

Diogo Filipe Simões Rodrigues  
Tiago Henrique Gonçalves Lourenço

Controlador de sistema integrado de  
produção de energia térmica

### **Relatório de Projeto**

Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica

Orientador:

Professor Doutor Paulo Moisés

Professor Doutor Bruno Marques

Julho de 2023





## RESUMO

Este projeto apresenta o desenvolvimento de um protótipo de uma unidade de controlo para sistemas de produção de água quente sanitária (AQS) que possibilita uma exploração mais eficiente destes sistemas, bem como a respetiva monitorização.

O controlador desenvolvido possibilita controlar sistemas de produção de água quente sanitária equipados com duas ou mais fontes de calor, incluindo um coletor solar térmico. Entre as restantes opções para fonte de calor encontram-se caldeiras de aquecimento (gás natural, *pellet*, etc.), resistências elétricas e bombas de calor.

Na base do controlador desenvolvido encontra-se um minicomputador *Raspberry Pi*, no qual o algoritmo de controlo é processado. Na prática, após a predefinição de um conjunto de valores de temperatura para o depósito de AQS (mínimo, máximo, desejável), o sistema de controlo procurará assegurar a disponibilidade de AQS com o menor custo, tendo em consideração o conjunto de fontes de calor disponíveis e os respetivos custos para produção da energia térmica.

No processo de controlo são adquiridas, utilizando sensores adequados, temperaturas (depósito de AQS, tubagens de saída e entrada na caldeira), bem como informação sobre a previsão meteorológica e sobre preços de eletricidade. A previsão meteorológica é conseguida através do acesso a um sítio de internet específico e permite tomar decisões sobre as fontes de calor a utilizar, em função da disponibilidade de energia solar. Os preços da energia elétrica, utilizada para alimentar uma resistência de aquecimento (quando existente), podem ser fixos para um determinado período (com discriminação de períodos horários ou não) ou indexados ao mercado de eletricidade. Neste último caso, o sistema de controlo obtém o preço para a eletricidade no sítio do mercado ibérico de eletricidade.

É importante referir que o comportamento do sistema pode variar consoante as configurações previamente inseridas, disponibilidade solar e tempos de aquecimento dos diferentes tipos de fontes de calor.

A configuração do sistema, bem como a apresentação de informação relativa ao seu funcionamento, é conseguida com a utilização de uma interface gráfica desenvolvida para ser utilizada com um ecrã LCD *Touch* acoplado ao minicomputador *Raspberry Pi*.



## **AGRADECIMENTOS**

Este relatório realça os inúmeros desafios que tivemos de enfrentar para fazer um estudo mais pormenorizado acerca do protótipo de uma unidade de controlo que foi desenvolvido para sistemas de produção de água quente sanitária. Durante a nossa investigação enfrentámos inúmeras adversidades que só conseguimos superar com a indispensável ajuda dos nossos professores. Assim, agradecemos ao Professor Doutor Paulo Moisés e ao Professor Doutor Bruno Marques pela partilha de conhecimentos, esclarecimento de dúvidas, palavras de apoio e incentivo ao longo do desenvolvimento deste projeto. Todos os desafios e dificuldades que encontrámos só foram superados com o apoio constante destes.

Queremos, ainda, agradecer às nossas famílias, pela compreensão que tiveram ao longo desta etapa, pelo apoio dado desde o primeiro dia que ingressámos no nosso curso.

Por último, mas não menos importantes, expressamos o nosso agradecimento aos colegas e amigos, pelo apoio, disponibilidade e partilha de conhecimento ao longo deste percurso.



# ÍNDICE GERAL

RESUMO.....	i
AGRADECIMENTOS .....	iii
ÍNDICE GERAL .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
SIGLAS E ABREVIATURAS .....	xi
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Estrutura do relatório.....	7
2 Fontes de calor em sistemas de AQS.....	9
2.1 Generalidades .....	9
2.2 Caldeiras de <i>Pellets</i> .....	10
2.3 Caldeira a gasóleo.....	12
2.4 Caldeira a gás.....	13
2.5 Bomba de Calor .....	14
2.6 Coletor Solar Térmico .....	16
3 Especificações do sistema .....	17
4 Implementação do sistema.....	23
4.1 <i>Hardware</i> – Componentes utilizados .....	23
4.1.1 <i>Raspberry Pi</i> .....	23
4.1.2 Painel <i>LCD Touch</i> .....	26
4.1.3 Sensores DS18B20 .....	26
4.1.4 Módulo de relés .....	27
4.2 Ferramentas de software utilizadas.....	28
4.2.1 Sistema operativo <i>raspbian</i> .....	28
4.2.2 Terminal <i>Linux</i> .....	28
4.2.3 Linguagem <i>Python</i> .....	29
4.2.4 Protocolo de comunicação 1-Wire .....	29
4.3 Configurações.....	30
4.3.1 Principais comandos utilizados .....	30

4.3.2	Configurações iniciais do sistema do <i>Raspberry Pi</i> .....	31
4.3.3	Configuração da comunicação 1-Wire .....	33
4.3.4	Configuração e instalação do LCD.....	36
4.4	Algoritmo de controlo .....	37
4.5	Interface Gráfica.....	44
4.5.1	Janela Inicial .....	45
4.5.2	Janela Energia.....	46
4.5.3	Janela Meteo .....	47
4.5.4	Janela Status .....	48
4.5.5	Janela Configurações.....	49
4.5.5.1	Janela Instalador.....	50
4.5.5.2	Janela Utilizador.....	51
4.5.5.2.1	Janela Temperaturas.....	52
4.5.5.2.2	Janela Tarifários.....	53
4.5.5.2.3	Janela Tipo de Aquecimento e Poder Calorifico .....	54
4.5.6	Janela Iniciar.....	56
4.5.7	Janela Parar.....	56
4.6	Resultado final.....	57
5	Conclusão e trabalhos futuros.....	59
	Referências .....	61
	Anexo 1 – Fluxograma principal .....	65
	Anexo 2 – Fluxograma energia .....	67
	Anexo 3 – Fluxograma Meteorologia.....	69
	Anexo 4 – Fluxograma <i>Status</i> .....	71
	Anexo 5 – Fluxograma configurações.....	73
	Anexo 6 – fluxograma Iniciar.....	75
	Anexo 7 – Fluxograma Parar.....	77
	Anexo 8 – Fluxograma algoritmo.....	79



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da dependência Energética de Portugal [1].	1
Figura 2 - Produção de energia em Portugal [1].	2
Figura 3 - Evolução da meta de Portugal em matéria de eficiência energética [1].	2
Figura 4 – Evolução do consumo de energia por setor de atividade [1].	3
Figura 5 – Consumo típico de energia de um hotel em Espanha [6].	4
Figura 6 – Exemplo de sistema de produção de AQS [7].	5
Figura 7 – Representação do protótipo.	6
Figura 8 – Representação esquemática de uma caldeira alimentada a <i>pellets</i> de madeira.	10
Figura 9 – Exemplo de caldeira a pellet de madeira – modelo Nara Plus - Zantia	11
Figura 10 – Aspeto possível de uma caldeira a gasóleo.	12
Figura 11 – Funcionamento de uma caldeira a gás sem e com condensação.	14
Figura 12 – Exemplo de comportamento do COP para uma bomba aerotérmica (fonte [10]).	15
Figura 13 – Bomba de calor com o seu esquema de funcionamento.	15
Figura 14 – Ilustração do funcionamento do absorvedor de um painel solar térmico.	16
Figura 15 – Sistema coletor solar térmico por efeito termossifão e com bombagem.	16
Figura 16 – Esquema do sistema pretendido.	17
Figura 17 – Temperaturas e histereses consideradas no sistema de controlo.	18
Figura 18 – Gráfico de funcionamento com disponibilidade solar ou fora das horas de vazio.	20
Figura 19 – Gráfico do funcionamento nas horas de vazio.	21
Figura 20 – Esquema geral do protótipo.	23
Figura 21 – <i>Raspberry Pi 3 B</i> e <i>Raspberry Pi zero 2W</i> respetivamente.	24
Figura 22 – Especificações do <i>Raspberry Pi 3 B</i> .	25
Figura 23 – Barramento de pinos <i>GPIO</i> do <i>Raspberry Pi 3 B</i> .	25
Figura 24 – LCD DFROBOT DFR0428 e o seu <i>pinout</i> .	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 25 – Sensor DS18B20. ....	27
Figura 26 – Módulo de relés. ....	28
Figura 27 – Exemplo de utilização do comando. ....	31
Figura 28 – Tela principal das configurações internas do <i>Raspberry Pi</i> . ....	32
Figura 29 – Tela das configurações internas do <i>Raspberry Pi</i> para habilitação do protocolo <i>I-Wire</i> . ....	32
Figura 30 – Exemplo de utilização do comando. ....	33
Figura 31 – Janela do “ <i>config.txt</i> ”. ....	33
Figura 32 - Exemplo de utilização dos comandos. ....	34
Figura 33 – Esquema de ligação dos sensores DS18B20. ....	35
Figura 34 - Demonstração da utilização dos comandos e análise do retorno dos sensores DS18B20. ....	35
Figura 35 – Pasta “ <i>rasp</i> ” e demonstração da utilização dos comandos ....	36
Figura 36 – Excerto do fluxograma algoritmo (parte da existência de disponibilidade solar). ....	39
Figura 37 – Excerto do fluxograma algoritmo (parte da falta de disponibilidade solar e período horário de eletricidade fora das horas de vazio).....	41
Figura 38 – Excerto do fluxograma algoritmo (parte da falta de disponibilidade solar e período horário de eletricidade nas horas de vazio) ....	43
Figura 39 – Exemplo de utilização dos comandos para iniciar programa. ....	44
Figura 40 – Janela Inicial da Interface Gráfica. ....	45
Figura 41 – Janela Energia e Gráfico. ....	46
Figura 42 – Janela Meteorologia. ....	47
Figura 43 – Janela Status. ....	48
Figura 44 – Acesso da Janela Inicial à Janela Configurações. ....	49
Figura 45 – Janela Configurações de instalador com acesso por senha. ....	50
Figura 46 – Janela Configurações de Utilizador. ....	51
Figura 47 – Janela Temperaturas. ....	52
Figura 48 – Janela Tarifário Fixo e Tarifário Flexível respetivamente. ....	53

Figura 49 – Janelas Poder Calorífico da Caldeira a Combustão. ....	54
Figura 50 – Janela COP da Bomba de Calor. ....	55
Figura 51 – Janela Iniciar Sistema.....	56
Figura 52 – Janela Parar Sistema.....	56
Figura 53 - Aspeto final do protótipo. ....	57



## SIGLAS E ABREVIATURAS

AQS	Águas Quentes Sanitárias
CLI	<i>Command Line Interface</i>
COP	<i>Coefficient of Power</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
CTRL	<i>Control</i>
ESTGV	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
GPIO	<i>General Purpose Input / Output</i>
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
GUI	<i>Graphical User Interface / Interface gráfica do utilizador</i>
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
kg	Quilograma
kWh	<i>Quilowatt-hora</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MIBEL	Mercado Ibérico da Energia Elétrica
OS / SO	<i>Operating System / Sistema Operativo</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
TFT	<i>Thin Film Transistor</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>



# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

O consumo de energia tem um impacto significativo na economia dos países, na estrutura de custos das empresas (industriais, comerciais e de serviços) e no orçamento das famílias.

No caso concreto de Portugal, uma parte substancial da energia consumida é importada, constatando-se que a dependência do país se fixou em 65,8% no ano de 2020, como se mostra na Figura 1. Como referido em [1], este valor de dependência energética historicamente baixo teve três contributos fundamentais: i) a diminuição do consumo final de energia originado pela situação pandémica vivida em 2020, com impacto significativo na economia e nos comportamentos sociais; ii) a inexistência de importação de carvão para produção de eletricidade, ainda que neste ano tenha sido produzida eletricidade com recurso a carvão dos stocks existentes; iii) e o aumento da produção doméstica de energia a partir de fontes renováveis, tal como evidenciado na Figura 2. Significa isto que o efeito relacionado com a diminuição do consumo final de energia tenderá a desaparecer nos anos seguintes a 2020, com um aumento esperado da dependência energética face ao valor obtido naquele ano. Apesar de tudo, e como mostra a mesma figura, a dependência energética portuguesa tem diminuído ao longo dos anos, sendo que em 2019 era 11,5% menor que a verificada no ano 2000.

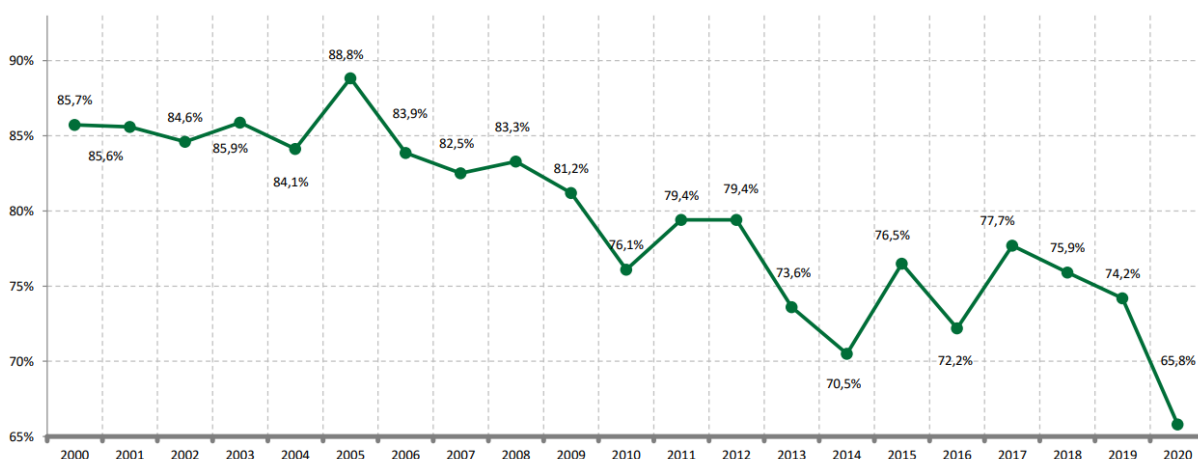


Figura 1 - Evolução da dependência Energética de Portugal [1].

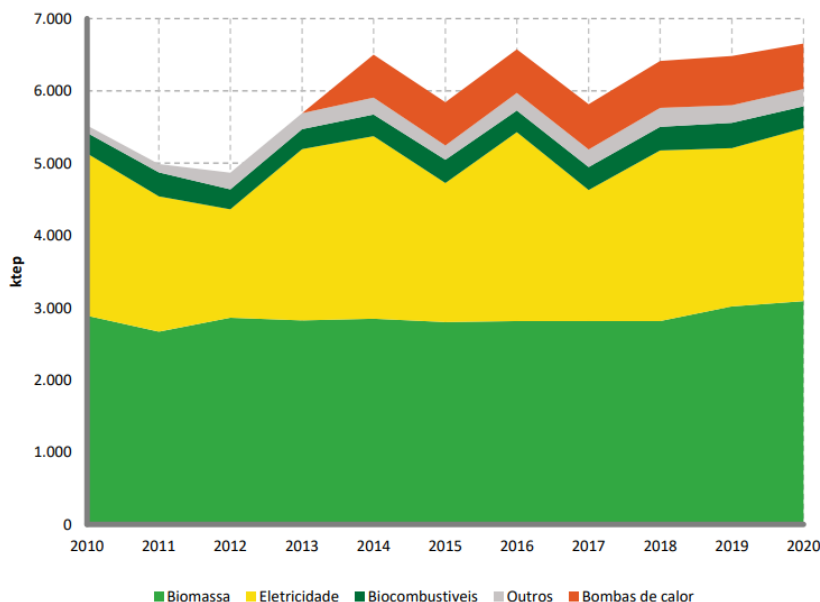


Figura 2 - Produção de energia em Portugal [1].

A eficiência energética tem igualmente contribuído para a redução da dependência energética do país, uma vez que permite reduzir consumos de energia e, por esta via, diminuir as necessidades de importação, tal como se pode verificar na Figura 3.

