre [32]


	Joelho 90º de cobre para soldar 10 mm		UN	1,53 €
	105100010	5603480114004		
	Joelho 90º de cobre para soldar 12 mm		UN	0,51 €
	105100012	5603480029049	10	0,63 €
	Joelho 90º de cobre para soldar 15 mm		UN	0,42 €
	105100015	5603480029056	25	0,52 €
	Joelho 90º de cobre para soldar 18 mm		UN	0,63 €
	105100018	5603480029063	10	0,77 €
	Joelho 90º de cobre para soldar 22 mm		UN	1,05 €
	105100022	5603480029070	10	1,29 €
	Joelho 90º de cobre para soldar 28 mm		UN	1,92 €
	105100028	5603480029087	10	2,36 €
	Joelho 90º de cobre para soldar 35 mm		UN	8,10 €
	105100035	5603480029094	3	9,96 €
	Joelho 90º de cobre para soldar 42 mm		UN	12,90 €
	105100042	5603480029100	1	15,87 €
	Joelho 90º de cobre para soldar 54 mm		UN	25,38 €
	105100054	5603480029117	1	31,22 €

Tabela 59: Preço de instalação do SST

Designação	Quant.	Preço unitário	Valor	Margem	Mão dobra	Temp. Exec. (H)	Materiais	Acessórios	Custo unitário	Mat. PTabela
Painel - Vulcano - WARMISUN FK-C-2S	7	821,88 €	5 753,16 €	25%	17,50 €	4,00 €	640,00 €	- €	657,50 €	640,00 €
Bomba deposito - Vulcano- SBL	3	355,47 €	1 066,41 €	25%	4,38 €	1,00 €	280,00 €	- €	284,38 €	280,00 €
Grupo de bomba Vulcano- AGS	1	535,94 €	535,94 €	25%	8,75 €	2,00 €	420,00 €	- €	428,75 €	420,00 €
Permutador - DanFoss - XB51L-1-20	1	875,82 €	875,82 €	25%	4,38 €	1,00 €	696,28 €	- €	700,66 €	696,28 €
Depósito 1- Vulcano- G 1000-I	1	2 516,41 €	2 516,41 €	25%	13,13 €	3,00 €	2 000,00 €	- €	2 013,13 €	2 000,00 €
Depósito 2 -Vulcano - G 200-I	1	1 016,41 €	1 016,41 €	25%	13,13 €	3,00 €	800,00 €	- €	813,13 €	800,00 €
Dissipador -Vulcano- kW 24 , DGS401A4	1	1 253,91 €	1 253,91 €	25%	13,13 €	3,00 €	990,00 €	- €	1 003,13 €	990,00 €
Vaso de expansão 1 - 18L	1	67,97 €	67,97 €	25%	4,38 €	1,00 €	50,00 €	- €	54,38 €	50,00 €
Vaso de expansão 2 - 24 L	1	71,72 €	71,72 €	25%	4,38 €	1,00 €	53,00 €	- €	57,38 €	53,00 €
Vaso de expansão 3 - 200L	1	480,47 €	480,47 €	25%	4,38 €	1,00 €	380,00 €	- €	384,38 €	380,00 €
Tubo cobre isolado Ø12mm (5m)	4	35,27 €	141,08 €	25%	2,19 €	0,50 €	24,50 €	1,53 €	28,21 €	24,50 €
Porgador - Vulcano - ELT 5	1	97,03 €	97,03 €	25%	2,63 €	0,60 €	75,00 €	- €	77,63 €	75,00 €
Válvula de corte	14	14,86 €	208,04 €	25%	2,63 €	0,60 €	9,26 €	- €	11,89 €	9,26 €
Válvula misturadora 3/4	1	118,91 €	118,91 €	25%	2,63 €	0,60 €	92,50 €	- €	95,13 €	92,50 €
Válvula de segurança 3bar	3	21,16 €	63,48 €	25%	2,63 €	0,60 €	14,30 €	- €	16,93 €	14,30 €
Válvula 3 Vias Motorizada	1	159,53 €	159,53 €	25%	2,63 €	0,60 €	125,00 €	- €	127,63 €	125,00 €
Sistema de controlo - Vulcano - MS 200	1	448,44 €	448,44 €	25%	8,75 €	2,00 €	350,00 €	- €	358,75 €	350,00 €
Sonda de deposito - Vulcano- NTC	3	15,78 €	47,34 €	25%	2,63 €	0,60 €	10,00 €	- €	12,63 €	10,00 €
Tubo de cobre isolado 18 mm (vara 5 m)	20	52,38 €	1 047,60 €	25%	4,38 €	1,00 €	36,00 €	1,53 €	41,90 €	36,00 €
Joelho de 90° Cobre 18 mm	29	6,26 €	181,54 €	25%	4,38 €	1,00 €	0,63 €	- €	5,01 €	0,63 €
Tês Cobre 18 mm	12	8,29 €	99,48 €	25%	5,25 €	1,20 €	1,38 €	- €	6,63 €	1,38 €
Transporte	1	7 754,47 €	7 754,47 €	25%	- €	- €	6 203,58 €	- €	6 203,58 €	6 203,58 €