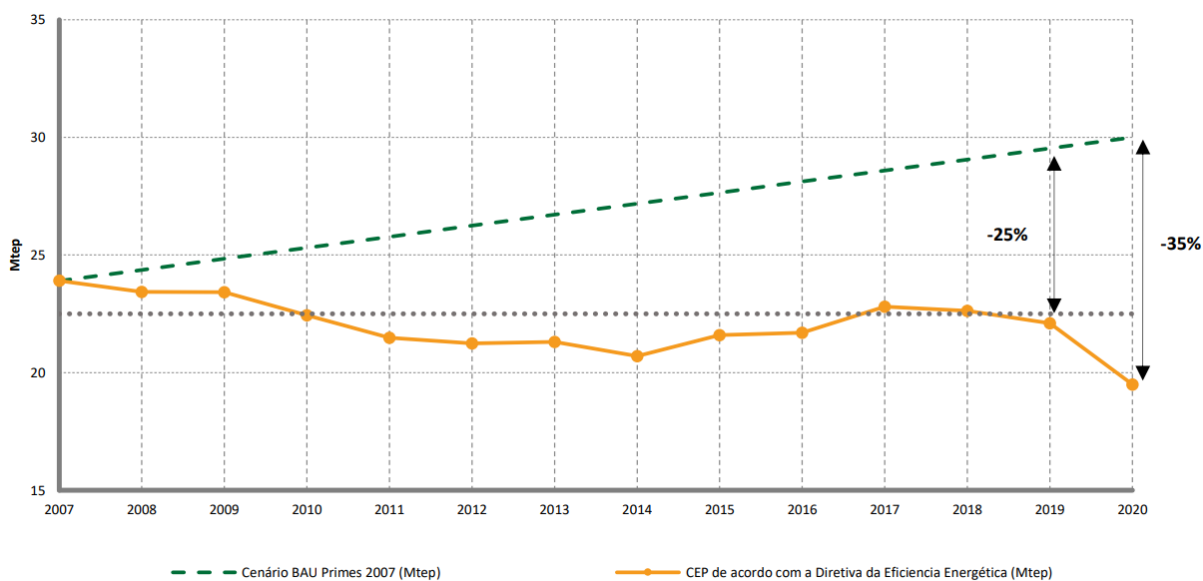


Figura 3 - Evolução da meta de Portugal em matéria de eficiência energética [1].

A Figura 4 evidencia o consumo de energia em Portugal por setor de atividade. A análise desta figura permite concluir que o setor dos transportes (mais de um terço da totalidade da



energia consumida) e a indústria (com cerca de outro terço) representam cerca de dois terços do consumo total. Os edifícios de serviços e residenciais em conjunto representam quase um terço do consumo de energia português, sendo que o consumo residencial é ligeiramente superior ao verificado para os edifícios de serviços.

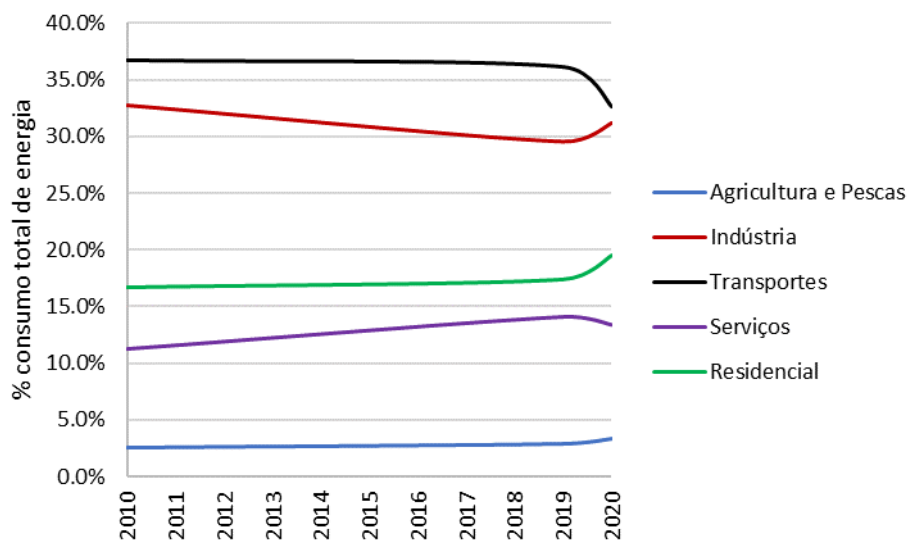


Figura 4 – Evolução do consumo de energia por setor de atividade [1].

Como anteriormente referido, os custos da energia para as empresas e para as famílias são um aspeto muito relevante. No caso das empresas, o custo da energia tem influência direta na sua competitividade, em particular quando atuam nos mercados internacionais. No caso das famílias, os custos com a energia impõem a alocação de recursos financeiros que poderiam ser destinados à satisfação de outras necessidades. Por esta razão, nos últimos anos, tanto as empresas como as famílias (por vezes com programas de incentivo definidos pelos governos, como o vale eficiência ou o Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia, entre outros) têm procurado aumentar a eficiência com que utilizam a energia.

Como anteriormente mostrado, os edifícios representam cerca de um terço da energia consumida em Portugal (40% na Europa), sendo que mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética [2]. Neste contexto, a eficiência de sistemas destinados à produção de águas quentes sanitárias constitui-se como uma área de atuação relevante. Efetivamente, de acordo com [3], a produção de água quente sanitária (AQS) é “o segundo maior contributo no consumo de energia nas casas portuguesas, representando cerca de 24% do total de energia”. Também em edifícios de serviços, a produção de AQS pode representar um custo energético importante. Efetivamente, em [4] refere-se que nos edifícios públicos com necessidades de AQS, o consumo de energia para a sua produção poderá ter um

peso entre os 5% e os 10% na fatura mensal. É ainda referido que em “estabelecimentos de serviços de saúde e de educação, o consumo de AQS poderá corresponder a um peso mais significativo na fatura energética, além da fatura da água”. Em edifícios como hotéis, o consumo de energia para a produção de AQS pode assumir valores ainda mais relevantes. Em [5] refere-se que nestes edifícios a produção de AQS representa um consumo de 10 a 18% do total de energia. Este valor pode mesmo ser superior a 20%, tal como evidenciado na Figura 5.

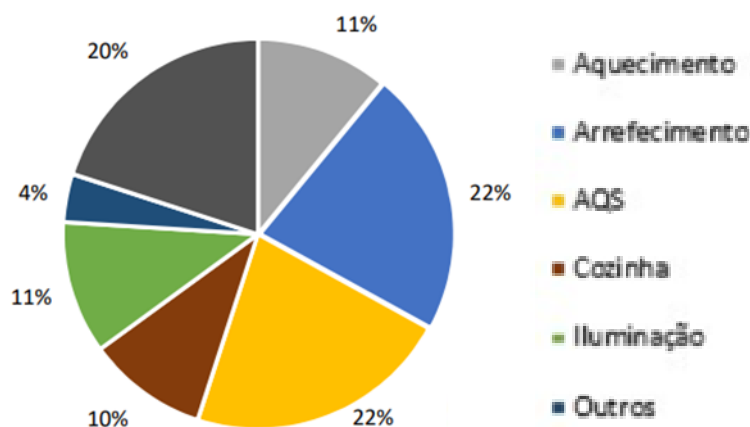


Figura 5 – Consumo típico de energia de um hotel em Espanha [6].

Os custos associados à produção de AQS têm levado as empresas e as famílias a procurar soluções mais económicas que permitam satisfazer as suas necessidades. Uma dessas soluções é a instalação de sistemas baseados no aproveitamento direto da energia solar através de coletores solares térmicos. Uma alternativa mais recente consiste na utilização de bombas de calor, a qual tem a vantagem relativa de não estar dependente da disponibilidade solar, o que acontece nos coletores solares térmicos. Os coletores solares térmicos têm como vantagem o menor custo de investimento bem como a produção de energia térmica com um menor consumo de energia (eletricidade).

Muito frequentemente, as instalações destinadas à produção de AQS combinam duas ou mais fontes de calor, nomeadamente um sistema de coletor solar térmico conjuntamente com uma ou mais caldeiras (a gás natural, *pellet*, etc.), recuperadores de calor, bombas de calor ou mesmo resistências elétricas. A Figura 6 mostra um exemplo desta situação.

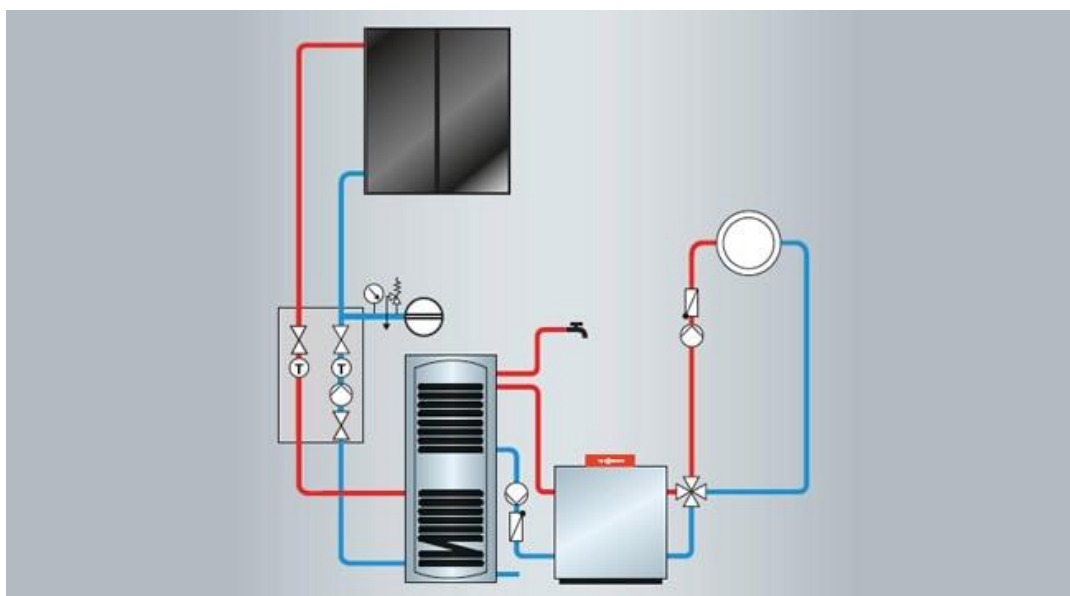


Figura 6 – Exemplo de sistema de produção de AQS [7].

A existência de várias fontes de calor num sistema de produção de águas quentes sanitárias, incluindo um sistema coletor térmico, implica a necessidade de avaliação cuidada da respetiva forma de operação, visando a minimização de custos e o aumento da eficiência energética. Esta situação permite também responder à crescente preocupação com o consumo de energia e com os efeitos adversos que a sua produção pode acarretar para o meio ambiente em geral e, em particular, para o fenómeno das alterações climáticas. É neste contexto que se insere o presente projeto, conforme descrito na secção seguinte.

## 1.2 Objetivos

O principal objetivo deste projeto é o desenvolvimento de um protótipo de uma unidade de controlo para sistemas de produção de água quente sanitária dotados de várias fontes de calor, incluindo um sistema coletor solar térmico. Importa referir que o projeto utiliza algum trabalho já anteriormente desenvolvido na ESTGV, uma vez que se pretende integrar o conhecimento já existente e incorporar algoritmos que, em função de previsões climatéricas e de preços de energia, faça a gestão das fontes a utilizar para a produção de água quente sanitária.

O protótipo de controlador permitirá o controlo de sistemas de aquecimento equipados com diferentes fontes de calor, especificamente: caldeiras, coletores solares térmicos, resistências elétricas e bombas de calor.

O sistema é baseado na utilização de um minicomputador do tipo *Raspberry Pi*, o qual adquirirá informação relativa ao funcionamento do sistema, nomeadamente sobre: temperaturas de ida e de retorno da unidade de produção de calor, temperatura da AQS. Com base nesta

## 1. Introdução

informação, bem como em informação sobre previsão meteorológica e preços da eletricidade, o sistema deverá efetuar algumas ações de controlo visando melhorar o desempenho técnico e económico do sistema de produção de água quente sanitária. O projeto envolve a definição de algum hardware e desenvolvimento de software. A Figura 7 resume o sistema pretendido.

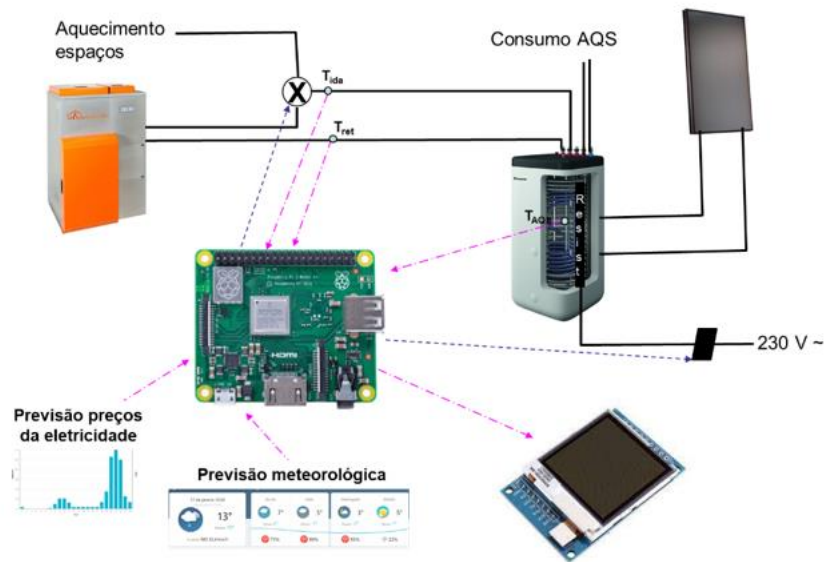


Figura 7 – Representação do protótipo.

Os principais objetivos do projeto podem, portanto, ser resumidos da seguinte forma:

- Projetar e implementar um sistema de controlo usando um minicomputador *Raspberry Pi* para obter e processar dados relacionados com a produção de água quente sanitária;
- Utilizar sensores e equipamentos para recolher informações acerca do funcionamento do sistema;
- Integrar informações de previsão meteorológica e preço da eletricidade num único sistema de controlo, possibilitando a tomada de decisões com base nesses dados;
- Desenvolvimento de algoritmos de controlo, considerando os dados recolhidos e informações sobre previsões meteorológicas e preços de energia elétrica. Estes algoritmos devem otimizar a seleção de fontes de calor para produção de água quente sanitária, tendo em conta o desempenho económico.

O intuito deste projeto incide principalmente no aumento da eficiência energética dos sistemas de produção de água quente sanitária, na redução de custos e na redução de emissões de gases com efeito de estufa.

### **1.3 Estrutura do relatório**

O presente documento encontra-se dividido em 5 capítulos e 8 anexos.

No capítulo 1 é realizado um enquadramento ao projeto, objetivos deste e o contexto em que está inserido.

No capítulo 2 é efetuada uma abordagem às principais fontes de calor utilizadas em sistemas de produção de AQS (e de aquecimento central), bem como o seu funcionamento e principais características.

No capítulo 3 é feita uma explicação sucinta do funcionamento geral pretendido para o sistema a desenvolver.

No capítulo 4 discriminam-se todos os componentes utilizados e os procedimentos necessários para o bom funcionamento do sistema desenvolvido. Este capítulo descreve ainda todo o processo que foi realizado para a implementação do sistema.

O capítulo 5 apresenta as conclusões retiradas do trabalho, bem como observações acerca de aspetos importantes e a considerar para trabalhos futuros.



## 2 Fontes de calor em sistemas de AQS

### 2.1 Generalidades

A produção de AQS impõe a utilização de uma ou mais fontes de calor que permitam, pelo seu funcionamento, elevar a temperatura da água armazenada num depósito (depósito de AQS) para uma determinada temperatura bem definida (em função de critérios de conforto, económicos, técnicos ou outros).

As fontes de calor podem ser de diferentes naturezas, contudo neste trabalho consideram-se divididas em:

- caldeiras de arranque rápido, que incluem as caldeiras alimentadas a gás natural, diesel, ou outros combustíveis que permitem que a caldeira disponibilize água quente para aquecimento do depósito de AQS num relativamente curto espaço de tempo;
- caldeiras de arranque lento, nomeadamente caldeiras alimentadas a *pellet* (biomassa em geral), as quais implicam um maior período entre o momento em que é ordenado o seu arranque e o momento em que disponibilizam água quente para aquecimento do depósito de AQS;
- coletor solar térmico, que consiste numa tecnologia que permite a captação direta da energia térmica proveniente do sol;
- bomba de calor, a qual utiliza um circuito de gás frigorígeno para extrair energia do ar/solo/água e colocá-la na água aumentando a sua temperatura;
- resistência elétrica, que converte eletricidade em calor através do efeito de joule (com um rendimento muito elevado, próximo dos 100%).

Apesar de não ser o ponto central do trabalho desenvolvido neste projeto, apresenta-se de seguida um resumo sucinto de várias tecnologias de fontes de calor. No nosso projeto usamos três tipos de fontes de calor como referência, em concreto uma caldeira ou bomba de calor, um sistema coletor solar térmico e uma resistência elétrica. Esta opção deve-se ao facto de ser frequente a coexistência deste tipo de solução em sistemas de produção de AQS.

## 2.2 Caldeiras de *Pellets*

As *pellets* de madeira são um combustível na forma de pequenos cilindros feitos de resíduos de madeira comprimidos. O poder calorífico deste combustível é de cerca de 5 kWh/kg ou 17,0 MJ/kg [8].

O funcionamento de uma caldeira a *pellets* é relativamente simples, podendo ser resumido da seguinte forma (Figura 8):

- as *pellets* são armazenadas num reservatório próprio a partir do qual um alimentador automático as conduz para a câmara de combustão;
- um sistema de ignição automática, baseado numa resistência elétrica, inicia o processo de acendimento e de queima das *pellets*;
- a queima das *pellets* gera calor, o qual é transferido para a água que circula dentro de permutadores de calor adequados instalados no interior da caldeira;
- a água aquecida é, em seguida, enviada para os sistemas de aquecimento através de bombas adequadas. Os sistemas de aquecimento podem ser radiadores de aquecimento de espaços, sistemas de piso radiante ou permutadores de calor localizados no interior de depósitos de AQS;
- a caldeira é dotada de um sistema de controlo com medição de temperatura o qual assegura o ajustamento da temperatura desejada;
- Os gases provenientes da queima das *pellets* são encaminhados para o exterior.

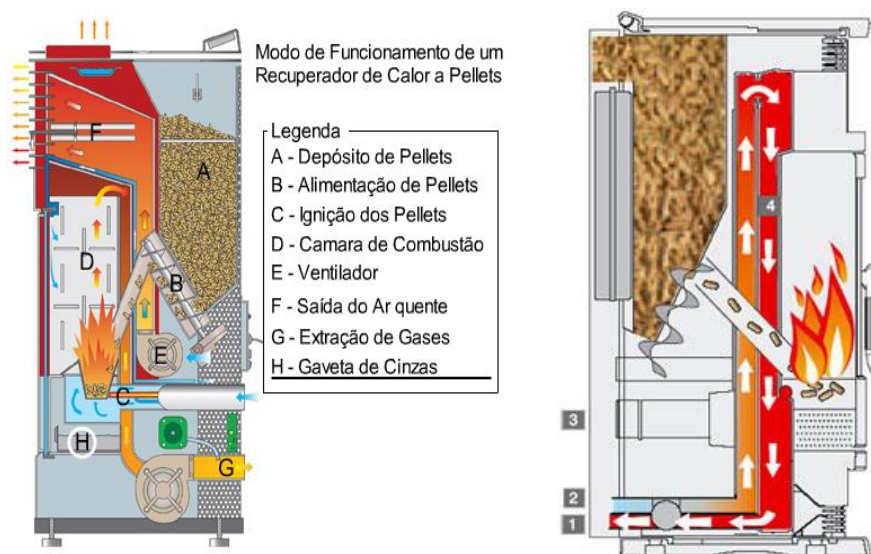


Figura 8 – Representação esquemática de uma caldeira alimentada a *pellets* de madeira.

As caldeiras alimentadas a *pellets* de madeira apresentam rendimento elevados, frequentemente superiores a 85% quando as caldeiras se encontram em boas condições de



operação. Frequentemente estas caldeiras apresentam rendimentos especificados superiores aos 90%, classe 5 de acordo com a norma EN303-5, tal como se mostra na Figura 9.



DADOS TÉCNICOS	UNIDADES	NARA PLUS 24
Potência Nominal Mínima/Máxima	kW	6,66 - 24,29
Potência Nominal Água Mínima/Máxima	kW	6,12 - 23,27
Rendimento Mínimo/Máximo	%	91,79 - 95,8
Tiragem Mínima da Chaminé	Pa	12
Alimentação Eléctrica	V/Hz	230/50
Consumo Eléctrico	W	94
Pressão de Serviço	bar	1,5
Conteúdo de Água na Caldeira	lts	36
Capacidade do Depósito de Pellets	kg	70
Consumo Médio de Pellets (Min - Máx)	kg/h	1,37 - 4,99
Vaso de Expansão	lts	8
Saída de Fumos (Evacuação)	mm	100
Entrada de Ar (Aspiração)	mm	80
Peso Líquido	kg	284
Volume Aquecido	m³	204 - 775

Figura 9 – Exemplo de caldeira a pellet de madeira – modelo Nara Plus - Zantia

Até recentemente (2021), a utilização de caldeiras alimentadas a *pellet* de madeira foi uma solução muito competitiva para o aquecimento de espaços e de AQS. Consequentemente, ao longo dos últimos anos, foram instalados muitos milhares de equipamentos deste tipo. Contudo, no último ano, o preço deste combustível aumentou significativamente, tornando-o menos competitivo. Outra desvantagem desta solução é o relativamente elevado custo de investimento, uma vez que uma caldeira a *pellet* é significativamente mais dispendiosa que as alternativas (gás natural, gasóleo)

### 2.3 Caldeira a gasóleo

As caldeiras a gasóleo constituem uma alternativa para o aquecimento de espaços em edifícios bem como para a produção de AQS, apresentando como vantagens o relativamente curto tempo de arranque e o baixo custo inicial. É um sistema ambientalmente prejudicial, uma vez que a queima do gasóleo liberta significativas quantidades de CO<sub>2</sub>. Este tipo de caldeira perdeu importância nos últimos anos devido às pressões ambientais, políticas e económicas que provocaram o aumento do seu custo de operação.

O rendimento típico de uma caldeira deste tipo ronda os 90% [9], o seu funcionamento consiste em:

- o combustível armazenado num depósito próprio é bombeado para o queimador da caldeira;
- o combustível é pulverizado através de um injetor na câmara de combustão;
- por intermédio de uma vela de ignição a mistura combustível mais ar é queimada, gerando calor;
- o calor produzido pela queima do combustível é transferido para a água de um pequeno reservatório de AQS existente no interior da caldeira e/ou para água destinada ao aquecimento de espaços/depósito exterior de AQS;
- quando é necessário utilizar água quente esta vai ser bombeada a partir do pequeno reservatório de AQS localizado no interior da caldeira ou do depósito externo eventualmente existente;
- quando o sistema de controlo detetar que a temperatura do reservatório baixou abaixo do limite predefinido, é iniciada a combustão para atingir a temperatura desejada;
- os gases provenientes da queima de combustível são expelidos para o exterior.

É importante ressaltar que no nosso projeto, considerámos que esse pequeno reservatório não estava acoplado à caldeira, ou seja, o reservatório de AQS é externo. A Figura 10 mostra um aspeto possível de uma caldeira a gasóleo.



Figura 10 – Aspeto possível de uma caldeira a gasóleo.

## 2.4 Caldeira a gás

As caldeiras a gás natural são também utilizadas para aquecer espaços e produzir AQS. O funcionamento de uma caldeira convencional a gás é idêntico ao de uma caldeira a gásóleo, sendo a diferença fundamental o combustível utilizado.

Nas caldeiras a gás convencionais um único permutador recebe o calor proveniente da queima do combustível e transfere-o para a água que, posteriormente, será utilizada no processo de aquecimento de espaços e/ou produção de AQS. Os gases provenientes da combustão são libertados para a atmosfera, não havendo um aproveitamento do seu calor residual. O aproveitamento de energia numa caldeira convencional é de aproximadamente 90%.

Uma alternativa a esta forma de operação consiste na utilização de caldeiras de condensação (Figura 11), as quais se caracterizam por utilizarem um segundo permutador que aproveita o potencial calorífico dos gases de exaustão para pré-aquecer a água antes de esta ser aquecida pelo permutador principal.

A utilização do segundo permutador aumenta o rendimento da utilização da energia primária o que é benéfico pela redução de custos para aquecimento, mas também pela redução do impacto ambiental causado. Efetivamente, como já foi referido, uma vez que o potencial calorífico contido nos gases de exaustão é, em parte, aproveitado para pré-aquecer a água, não será necessário usar tanta quantidade para chegar às temperaturas desejadas, reduzindo custos e reduzindo emissões.

Frequentemente o rendimento de caldeiras de condensação aparece com valores superiores a 100% o que, na realidade, tem de ser cuidadosamente interpretado. Um valor superior a 100% apenas traduz o ganho de eficiência criado pelo mecanismo de condensação face a uma caldeira base sem esse mecanismo. Assim, uma caldeira de condensação com rendimento de 110% apenas indica que o seu rendimento é 10% superior ao que existiria para uma caldeira convencional equivalente sem mecanismo de condensação [9]. O rendimento absoluto será, certamente, inferior a 100%.

Versatilidade é uma característica reconhecida também neste tipo de caldeiras, visto que podem ser usadas para aquecimento central e produção de AQS, atendendo às necessidades de residências, edifícios comerciais e industriais. A Figura 11 ilustra o funcionamento de uma caldeira a gás sem e com condensação.



Figura 11 – Funcionamento de uma caldeira a gás sem e com condensação.

### 2.5 Bomba de Calor

Uma bomba de calor utiliza um circuito de gás refrigerante para extrair energia do ar exterior (bomba aerotérmica) ou do solo (bomba geotérmica) e colocá-la na água, aumentando a sua temperatura. Essa água quente, por sua vez, serve para aquecer um depósito de água quente sanitária ou para ser enviada para sistemas de climatização a água, como, por exemplo, ventilo-convetores, pavimento radiante ou radiadores.

O desempenho de uma bomba de calor é avaliado de acordo com um parâmetro conhecido como coeficiente de desempenho do sistema (COP – Coeficiente Of Performance), o qual costuma variar entre 3 e 5. Note-se que o conceito de COP é diferente do conceito de eficiência, a qual varia entre 0 e 100%. Na prática, no caso de uma bomba de calor, o COP mede a relação entre a energia elétrica consumida pela bomba e a energia térmica que esta produz. Assim, uma bomba de calor com COP igual a 3 significa que por cada 3 kWh de energia térmica produzida a bomba absorve 1 kWh de eletricidade. Importa também perceber que o COP de uma determinada bomba de calor é significativamente influenciado pelo ambiente ao qual a bomba de calor se encontra ligada. Por exemplo, no caso de uma bomba de calor aerotérmica, o COP é significativamente influenciado pela temperatura ambiente, como se evidencia na Figura 12.

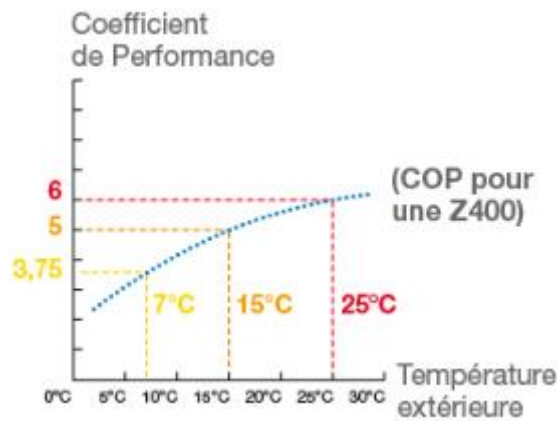


Figura 12 – Exemplo de comportamento do COP para uma bomba aerotérmica (fonte [10])

O funcionamento de uma bomba de calor pode ser resumido da seguinte forma (Figura 13):

- um compressor eleva a pressão do gás refrigerante e conseqüentemente aumenta a sua temperatura;
- uma vez dentro do condensador, o gás a alta pressão e temperatura, liberta calor para o ambiente externo ou para um fluido, fazendo com que o gás passe para o estado líquido.
- após a condensação, o líquido refrigerante entra na válvula de expansão, para que a pressão possa baixar.
- no evaporador, o fluido refrigerante volta a absorver calor do ambiente, transformando-se em gás de baixa pressão.
- por fim, o gás volta ao compressor para elevar a pressão e conseqüentemente a sua temperatura, criando assim um ciclo.

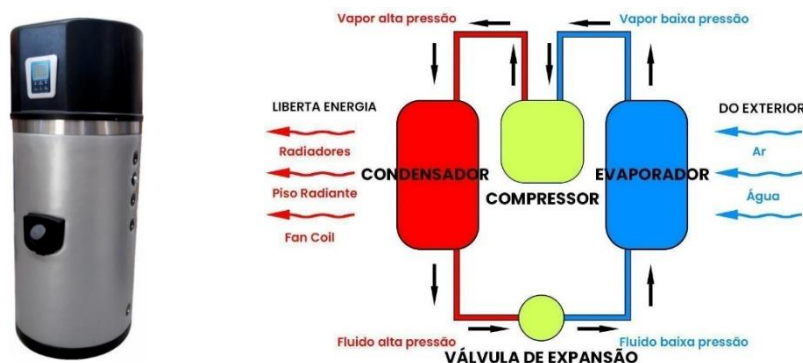


Figura 13 – Bomba de calor com o seu esquema de funcionamento.

## 2.6 Coletor Solar Térmico

Um coletor solar térmico é um dispositivo que captura diretamente a energia do sol permitindo aquecer água. Estes tipos de sistemas têm como elemento principal os painéis solares térmicos, e apresentam um rendimento na ordem dos 60% [11]. No interior do painel existe um material designado de absorvedor, usualmente de cor negra para permitir uma maior absorção.

Quando exposto diretamente à radiação solar, o calor absorvido é transferido para a água que circula no interior do painel, ou seja, a água captura o calor que é libertado pelo absorvedor, como ilustrado na Figura 14.

Os sistemas coletores solar térmicos podem apresentar duas configurações fundamentais:

i) coletor solar térmico com termossifão, o qual não necessita de bomba para fazer a circulação de água. Efetivamente, à medida que a água que circula dentro do circuito fica mais quente, a sua densidade baixa, fazendo com que esta suba para o reservatório de AQS localizado na parte superior do painel. A ilustração à esquerda da Figura 15 mostra este caso;

ii) coletor solar térmico com circulação forçada, o qual se caracteriza pela existência de um sistema de bombagem que força a circulação da água entre os coletores e o depósito em função da temperatura verificada nos coletores. A ilustração à direita da Figura 15 mostra este caso.

No caso do nosso projeto, foi considerado o coletor solar térmico com bombagem forçada, sendo, portanto, usada uma bomba para fazer a circulação do fluido de trabalho (água que pode ser tratada ou não) entre o reservatório de AQS e o coletor solar térmico.

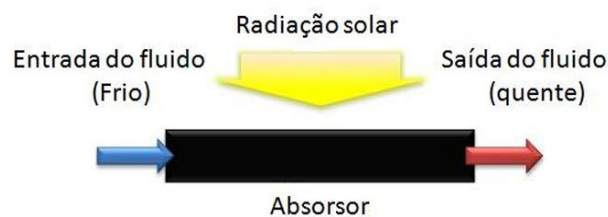


Figura 14 – Ilustração do funcionamento do absorvedor de um painel solar térmico.



Figura 15 – Sistema coletor solar térmico por efeito termossifão e com bombagem.

### 3 Especificações do sistema

Como anteriormente referido, este projeto tem como objetivo a implementação de uma unidade de controlo para sistemas de produção de água quente sanitária (AQS) que possibilite uma exploração mais eficiente destes sistemas, bem como a respetiva monitorização.