## SPB

Bomba de água solar da circulação da água do motor sem escova 1100l/h 7m dc 6-2 4v das bombas de água submersíveis solares da lagoa dos peixes melhoria da casa

★★★★★ 4.6 ∨ 5 avaliações 11 pedidos

€ 13,51 ~~€16,89~~ -20%

€ 2,54 Cupom de novo usuário Pegue seu desconto

Ships From:

CHINA Estados Unidos Espanha Austrália Federação russa

França República checa CN

Quantidade:

– 1 + 94 itens disponíveis

Por favor seleccione o país de origem do envio

Comprar agora Adicione ao carrinho ♡ 41



Figura 47: Bomba do SPB [34]

### Especificação:

Nome: bomba de água solar

Modelo: JI-680-24

Material: acrilonitrilo butadieno estireno plástico

Cor: Preto

Tamanhos: 73.9x51.43x40.6mm

Tensão: 24V

Atual: 1.2A

Potência: 28.8W

Água máxima: 7m

Fluxo máximo: 1100 l/h

Tensão de partida: 6v

Grau de impermeabilização: IP68

Figura 48: características da bomba do SPB [34]



Figura 49: Roda d'água para o reator do SPB [35]

## Descrição

Roda de turbina de água Pelton com 11 colheres de plástico, diâmetro externo = 165 mm e 6,5 pol.

- \* Este item será enviado totalmente desmontado.
- \* Esta projeção é muito leve. O equilíbrio da roda é mínimo.
  - \* Este item tem% 25 de saída extra.
- \* Esta colher tem uma vida longa, não quebra, para não se deformar e esta colher feita de liga de plástico de boa qualidade usa navegação.
- \* Este item é muito leve. Portanto, equilibre quase% 0, não vibre e seu rolo não abrasão.
  - \* Esta roda d'água tem 115 (11 bar) de água
  - \* O disco da roda d'água tem heet mataland
  - \* Este disco é feito de máquina CNC.

PDC: 125 mm  
 DIÂMETRO EXT: 165 mm  
 BOCAL MÁX: 19 mm  
 COLHER: 11 unidades  
 DIÂMETRO DA COLHER: 37 mm

Figura 50: Característica da Roda d'água para o reator do SPB [35]

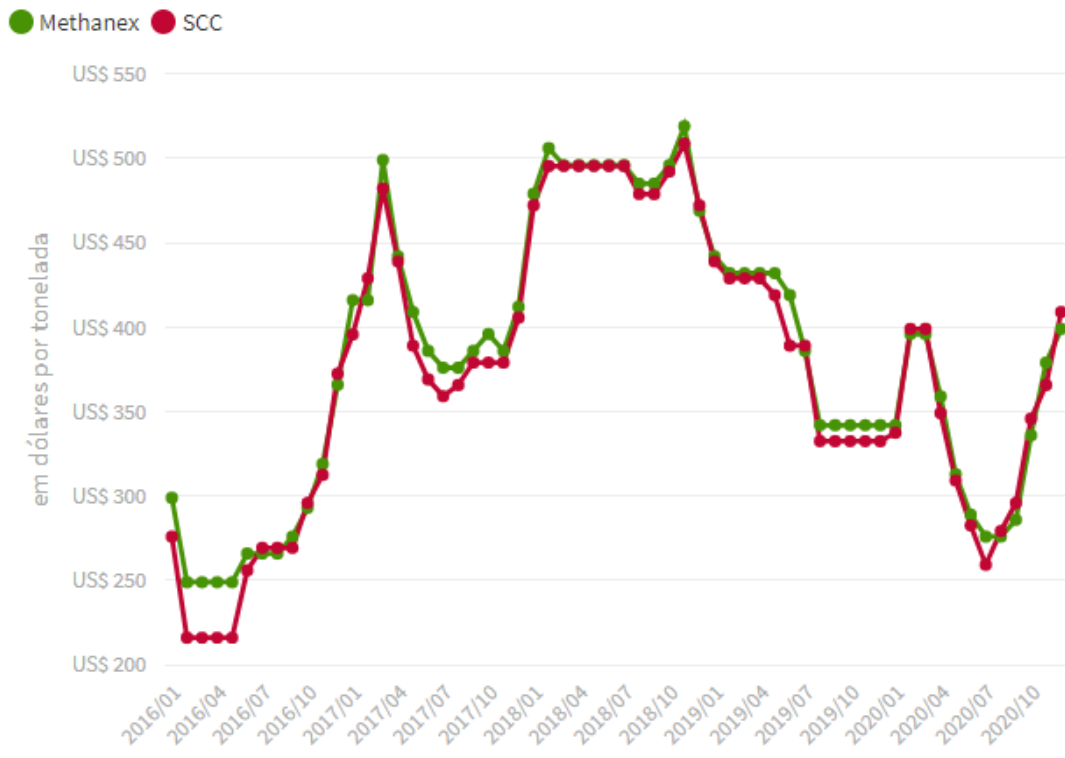


Figura 51: Gráfico da oscilação do custo do metanol [20]