Tal como se evidencia na Figura 16, o sistema de controlo deverá fazer a gestão de três tipos de fontes de calor, em concreto: um coletor solar térmico, uma caldeira ou bomba de calor e uma resistência elétrica

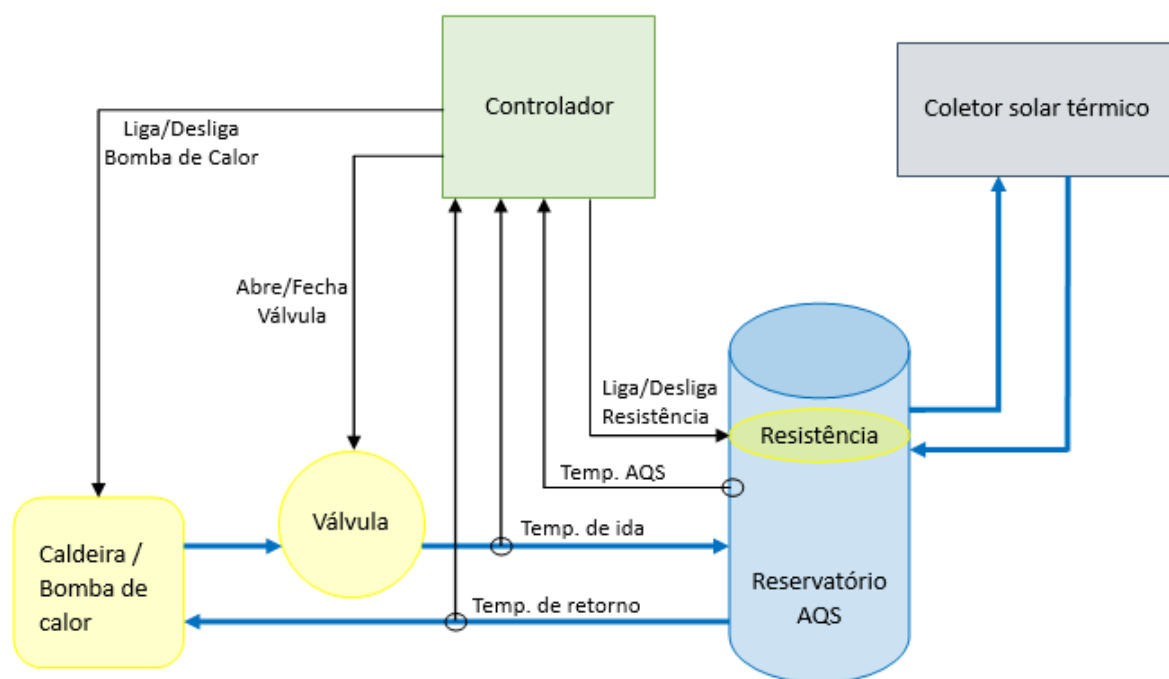


Figura 16 – Esquema do sistema pretendido.

Na prática, após a predefinição de um conjunto de valores de temperatura para o depósito de AQS (mínimo, máximo, desejável) bem como de histereses adequadas, o sistema de controlo procurará assegurar a disponibilidade de AQS com o menor custo, tendo em consideração o conjunto de fontes de calor disponíveis e os respetivos custos para produção da energia térmica. A Figura 17 mostra as temperaturas mínima, desejada, máxima e as histereses consideradas no modelo de controlo adotado.

### 3. Especificações do sistema

---

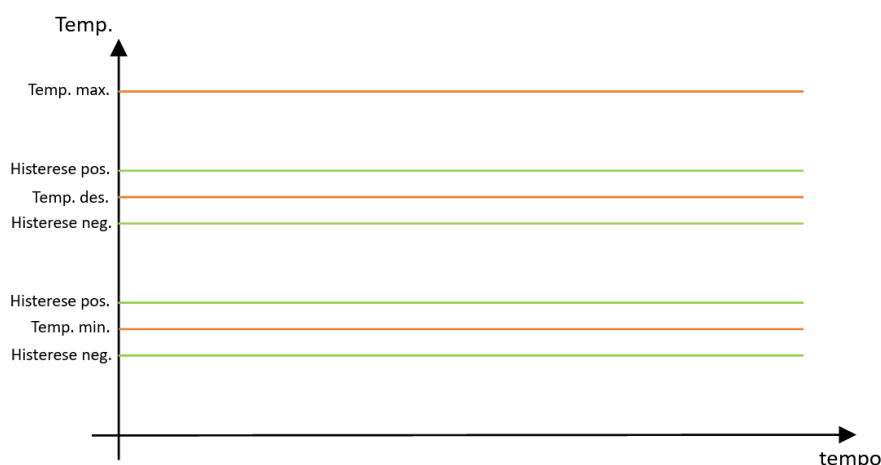


Figura 17 – Temperaturas e histereses consideradas no sistema de controlo.

Em cada momento, o sistema de controlo terá de determinar a necessidade de aquecimento (ou não) do depósito de AQS e tomar a decisão sobre a fonte de calor mais adequada (mais económica) que deve ser utilizada nesse momento. Neste processo, devem ser consideradas as expectativas meteorológicas e de preços da eletricidade.

No trabalho desenvolvido apenas se consideram os custos de operação na determinação dos custos de produção de energia térmica por cada uma das fontes de calor disponíveis. Significa isto que se assume que as fontes de calor estão já instaladas (o investimento não é considerado). Adicionalmente, assume-se que os custos de manutenção não dependem da utilização mais ou menos intensa dos equipamentos, o que é uma aproximação bastante razoável neste contexto (as manutenções seguem o seu curso habitual).

Assim, a produção de 1 kWh de energia térmica no coletor solar terá um custo nulo. Na realidade, este custo pode não ser nulo, em particular em sistemas em que a energia térmica é transferida do coletor para o depósito de AQS utilizando sistemas de bombagem. Ainda assim, estas bombas são, geralmente, de pequena potência (algumas dezenas de Watt). Assim, no presente trabalho, assume-se que a fonte mais económica para produção de energia térmica é o coletor solar térmico, pelo que será este a ter preferência de utilização quando disponível (função das condições climatéricas).

A produção de energia térmica com recurso a outra fonte que não o coletor solar térmico é condicionada pelo tipo de fontes de calor secundárias disponíveis no sistema. Como anteriormente referido, estas fontes são uma resistência elétrica e uma caldeira ou, em alternativa, uma bomba de calor.

Nos casos em que o sistema está dotado de bomba de calor, a produção de energia térmica neste dispositivo é menos dispendiosa que a produção com recurso à resistência elétrica, uma vez que a bomba de calor apresentará sempre um COP superior a 1 (ainda que variável, nomeadamente em função da temperatura ambiente no caso de bombas aerotérmicas). Assim,



a fonte de calor alternativa ao sistema coletor solar térmico será a bomba de calor, a resistência apenas funcionará nas situações em que a bomba de calor esteja impedida de funcionar (por exemplo por avaria).

Na situação em que exista uma caldeira em detrimento de uma bomba de calor, não existindo possibilidade de utilização do coletor solar térmico, é necessário efetuar uma comparação entre o custo de produção de energia térmica com recurso à caldeira ou com recurso à resistência elétrica.

O custo do kWh de energia térmica produzida com recurso à resistência elétrica pode ser assumido como sendo igual ao custo do kWh de energia elétrica absorvida pela resistência, assumindo-se assim um rendimento de conversão de 100% (o que é uma aproximação muito realista). Note-se que o preço do kWh de energia térmica produzido com recurso à resistência variará com o preço da eletricidade em cada momento caso o tarifário elétrico não seja constante (variação em função de períodos horários previamente conhecidos ou em função do preço de mercado se aplicável).

O custo do kWh de energia térmica produzida na caldeira depende do tipo de caldeira instalada, mais concretamente do seu rendimento, do tipo de combustível e do respetivo preço.

Assim, na indisponibilidade de produção no coletor solar térmico, a fonte alternativa a utilizar será a caldeira se o custo de produção por kWh de energia térmica for inferior ao que se verifica para o caso da resistência elétrica.

No presente trabalho assume-se que a caldeira utilizada, quando instalada em detrimento de uma bomba de calor, é alimentada a *pellets* de madeira. Uma vez que este tipo de caldeira apresenta tempos de arranque muito significativos (como anteriormente referenciado), foi assumido que a utilização da caldeira apenas será possível se esta estiver disponível, ou seja, já se encontrar em funcionamento quando se pretende aquecer o depósito de AQS. A perceção de que a caldeira está em funcionamento é facilmente conseguida através da medição da temperatura da água à saída da caldeira.

Assim, quando necessário, o depósito de AQS deve ser aquecido com recurso à utilização da caldeira caso esta se encontre em funcionamento e o respetivo custo de produção de energia térmica seja inferior ao que resultaria da utilização da resistência elétrica. O custo de produção na caldeira pode ser obtido por:

$$C_{pellets} = \frac{P_{pellets}}{\eta_{caldeira} \times P_{kWh}}$$

$C_{pellets}$  – Custo das *pellets* para produzir 1 kWh de energia térmica;

$P_{pellets}$  – Preço das *pellets* por kg;

$\eta_{caldeira}$  – Rendimento da caldeira;

$P_{kWh}$  – Poder calorífico de 1 kg das *pellets* em kWh.

### 3. Especificações do sistema

Da explicação anterior depreende-se que o funcionamento do sistema de controlo deve ser tal que a fonte de calor a utilizar num determinado momento deve ser aquela que apresenta menor custo. Assim, quando há disponibilidade solar o sistema de coletor solar térmico é sempre a primeira opção. Contudo, pode acontecer que mesmo existindo disponibilidade solar, o depósito de AQS veja a sua temperatura diminuir abaixo do mínimo aceitável (temperatura mínima descontada da respetiva histerese negativa), devido, por exemplo, a um elevado consumo de AQS. Neste caso deverá ser acionada uma fonte secundária de calor (aquela com menores custos de entre as disponíveis) para se tentar elevar a temperatura do depósito de AQS. Contudo, uma vez que existe disponibilidade solar (prevista ou já efetiva), o aumento da temperatura no depósito deverá ocorrer até ao valor definido pela temperatura mínima aceitável acrescida da respetiva histerese positiva, tal como se pode verificar na zona sombreada na Figura 18. Este tipo de controlo em torno da temperatura mínima aceitável é feito visando a minimização dos custos, procurando que a AQS seja obtida, tanto quanto o possível, com recurso ao sistema de coletor solar térmico.

Um controlo similar deve ser efetuado na situação em que não haverá disponibilidade solar (prevista ou efetiva) e se verifique que o valor da energia elétrica é elevado correspondendo, por exemplo, ao período de horas cheias ou de horas de ponta, no caso da opção de tarifário tri-horário de acordo com [12]. Neste caso, o controlo da temperatura do depósito de AQS em torno do valor mínimo aceitável é efetuado de forma que se tente chegar a períodos tarifários com menor custo da eletricidade, minimizando os custos com a produção de AQS. Note-se que, em período de vazio do tarifário elétrico ou em períodos do tarifário flexível em que os preços da eletricidade são baixos, o sistema deve elevar a temperatura até à temperatura desejada, como se pode apurar pela Figura 19.

É importante mencionar que todo o aquecimento fornecido no intervalo entre as zonas sombreadas a amarelo, é proveniente do coletor solar térmico.

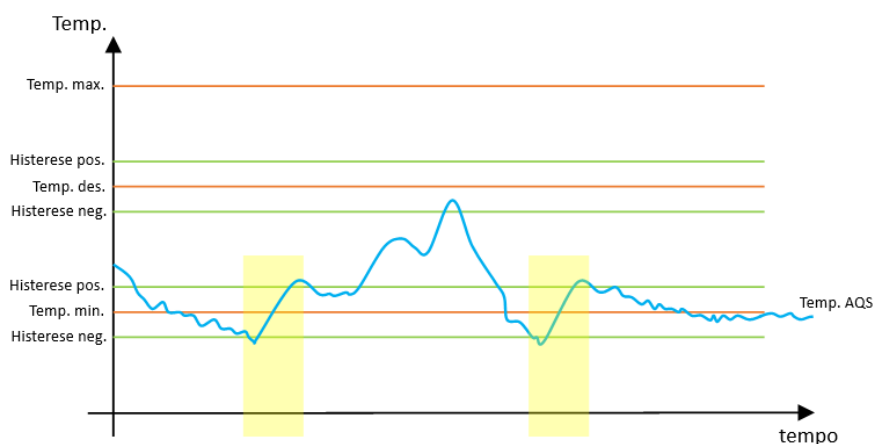


Figura 18 – Gráfico de funcionamento com disponibilidade solar ou fora das horas de vazio.

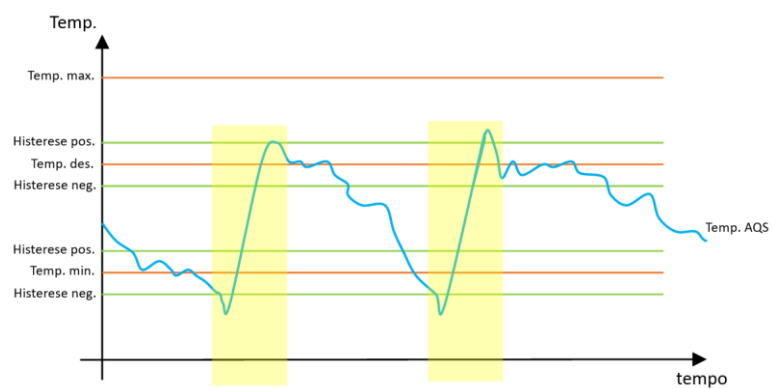


Figura 19 – Gráfico do funcionamento nas horas de vazio.



## 4 Implementação do sistema

A implementação do protótipo da unidade de controlo desenvolvida neste trabalho envolve *hardware* e *software*, tal como se evidencia nas secções seguintes.

### 4.1 Hardware – Componentes utilizados

O *hardware* utilizado no desenvolvimento do projeto consistiu na utilização de um minicomputador *Raspberry Pi*, Sensores DS18B20 e um módulo de relés, tal como se mostra na Figura 20. Foi ainda utilizado um ecrã *LCD touch*, não representado na figura.

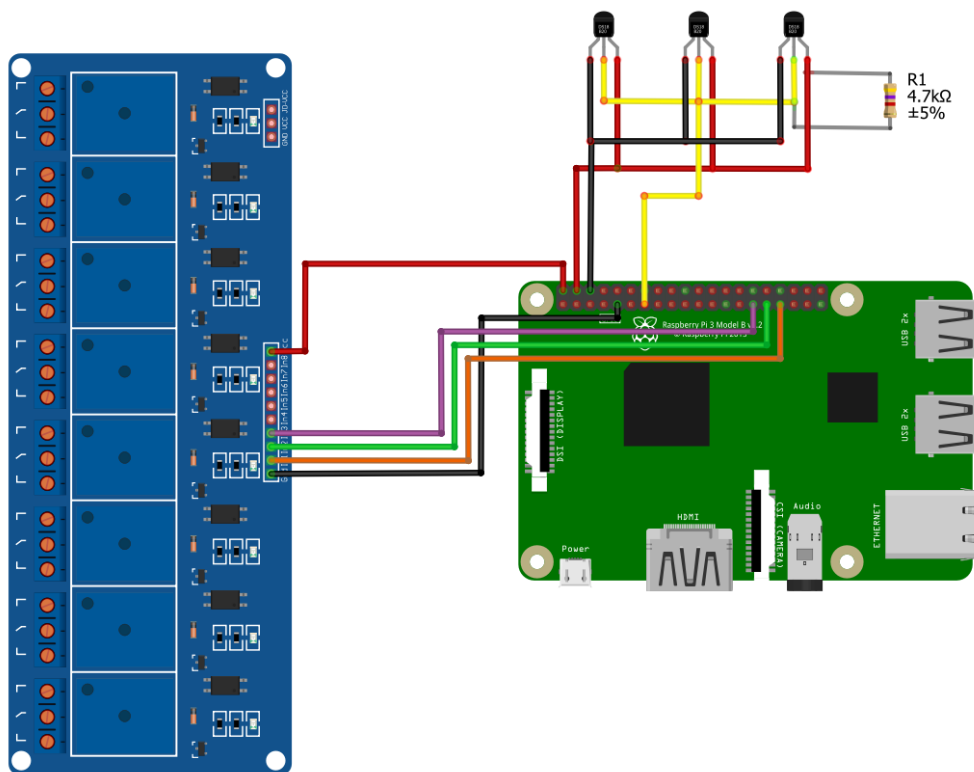


Figura 20 – Esquema geral do protótipo.

#### 4.1.1 Raspberry Pi

O *Raspberry Pi* é um minicomputador de baixo custo quando comparado com outras opções existentes no mercado. Este dispositivo é compacto e possui todos os principais componentes de um computador tradicional, incluindo um processador, memória e portas de entrada e de saída.

#### 4. Implementação do sistema

---

Inicialmente foi proposto pelos docentes o uso do *Raspberry Pi Zero 2W*, como evidenciado na Figura 21. No entanto devido à escassez deste minicomputador no mercado, foi utilizado em alternativa o *Raspberry Pi 3 B*.

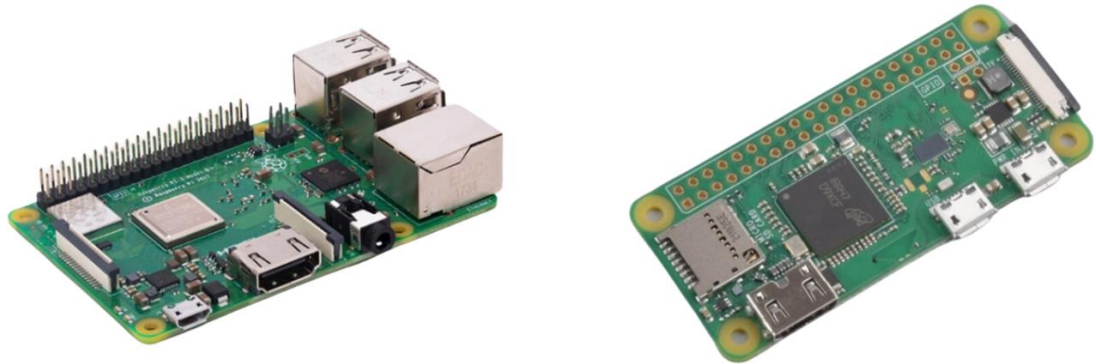


Figura 21 – *Raspberry Pi 3 B* e *Raspberry Pi zero 2W* respetivamente.

As vantagens em utilizar um *Raspberry Pi* incluem:

- Baixo custo, já que este minicomputador é consideravelmente mais barato do que a maioria dos computadores convencionais;
- Tamanho compacto, o que o torna altamente portátil e fácil de integrar em projetos;
- Versatilidade, uma vez que pode ser usado numa ampla variedade de projetos, desde servidores domésticos, sistemas de automação residencial, projetos de robótica, estações meteorológicas, entre outros;
- Comunidade ativa, atendendo a que existem fóruns e recursos abundantes disponíveis na internet, sendo possível encontrar suporte, tutoriais e projetos partilhados;
- Interfaces e conectividade facilitada por várias portas de entrada e saída (GPIO) (Figura 23) que permitem ligar sensores, atuadores e outros dispositivos eletrónicos.

As especificações técnicas do *Raspberry pi 3 B* são as seguintes (Figura 22):

- CPU: *1.2 GHz quad-core BCM2837 ARMv8 64bit*
- GPU: *VideoCore IV 3D graphics core*
- Memória:
  - RAM: *1GB LPDDR2*
  - MICRO SD Card slot

- Comunicações: *802.11 b/g/n Wireless LAN and Bluetooth 4.1, LE*
- Interfaces físicas:
  - *Ethernet*: 10/100 Base
  - USB: 4xUSB2.0
  - HDMI: Hdmi v1.4
  - *Áudio Output*: 3.5 mm jack
  - 40-pinos GPIO (Figura 23)

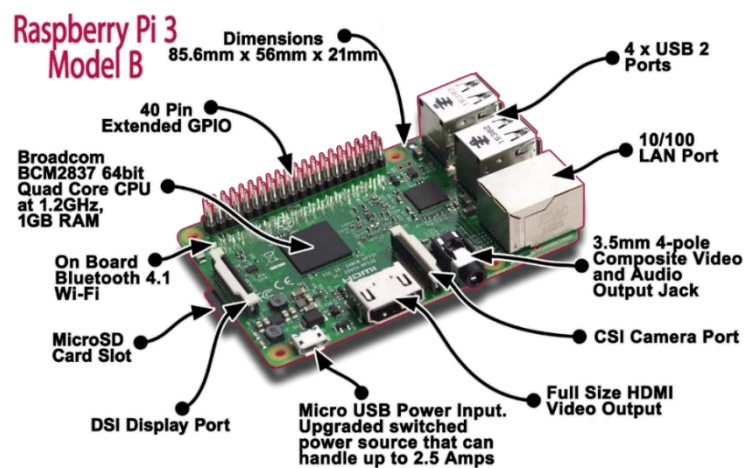


Figura 22 – Especificações do *Raspberry Pi 3 B*.

Alternate Function								Alternate Function
	3.3V PWR	1			2	5V PWR		
I2C1 SDA	GPIO 2	3			4	5V PWR		
I2C1 SCL	GPIO 3	5			6	GND		
	GPIO 4	7			8	UART0 TX		
	GND	9			10	UART0 RX		
	GPIO 17	11			12	GPIO 18		
	GPIO 27	13			14	GND		
	GPIO 22	15			16	GPIO 23		
	3.3V PWR	17			18	GPIO 24		
SPI0 MOSI	GPIO 10	19			20	GND		
SPI0 MISO	GPIO 9	21			22	GPIO 25		
SPI0 SCLK	GPIO 11	23			24	GPIO 8	SPI0 CS0	
	GND	25			26	GPIO 7	SPI0 CS1	
	Reserved	27			28	Reserved		
	GPIO 5	29			30	GND		
	GPIO 6	31			32	GPIO 12		
	GPIO 13	33			34	GND		
SPI1 MISO	GPIO 19	35			36	GPIO 16	SPI1 CS0	
	GPIO 26	37			38	GPIO 20	SPI1 MOSI	
	GND	39			40	GPIO 21	SPI1 SCLK	

Figura 23 – Barramento de pinos *GPIO* do *Raspberry Pi 3 B*.

### 4.1.2 Painel *LCD Touch*

No desenvolvimento do projeto foi utilizado como display gráfico (TFT LCD), o módulo DFROBOT DFR0428, colorido de 3.5 polegadas e resolução de 480x320 pixels. A sua ligação ao *Raspberry* é feita através do ligador GPIO, facilitando a integração e a comunicação entre os dispositivos (Figura 24).

Para ser possível utilizar o DFROBOTDFR0428, é necessário instalar os *drivers* apropriados e configurar o sistema operacional do *Raspberry Pi* para reconhecer o módulo como um dispositivo de entrada *touchscreen*.

Uma vez configurado, é possível interagir com a interface do utilizador do *Raspberry Pi* através de toques, sendo possível controlar aplicações, navegar em menus e realizar outras operações de forma intuitiva.

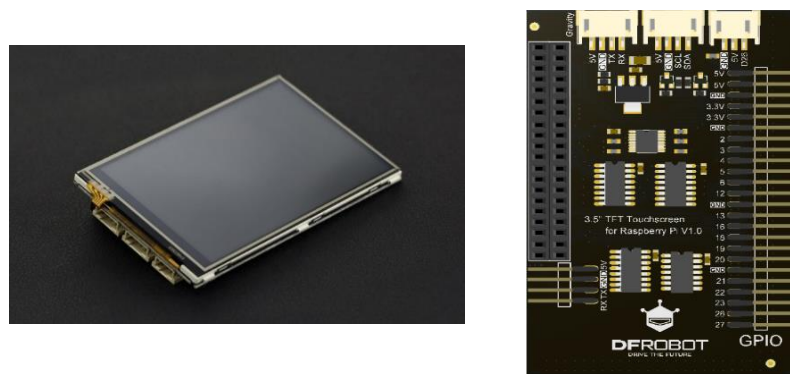


Figura 24 – LCD DFROBOT DFR0428 e o seu *pinout*.

### 4.1.3 Sensores DS18B20

No desenvolvimento do projeto utilizamos três sensores de temperatura DS18B20 para medir a temperatura no depósito de AQS, a temperatura de saída na caldeira/bomba de calor e a temperatura de retorno, conforme ilustrado na Figura 20. O sensor de temperatura DS18B20 é do tipo digital, de alta precisão, e é um dos sensores de temperatura mais populares e amplamente utilizados (Figura 25).



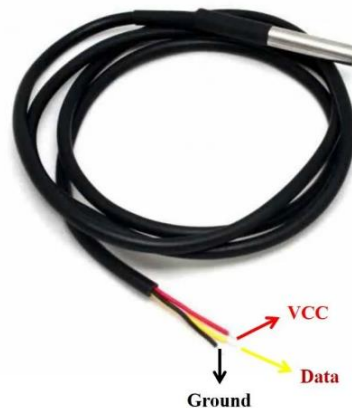


Figura 25 – Sensor DS18B20.

Algumas características importantes do sensor DS18B20 são:

- medição de temperatura baseada no princípio da variação na resistência elétrica do sensor com a mudança de temperatura;
- comunicação com recurso ao protocolo de comunicação “*1-Wire*”, que permite a transferência de dados e energia por meio de um único fio, simplificando assim a ligação do sensor com outros dispositivos;
- boa precisão na medição da temperatura, permitindo leituras de temperatura com resolução de até 0,5 °C;
- alimentação com uma gama de tensão entre 3V a 5V, o que o torna compatível com uma grande variedade de plataformas e microcontroladores.

O DS18B20 é amplamente utilizado em aplicações como monitorização de temperatura ambiente, controlo de temperatura em sistemas de refrigeração, automação residencial, aquários, entre outros. Devido à sua elevada precisão, facilidade de uso e comunicação “*1-Wire*”, é uma escolha popular para projetos que envolvem a medição de temperatura.

#### 4.1.4 Módulo de relés

A utilização de relés como os apresentados na Figura 26 possibilita que um minicomputador como o *Raspberry Pi* controle o ligar/desligar de circuitos externos.

Cada relé tem um canal de controlo que pode ser ativado por um sinal de baixa tensão, sendo comum a sua utilização em projetos de automação residencial, controlo de equipamentos e sistemas eletrónicos. Estes relés fornecem uma interação segura e fácil de usar ao utilizador, uma vez que através de sinais de baixa tensão é possível acionar cargas com elevada tensão e/ou corrente.

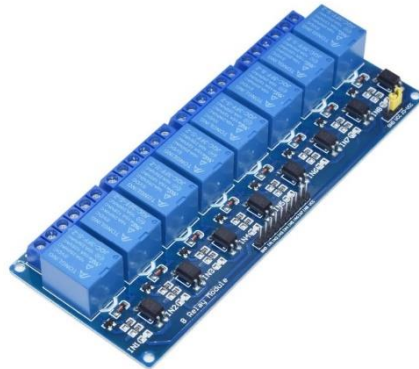


Figura 26 – Módulo de relés.

## 4.2 Ferramentas de software utilizadas

Nesta secção é efetuada uma descrição sucinta do sistema operativo *Raspbian*, o terminal do mesmo, a linguagem *Python* bem como do protocolo de comunicação *I-Wire*. Esta descrição é importante já que faculta um conhecimento geral de todo o *software* utilizado durante o desenvolvimento do projeto.

### 4.2.1 Sistema operativo *raspbian*

O *raspbian* [13] é um sistema operativo (*SO*) baseado na distribuição *Linux Debian*, e foi especificamente desenvolvido para o *Raspberry Pi*. É totalmente otimizado para tirar o máximo partido dos recursos do minicomputador, sendo um *SO* leve, rápido e estável. Possui um ambiente de trabalho leve e adequado ao seu *hardware* limitado, permitindo, assim, que seja uma utilização intuitiva. O *Raspbian* possibilita ainda o uso dos pinos *GPIO*, um recurso extremamente importante, pois permite interagir com dispositivos externos.

### 4.2.2 Terminal *Linux*

O terminal *Linux*, é uma interface de linha de comando, também conhecida como *CLI*, que permite que os utilizadores interajam com o sistema operacional *Linux* no *Raspberry Pi*. É uma maneira eficaz de controlar e gerir o dispositivo, usando a *prompt* de comando diretamente. Uma descrição mais pormenorizada do terminal *Linux* num *Raspberry Pi* assenta nos seguintes pontos:

- Interface de linha de comando: O terminal *Linux* funciona como uma interface de texto, sendo possível digitar comandos e receber respostas do sistema. Esta difere de uma

interface gráfica de utilizador (GUI), uma vez que não tem elementos gráficos. Em vez disso, são utilizados comandos em modo texto para realizar as ações desejadas;

- Acesso ao terminal: Quando o terminal é iniciado, é exibido uma *prompt* de comando que difere, dependendo do nome do utilizador. No nosso caso, o nome do utilizador é "*rasp*";
- Execução de programas e comandos: O terminal *Linux* permite a execução direta de programas, bastando para isso digitar o nome correspondente;
- Administração do sistema: É possível configurar e administrar um vasto número de parâmetros do SO, usando, para tal, comandos que permitem, por exemplo, atualizar o sistema, instalar ou remover aplicações, realizar configurações na rede, gerir permissões, etc.;
- Histórico de comandos: O terminal *Linux* armazena todos os comandos que são digitados, facilitando deste modo a navegação e reutilização de comandos.

### 4.2.3 Linguagem *Python*

A linguagem *Python* [14] é uma linguagem de programação de alto nível, criada em 1991 e é atualmente uma linguagem popular e em grande expansão.

Um dos principais factos que têm contribuído para a grande popularidade e expansão da linguagem *Python*, para além de ser código aberto, é o facto de ser uma linguagem com uma sintaxe intuitiva que facilita a sua aprendizagem. Por outro lado, existem muitos documentos de apoio *online* que ajudam a iniciação à sua aprendizagem. Além disso, esta linguagem possui um conjunto vasto de módulos (o equivalente às *bibliotecas*, noutras linguagens de programação), oferecendo uma ampla gama de funcionalidades e recursos prontos a ser utilizados, facilitando a tarefa aos desenvolvedores de software, existindo ainda uma grande e ativa comunidade de desenvolvedores. É possível ainda encontrar módulos de terceiros, instalar extensões de outras linguagens de programação como o C/C++ para proporcionar a sua integração. O *Python* é uma linguagem multiplataforma, ou seja, pode ser executado em diferentes sistemas operativos, como são exemplo o *Windows*, o *macOS* e o *Linux*.

Para o sistema por nós desenvolvido, foi utilizado um módulo, "*tkinter*", que permitiu a criação das interfaces gráficas de forma simples e eficiente [15].

### 4.2.4 Protocolo de comunicação 1-Wire

O protocolo *1-Wire* é um protocolo de comunicação série, que permite transferir dados numa única linha física de comunicação. Assim, apenas é necessária a utilização de um condutor para enviar e receber informação. Este protocolo é suportado no *Raspberry Pi* através dos seus pinos *GPIO*.

As principais características da comunicação *1-wire* são [16]:

- O *I-Wire* requer apenas um condutor para a comunicação, designado por “linha de dados”, o qual é utilizado para transmitir as informações entre o *Raspberry Pi* e os dispositivos que comuniquem com este protocolo de comunicação.
- A comunicação ocorre em pulsos de curta duração. Existem três tipos de pulsos principais: *Reset*, *Write 0* e *Write 1*
  - *Reset*: É um pulso longo que indica o início de uma comunicação. O *Raspberry Pi* gera um pulso de *reset* colocando a linha de dados no nível lógico baixo por pelo menos 480 microssegundos, retornando de seguida ao nível alto;
  - *Write 0*: É um pulso curto que indica a transmissão de um *bit 0*. O *Raspberry Pi* coloca a linha de dados no nível lógico baixo durante cerca de 60 microssegundos, retornando ao nível lógico alto;
  - *Write 1*: É um pulso curto que indica a transmissão de um *bit 1*. O *Raspberry Pi* coloca a linha de dados no nível lógico baixo durante cerca de 15 microssegundos, voltando novamente ao nível lógico alto;
- Cada dispositivo *I-Wire* contém um endereço único de 64 *bits*. Durante a comunicação, o *Raspberry Pi* necessita enviar esse endereço para endereçar o dispositivo com o qual deseja comunicar;
- A comunicação de dados ocorre ao nível do *bit*. O *Raspberry Pi* envia ou recebe oito bits do dispositivo *I-Wire*.

### 4.3 Configurações

#### 4.3.1 Principais comandos utilizados

Como anteriormente referido, no presente trabalho foi utilizado o *SO Raspbian*, o qual conta com o Terminal, que é uma interface de linha de comandos que permite interagir com o sistema operacional. Este sistema operativo é amplamente utilizado por utilizadores avançados e ou profissionais, devido à sua eficiência. O Terminal também oferece recursos mais avançados e mais opções de personalização relativamente às interfaces gráficas tradicionais. No entanto, para iniciantes, torna-se um pouco mais difícil, pois não é intuitivo e requer algum conhecimento, adquirido por consulta a documentação existente. Os comandos/programas mais relevantes utilizados na implementação deste projeto foram:

- “*sudo*” (*SuperUser Do*) que é usado no *Linux* para executar um comando com privilégios de superutilizador, normalmente conhecido como administrador. O “*sudo*” permite que um utilizador regular execute comandos que exigem permissões elevadas, como a instalação de pacotes ou a modificação de configurações do sistema.
- “*nano*”, que é um editor de texto básico e fácil de usar no terminal do *Linux*. É usado para criar, visualizar e editar arquivos de texto.

- “*cd*” (*change directory*), o qual permite mudar de diretório e navegar entre os diretórios do sistema de arquivos.
- “*ls*” que é usado para listar os arquivos e diretórios no diretório atual. Quando executado sem argumentos, ele exibe os nomes dos arquivos e diretórios no diretório atual.
- “*apt-get*”, que é um comando usado para gerir pacotes. Este permite instalar, atualizar, remover e gerir pacotes de software no sistema.
- “*pip install*”, que é um comando usado para instalar pacotes *Python*. O “*pip*” [17] é o gestor de pacotes padrão do *Python* e facilita a instalação de módulos adicionais.

### 4.3.2 Configurações iniciais do sistema do *Raspberry Pi*

Uma das primeiras etapas do projeto foi a instalação do *SO* no cartão *SD*. Após a sua instalação, foi necessário realizar uma atualização ao software para garantir que se estava a utilizar as versões mais recentes e para obter as últimas correções de segurança e recursos. Esse processo foi realizado abrindo o Terminal e digitando os seguintes comandos no mesmo:

- “*sudo apt update*”
- “*sudo apt upgrade*”

Achou-se importante também configurar o idioma, a localização e o fuso horário.

Essas configurações, como também muitas outras que foram feitas, podem ser realizadas abrindo novamente o Terminal, e executando o seguinte comando, como mostrado na Figura 27:

- “*sudo raspi-config*”

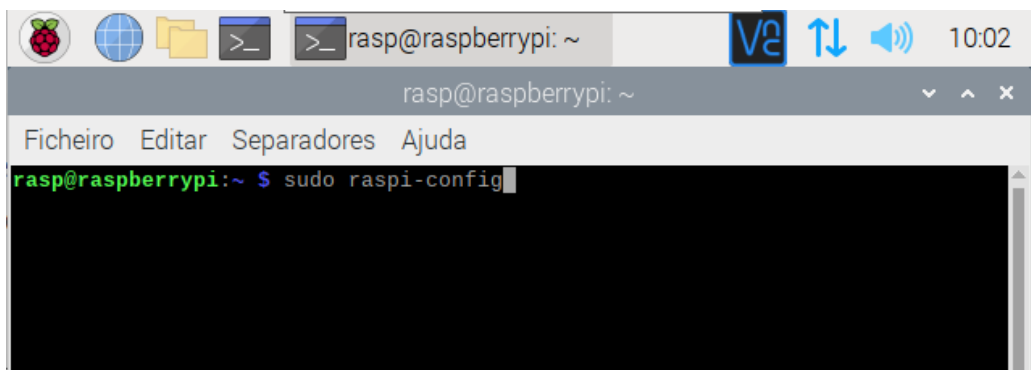


Figura 27 – Exemplo de utilização do comando.

Ao executar o comando obtém-se acesso à janela seguinte de acordo com Figura 28:

## 4. Implementação do sistema

---

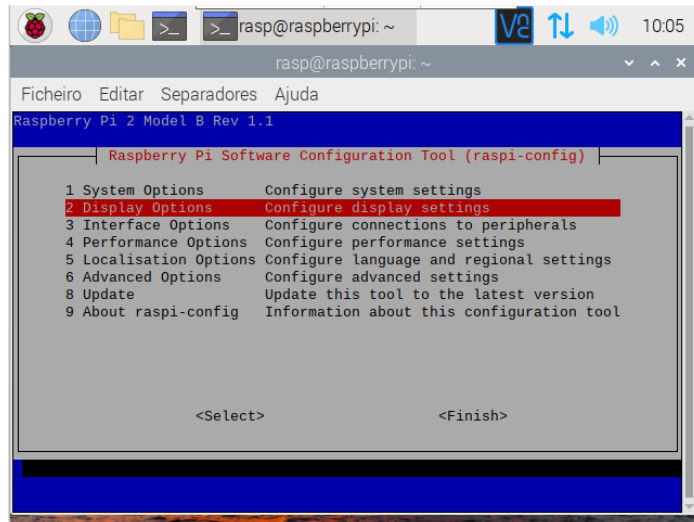


Figura 28 – Tela principal das configurações internas do *Raspberry Pi*.

Como é possível verificar, existem as configurações “*System Options*” que permitem efetuar todas as configurações descritas anteriormente. A configuração “*Display Options*” possibilita ajustar tudo acerca do ecrã. Um ponto importante a referir é que a resolução do mesmo deve ser definida como 640 x 480, pois devido à baixa resolução do LCD temos de recorrer a uma baixa resolução do sistema. A configuração mais importante para o projeto em questão é a “*Interface Options*” que dispõe da habilitação de várias funcionalidades incorporadas do *Raspberry Pi*. Uma delas é a função “*I7 I-Wire*” que foi utilizada para a leitura dos sensores DS18B20 (Figura 29).

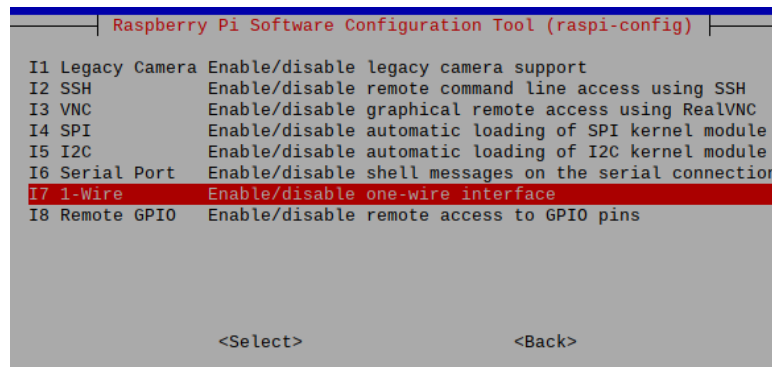


Figura 29 – Tela das configurações internas do *Raspberry Pi* para habilitação do protocolo *I-Wire*.

### 4.3.3 Configuração da comunicação 1-Wire

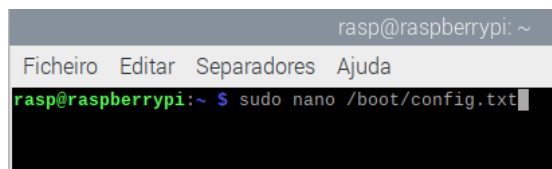
A instalação dos sensores DS18B20 e configuração da respetiva rede de comunicação foi efetuada recorrendo ao Terminal e ao seguinte comando:

- “`sudo nano /boot/config.txt`”

Com este comando é possível aceder ao arquivo que contém as configurações do *Raspberry Pi* onde é possível fazer alterações, é importante referir que essas configurações podem afetar o comportamento do mesmo.

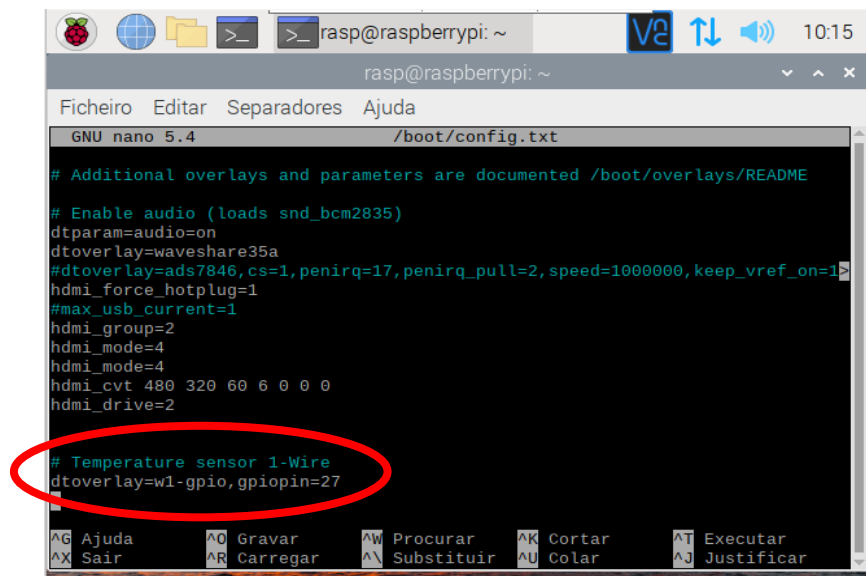
Com o arquivo aberto foi necessário acrescentar uma pequena linha de código no seu final, em concreto: “`dtoverlay=w1-gpio,gpiopin=27`”. Em seguida guardaram-se as alterações e saiu-se do ficheiro com as conjugações de teclas CTRL+O para gravar, e CTRL+X para sair.

A linha de código anterior tem como funcionalidade habilitar o suporte à interface de comunicação *1-Wire* através do *GPIO*, bem como definir o pino *GPIO* onde vai ser feita a transmissão dos dados. As Figuras 30 e 31 mostram o processo.



```
rasp@raspberrypi: ~
Ficheiro Editar Separadores Ajuda
rasp@raspberrypi:~$ sudo nano /boot/config.txt
```

Figura 30 – Exemplo de utilização do comando.



```
rasp@raspberrypi: ~
Ficheiro Editar Separadores Ajuda
GNU nano 5.4 /boot/config.txt
# Additional overlays and parameters are documented /boot/overlays/README
# Enable audio (loads snd_bcm2835)
dtparam=audio=on
dtoverlay=waveshare35a
#dtoverlay=ads7846,cs=1,penirq=17,penirq_pull=2,speed=1000000,keep_vref_on=1
hdmi_force_hotplug=1
#max_usb_current=1
hdmi_group=2
hdmi_mode=4
hdmi_mode=4
hdmi_cvt 480 320 60 6 0 0 0
hdmi_drive=2
# Temperature sensor 1-Wire
dtoverlay=w1-gpio,gpiopin=27
AG Ajuda AO Gravar AW Procurar AK Cortar AT Executar
AX Sair AR Carregar AN Substituir AU Colar AJ Justificar
```

Figura 31 – Janela do “`config.txt`”.

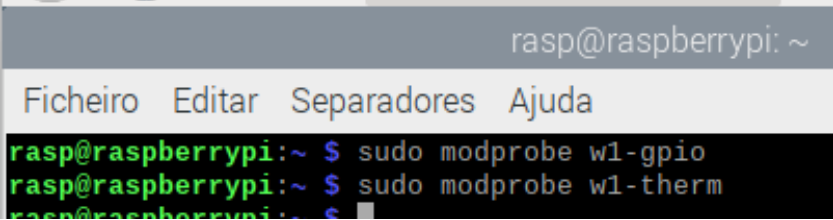
## 4. Implementação do sistema

---

Para prosseguirmos com o processo foi essencial reiniciar o equipamento e, em seguida reabrir o Terminal e proceder à inserção dos seguintes comandos:

- “`sudo modprobe wl-gpio`”
- “`sudo modprobe wl-therm`”

Estes comandos permitiram carregar os módulos descritos e desta forma facultar o acesso a ler os dados dos sensores de temperatura *I-Wire* ligados ao *Raspberry Pi*, geralmente feito por via de bibliotecas ou comandos relacionados com o protocolo. As Figuras 32 e 34 evidenciam o procedimento.



```
rasp@raspberrypi: ~  
Ficheiro Editar Separadores Ajuda  
rasp@raspberrypi:~ $ sudo modprobe wl-gpio  
rasp@raspberrypi:~ $ sudo modprobe wl-therm  
rasp@raspberrypi:~ $
```

Figura 32 - Exemplo de utilização dos comandos.

Terminada a configuração foi verificado se todo o processo foi bem executado. Para o efeito foi efetuada a leitura de um sensor de temperatura. Antes, porém, foi preciso proceder à ligação dos sensores começando com a respetiva alimentação conseguida com a aplicação dos valores de +5V e 0V, respetivamente, nos fios vermelho e preto. O fio amarelo ou branco foi ligado no pino de dados do *Raspberry Pi* (pino *GPIO27*). Note-se que foi utilizada uma resistência *pull-up* de 4700 ohm no pino de transmissão de dados. A resistência *pull-up* tem como função manter a linha num estado alto quando a linha *I-Wire* não está a ser utilizada. O esquema de ligação utilizado é apresentado na Figura 33.

Uma vez consumada a ligação dos sensores, recorremos ao Terminal onde executámos os seguintes comandos:

- “`cd /sys/bus/wl/devices`”
- “`ls`”
- “`cd 28-000005bdb07a`”
- “`cat wl_slave`”



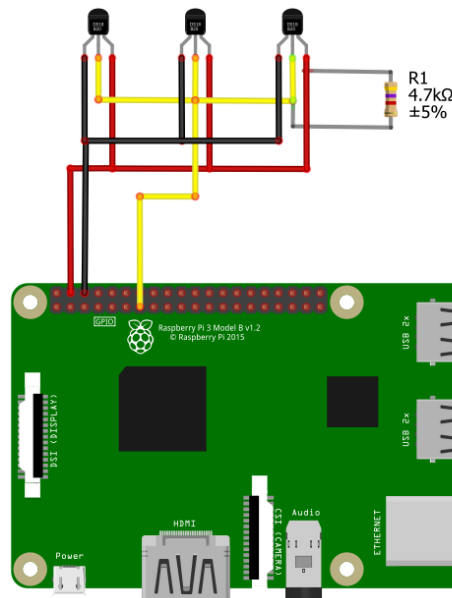


Figura 33 – Esquema de ligação dos sensores DS18B20

```

rasp@raspberrypi:~ $ cd /sys/bus/w1/devices
rasp@raspberrypi:/sys/bus/w1/devices $ ls
28-000005bdb07a 28-000005be3cb5 28-3cf0e38193d6 w1_bus_master1
rasp@raspberrypi:/sys/bus/w1/devices $ cd 28-000005bdb07a
rasp@raspberrypi:/sys/bus/w1/devices/28-000005bdb07a $ cat w1_slave
a9 01 4b 46 7f ff 07 10 85 : crc=85 YES
a9 01 4b 46 7f ff 07 10 85 t=26562

```

Figura 34 - Demonstração da utilização dos comandos e análise do retorno dos sensores DS18B20.

Com os comandos anteriores deslocamo-nos para o diretório dos dispositivos *1-Wire* e com o comando “*ls*” tivemos acesso a todo o conteúdo dessa aba. Como se pode verificar na Figura 34, são reconhecidos os três sensores designados por: 28-000005bdb07a; 28-000005be3cb5 e 28-3cf0e38193d6. Note-se que é possível aceder a qualquer um destes três ou dos que forem reconhecidos nessa mesma secção.

O comando “*cat*” pode ser utilizado para exibir o conteúdo de um arquivo de texto no terminal, dado que quando utilizado em conjunto com “*w1\_slave*”, permite exibir os dados brutos fornecidos pelo sensor de temperatura *1-Wire*, neste caso do sensor 28-000005bdb07a. Nas informações exibidas na Figura 34, a primeira linha terá de conter a palavra “*YES*” no fim, indicando o sucesso da verificação do *CRC*.

Caso se verifique então surge uma segunda linha em que no final teremos algo escrito como “*t=26562*”. Este valor representa a temperatura medida pelo sensor. No entanto para uma

## 4. Implementação do sistema

melhor interpretação deste valor basta dividirmos o valor obtido por 1000, assim teremos 26,562°C.

### 4.3.4 Configuração e instalação do LCD

Como já referido anteriormente, a ligação do LCD DFROBOT DFR0428 é feita através do conector GPIO. Devido a ocupar todo o barramento do *Raspberry Pi*, o próprio *display* dispõe de alguns pinos GPIO, de entre estes serão utilizados os pinos de alimentação (+5V e GND), o pino GPIO27, o pino GPIO5, o pino GPIO6 e o pino GPIO13.

A instalação e utilização de toda a capacidade do LCD impõe a necessidade de se instalar os *drivers* disponibilizados pelo fabricante [18]. Assim foi necessário descarregar o arquivo com os referidos *drivers* e extrair o conteúdo. A pasta obtida, designada por *LCD-show-master*, contém todos os ficheiros necessários, neste sentido é essencial colocá-la no diretório “/home/rasp”, tal como se apresenta na Figura 35. Uma vez concluída esta etapa, procedeu-se à instalação do driver propriamente dito, executando os comandos seguintes:

- “cd LCD-show-master/”
- “ls”
- “sudo ./LCD35-show”

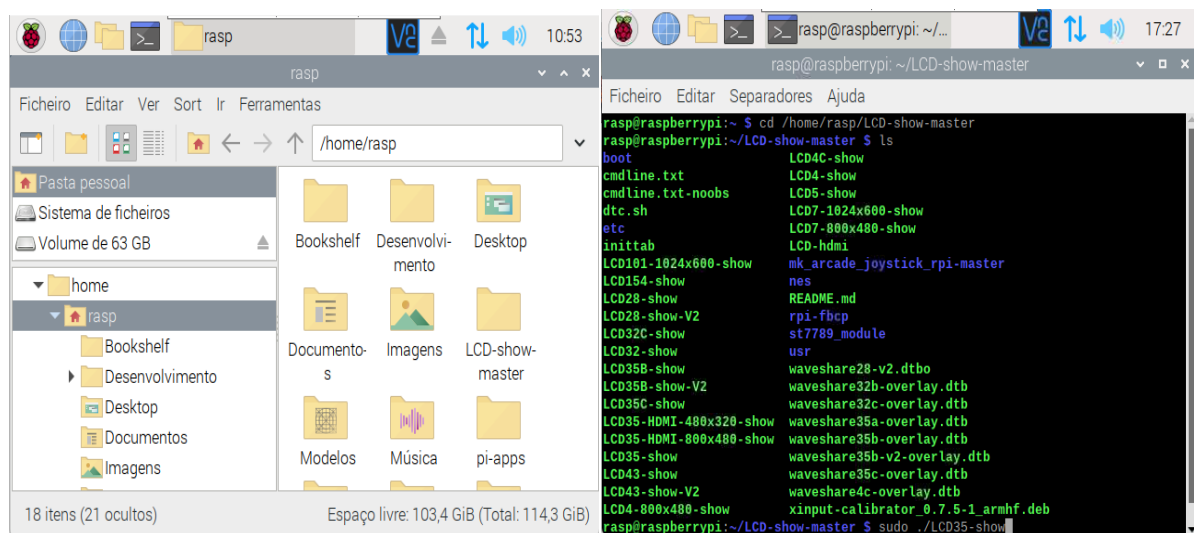


Figura 35 – Pasta “*rasp*” e demonstração da utilização dos comandos

## 4.4 Algoritmo de controlo

Como já referido, o coletor solar térmico será sempre a fonte de calor prioritária para aquecimento do depósito de AQS. Assim, sempre que exista energia solar disponível ou expectável, será esta a fonte de calor a utilizar. Contudo, sempre que a temperatura do depósito de AQS apresentar uma temperatura abaixo do mínimo aceitável descontado da histerese, determinados pelo utilizador, entrará em funcionamento uma fonte secundária. A fonte secundária a funcionar será determinada em função das fontes integradas no sistema, podendo ser, em função dos custos de produção da energia térmica, uma caldeira a *pellets* ou uma bomba de calor ou, em alternativa, uma resistência elétrica.

Importa referir que todas as histereses são introduzidas pelo instalador e servem para evitar que o sistema esteja constantemente a ligar e a desligar.

O algoritmo de controlo programado pode ser visualizado nos fluxogramas que se apresentam em anexo.

O processo inicia pela habilitação do algoritmo através da interface gráfica com recurso a um ícone de ligar (ANEXO 6). Neste processo de habilitação é verificado se todas as variáveis foram convenientemente definidas (temperaturas mínima, desejada, máxima, histereses, tipo de tarifário, habilitação do sistema). Se tudo estiver em conformidade esse passo é ultrapassado e serão adquiridos todos os dados externos para processamento, nomeadamente, as temperaturas dos sensores, a previsão meteorológica para o dia seguinte, como também os preços da eletricidade para o dia seguinte.

Se a informação sobre a meteorologia indicar que existe ou existirá disponibilidade solar, o controlador determinará o aquecimento do depósito de AQS com recurso ao coletor solar e apenas acionará uma outra fonte de calor na circunstância da temperatura da AQS ser inferior à temperatura mínima com uma histerese negativa. Esta fonte de calor secundária poderá, como anteriormente referido, ser uma resistência elétrica ou alternativamente uma caldeira ou bomba de calor. No caso de ser uma bomba de calor, a solução é simples e clara, acionando a mesma para aquecer a água do reservatório da AQS até atingir a temperatura mínima com uma histerese positiva, na expectativa do painel solar continuar a fornecer a energia térmica produzida. É possível verificar o funcionamento da bomba de calor ou mesmo da caldeira, através da leitura da temperatura de ida e de retorno. Quando a temperatura de ida for superior à de retorno é sinal de que o equipamento está em funcionamento e com possibilidade de aquecer o depósito de AQS.

Quando o sistema está equipado com uma caldeira a *pellets* em vez de uma bomba de calor, a fonte secundária poderá ser a caldeira ou uma resistência elétrica, dependendo do custo relativo de produção que cada sistema apresenta. Assim, o sistema de controlo verifica, numa primeira instância se a caldeira se encontra em funcionamento (temperatura de ida). Caso se verifique esse funcionamento o sistema compara o custo do kWh térmico produzido na caldeira com o custo de produção via resistência elétrica (preço da eletricidade). Note-se que o custo da

#### 4. Implementação do sistema

---

eletricidade pode ser definido por tarifário fixo, com ou sem períodos horários, ou por um sistema indexado. No caso de um tarifário fixo, os preços da eletricidade são inseridos pelo utilizador com base na informação existente para um determinado período fornecida pelo comercializador de eletricidade. No caso do tarifário indexado os preços da eletricidade são obtidos aplicando uma expressão predefinida que contabiliza todas as parcelas aplicáveis, bem como o preço horário da energia obtido no sítio *web* do mercado ibérico. Se o custo do kWh térmico produzido na caldeira for inferior ao preço do kWh térmico produzido com recurso à resistência elétrica, o aquecimento do depósito de AQS será feito pela caldeira. Neste caso, o depósito de AQS terá a sua temperatura elevada até que a temperatura da AQS seja maior que a temperatura mínima mais uma histerese positiva. Note-se, contudo, que o processo de aquecimento do depósito de AQS via caldeira será interrompido sempre que a temperatura do circuito de retorno da caldeira seja igual ou inferior à temperatura de ida. Na realidade, quando tal acontece, significa que já não estamos a aquecer a água do reservatório, mas sim a retirar calor do depósito. O aquecimento será efetuado via resistência elétrica sempre que o custo do kWh térmico produzido na caldeira seja superior ao preço da sua produção com recurso a eletricidade. O procedimento referido pode ser visto na Figura 36, que é um excerto do fluxograma em anexo (ANEXO 8).

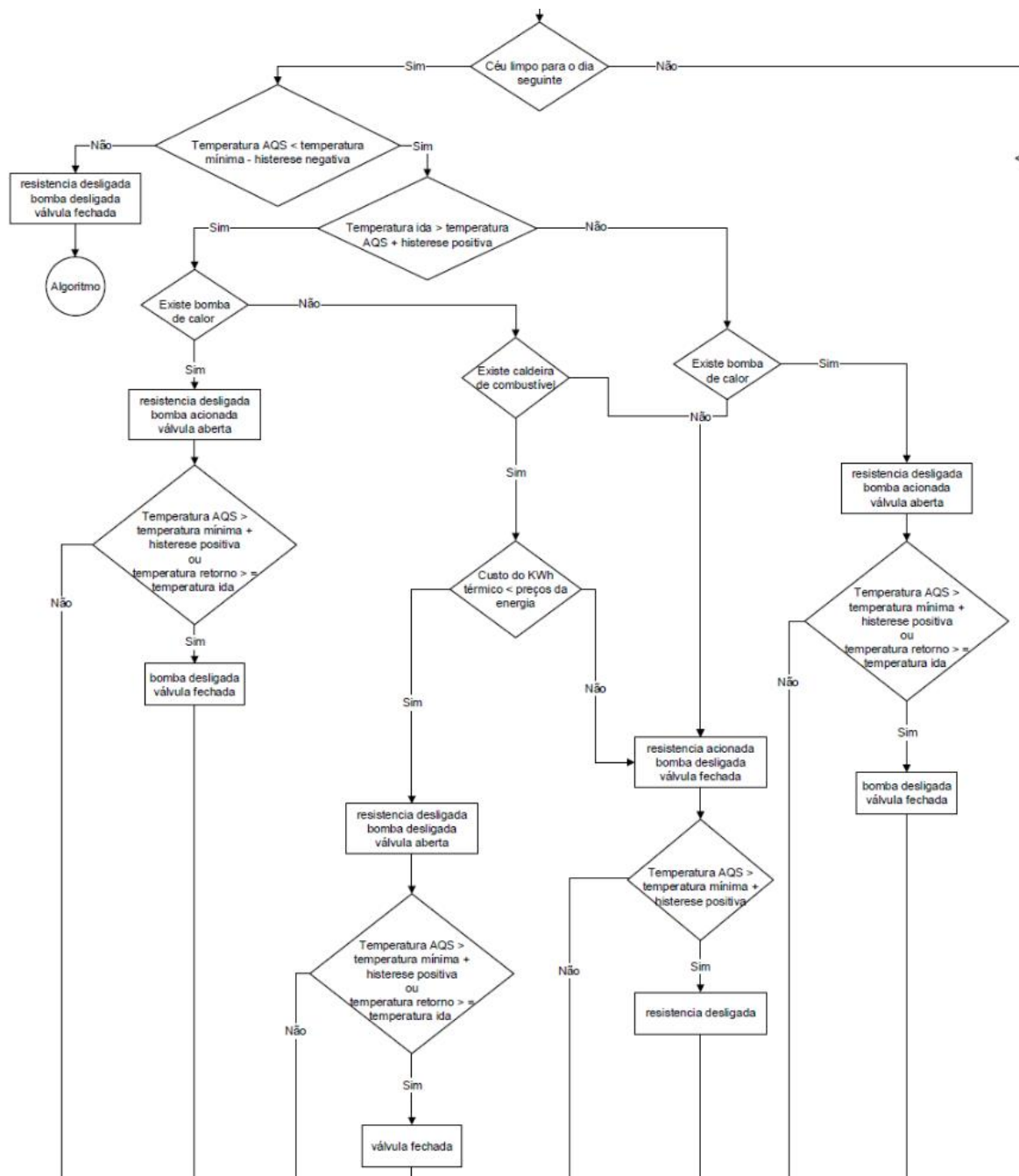


Figura 36 – Excerto do fluxograma algoritmo (parte da existência de disponibilidade solar)

Se não existir disponibilidade solar intensa, informação obtida pela aquisição da previsão meteorológica, isso não significa necessariamente que o painel solar térmico seja “descartado”. Na realidade este poderá continuar a ter alguma potencialidade para contribuir para o aquecimento das AQS, ainda que em menor escala. Contudo, o coletor solar térmico não pode ser assumido como a fonte primária para o aquecimento do depósito de AQS. Consequentemente, assim que a temperatura de AQS atingir a temperatura mínima aceitável descontada da histerese negativa será desencadeado o processo de aquecimento com recurso a

#### 4. Implementação do sistema

---

outra fonte de calor que não o coletor solar térmico. Neste caso, o algoritmo de controlo verifica o preço da eletricidade nesse momento. Se o tarifário elétrico for do tipo fixo, e tendo a confirmação de que período se encontra fora das horas de vazio então o procedimento anterior repete-se, verificando a existência de bomba de calor ou da caldeira.

No caso de haver bomba de calor, esta aquece o reservatório até que ultrapasse a temperatura mínima acrescida de uma histerese positiva. Se existir caldeira é necessário comparar os custos de energia térmicos e apurar qual das fontes secundárias é mais rentável, caldeira ou resistência elétrica.

Dependendo da fonte de calor adotada (caldeira ou resistência elétrica) é necessário proceder ao aquecimento do reservatório de AQS até que seja superior à temperatura mínima acrescida da histerese positiva, e no caso de ser a caldeira, ter em consideração as temperaturas de ida e de retorno para que não se esteja a retirar o calor do reservatório de AQS. Mais uma vez, todo o procedimento descrito é exibido na Figura 37 através de um excerto do fluxograma em anexo (ANEXO 8).

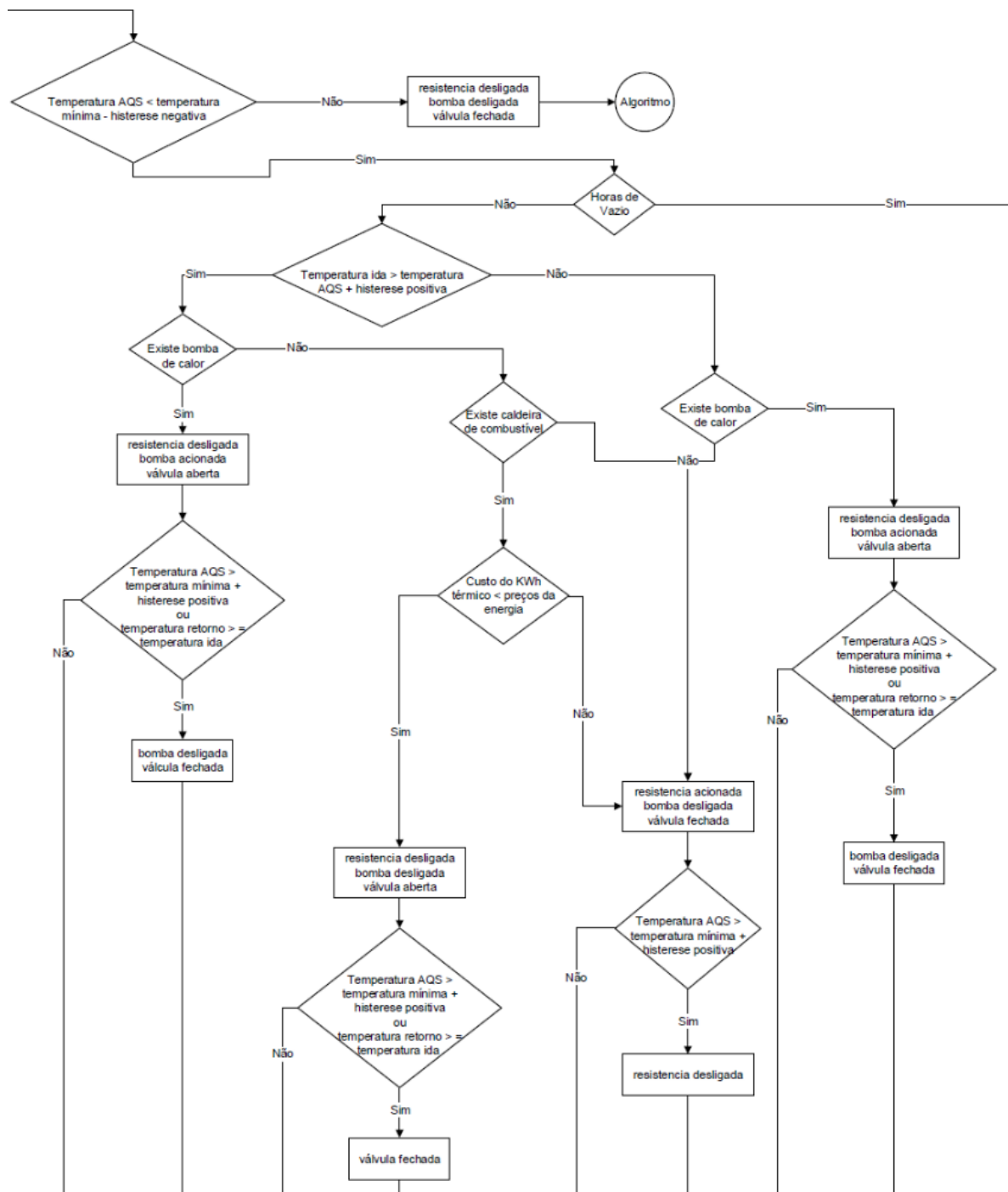


Figura 37 – Excerto do fluxograma algoritmo (parte da falta de disponibilidade solar e período horário de eletricidade fora das horas de vazio)

#### 4. Implementação do sistema

---

Continuando com o processo referido anteriormente, onde é verificada a disponibilidade ou indisponibilidade solar através dos dados da previsão meteorológica adquiridos pelo sistema, verificando-se a ausência de céu limpo, ou seja, não há disponibilidade solar, e sempre que se verifique a condição seguinte, temperatura das AQS inferior à temperatura mínima somada de uma histerese negativa, é necessário elevar a temperatura da água do reservatório AQS, verificando em simultâneo, em que período horário de energia se encontra.

Constatando encontrar-se no período horário das horas de vazio, analisa-se o estado de funcionamento da caldeira ou da bomba de calor. O ponto chave desta questão é, uma vez que é necessário aquecer as AQS e o sistema encontra-se no período horário de vazio, ou seja, horas onde a energia é mais barata, vamos tirar partido deste fator para elevar a temperatura das águas quentes sanitárias até atingirem a temperatura desejada, isto no caso da presença de uma bomba de calor.

Na condição do sistema ser dotado de uma caldeira a *pellets*, sobressai novamente a necessidade de verificar qual o custo do kWh térmico da caldeira, averiguando ser mais benéfico ou não realizar o aquecimento pela resistência, aproveitando assim o período onde o valor da energia é mais barato. Mas, se ainda assim, a caldeira for mais rentável aquecemos a AQS até ser superior à temperatura desejada, tendo em consideração as temperaturas de ida e de retorno como previamente referido.

Na eventualidade da eletricidade ser economicamente mais viável, isto é, aquecimento com menor custo, é aumentada a temperatura do reservatório de AQS até que este ultrapasse a temperatura desejada.

Novamente, o procedimento descrito é exibido na Figura 38 através de um excerto do fluxograma em anexo (ANEXO 8).

É importante salientar que a eletricidade pode ser adquirida por dois diferentes tipos de tarifários, um pré-definido para um determinado período, em que os preços da eletricidade são fixos embora possam existir períodos horários, e outro tarifário, indexado ao mercado, onde os preços são conhecidos no dia anterior para cada hora do dia seguinte.

No tarifário indexado para obter o preço final, é necessário aplicar taxas, tais como, perdas da rede elétrica adjacentes à instalação em questão, fatores de adequação que englobam erros de estimativa, desajustes de perfis e ainda perdas comerciais, custo de acesso às redes que incorporam as tarifas de uso global do sistema, uso da rede de transporte, uso da rede de distribuição e de operação logística de mudança de comercializador, os custos de gestão que o operador aplica ao consumidor e, por fim, o IVA.



$$P_{final} = (P_{mercado} \times (1 + perdas) \times \frac{FA}{100} + CAR + CG) \times (1 + \frac{IVA}{100})$$

$P_{final}$  – Preço final em cada hora com as taxas aplicadas;

$P_{mercado}$  – Preço de mercado obtido através da *web*;

*perdas* – Perdas da rede elétrica adjacentes;

FA – Fator de adequação;

CAR – Custo de acesso às redes;

CG – Custos de gestão;

IVA – Imposto de valor acrescentado.

Os excertos mostrados têm como base, facilitar a compreensão da descrição de todo o algoritmo. O fluxograma encontra-se na íntegra em anexo podendo ser consultado no ANEXO 8.

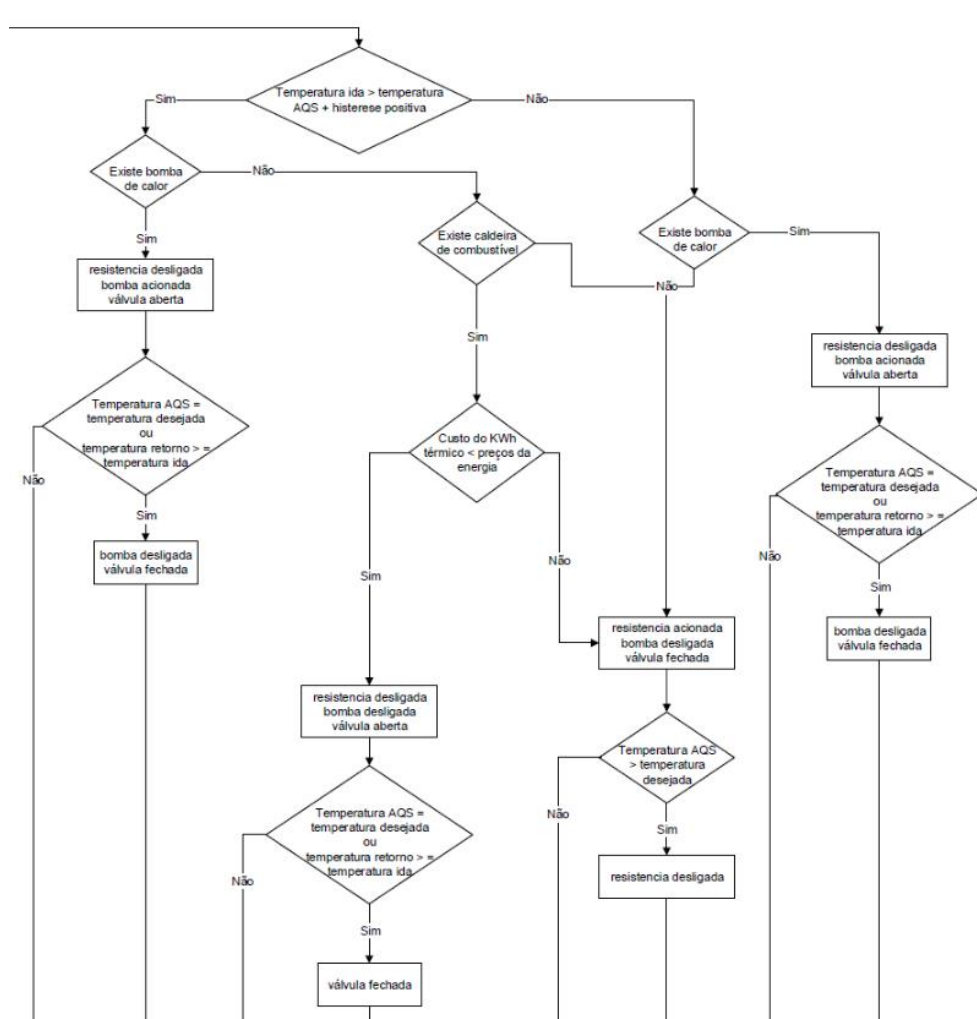


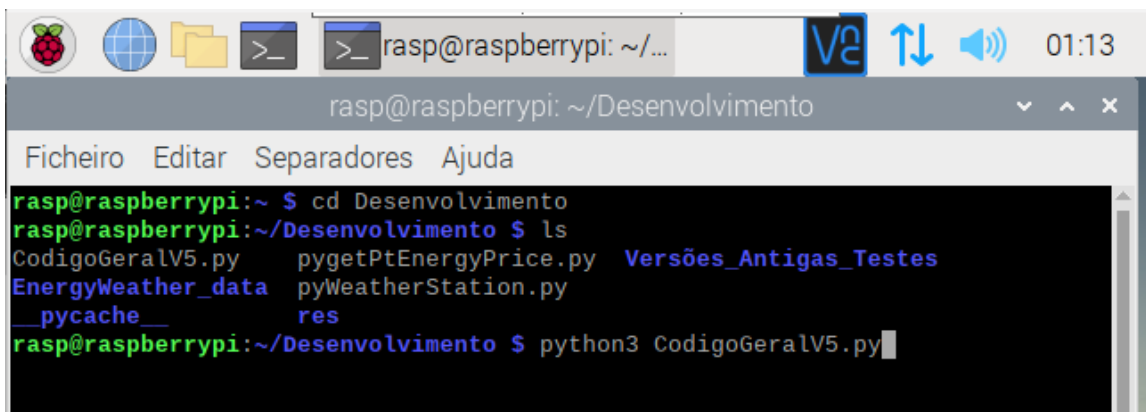
Figura 38 – Excerto do fluxograma algoritmo (parte da falta de disponibilidade solar e período horário de eletricidade nas horas de vazio)

### 4.5 Interface Gráfica

Durante a realização do nosso projeto, foi necessário desenvolver uma interface gráfica para que seja possível interagir com o programa de forma mais intuitiva.

Primeiramente é necessário introduzir determinados códigos para que o sistema possa ser iniciado, nomeadamente (Figura 39):

- “*cd* Desenvolvimento”;
- “*ls*”, para listar o conteúdo presente no diretório “Desenvolvimento”;
- “CodigoGeralV5.py”, é o arquivo que contém o código principal do programa;
- “*EnergyWeather.data*”, é o local onde serão guardados todos os arquivos produzidos pelo nosso código;
- “*pyWeatherStation.py*”, a partir deste ficheiro iremos obter a previsão da meteorologia para o dia seguinte;
- “*pygetPtEnergyPrice.py*”, a partir deste ficheiro iremos adquirir os preços da energia para o dia seguinte.



```
rasp@raspberrypi: ~/Desenvolvimento
Ficheiro  Editar  Separadores  Ajuda
rasp@raspberrypi:~ $ cd Desenvolvimento
rasp@raspberrypi:~/Desenvolvimento $ ls
CodigoGeralV5.py      pygetPtEnergyPrice.py  Versões_Antigas_Testes
EnergyWeather_data  pyWeatherStation.py
__pycache__          res
rasp@raspberrypi:~/Desenvolvimento $ python3 CodigoGeralV5.py
```

Figura 39 – Exemplo de utilização dos comandos para iniciar programa.

### 4.5.1 Janela Inicial

A Figura 40 mostra a janela inicial da interface gráfica desenvolvida, e a partir da qual é possível configurar o sistema, iniciar ou parar a sua operação, verificar informações acerca do funcionamento, consultar previsões meteorológicas e recolher informações acerca do preço da eletricidade (dependendo do tipo de tarifário que for adotado). Assim, nesta janela inicial podem ser encontrados seis ícones principais tais que:



Figura 40 – Janela Inicial da Interface Gráfica.

1. Uma vez pressionado, abre a janela “Energia”.
2. Uma vez pressionado, abre a janela “Meteo”.
3. Uma vez pressionado, abre a janela “Status”.
4. Uma vez pressionado, abre a janela “Configurar”.
5. Uma vez pressionado, abre a janela “Iniciar”.
6. Uma vez pressionado, abre a janela “Parar”.

### 4.5.2 Janela Energia

A janela Energia, acessada através do ícone 1, permite mostrar a informação sobre os preços da eletricidade obtidos através do tarifário indexado ao MIBEL. Na prática esta janela mostra os preços da energia para o dia seguinte em €/kWh. Importa realçar que os preços exibidos se referem apenas aos preços do mercado ibérico, não contendo ainda as restantes componentes que determinam o preço final da energia. É importante salientar que é possível visualizar a informação em gráfico pressionando o ícone destacado a vermelho na Figura 41. Podemos retornar à janela anterior pressionando o botão “Voltar” destacado a cor verde na mesma figura.

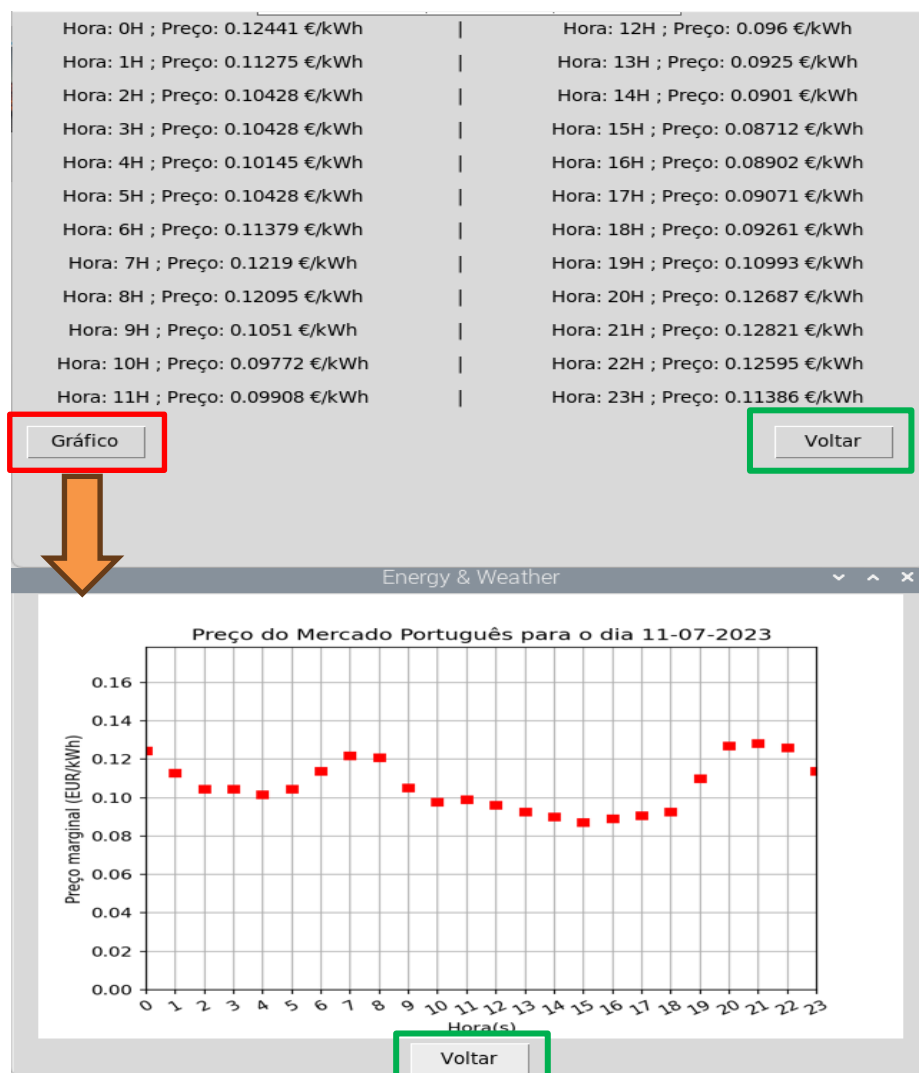


Figura 41 – Janela Energia e Gráfico.

### 4.5.3 Janela Meteo

Após clicar no ícone 2, que corresponde à janela de previsão meteorológica, é aberta uma nova janela onde podemos observar a previsão meteorológica para a localização previamente definida, impossibilitando nesta fase a sua escolha. As informações disponibilizadas como observado na Figura 42 são: temperatura atual, humidade relativa do ar, pressão atmosférica e velocidade do vento. Os dados expostos englobam tanto o dia atual como o dia seguinte. É de notar que as previsões meteorológicas são exibidas para um período de três horas, dividindo assim um dia de 24 horas em 8 períodos iguais. Podemos retornar à janela anterior pressionando o botão “Voltar” destacado a cor verde na Figura 42.



The screenshot displays a weather application interface with the following content:

- Localização**
  - País: Portugal
  - Cidade: Viseu
- Previsão para agora**
  - Data e hora: 2023-07-10 18:00:00
  - Clima: Céu limpo
  - Temperatura: 31.29 °C
  - Humidade relativa do ar: 19 %
  - Pressão atmosférica: 1017 hPa
  - Velocidade do vento: 3.55 km/h
- Previsão para as proximas 24 horas**
  - Data e hora: 2023-07-11 15:00:00
  - Clima: Céu nublado
  - Temperatura: 30.02 °C
  - Humidade relativa do ar: 28 %
  - Pressão atmosférica: 1016 hPa
  - Velocidade do vento: 5.44 km/h
- A button labeled "Voltar" is located at the bottom, highlighted with a green border.

Figura 42 – Janela Meteorologia.

### 4.5.4 Janela Status

Uma vez premido o ícone 3 podemos visualizar a janela Status, na qual é possível ver as temperaturas medidas pelos 3 sensores DS18B20, verificar a previsão meteorológica para o dia atual, ver o menor preço da eletricidade para o dia seguinte e ainda saber qual fonte de calor que está a ser usada no momento para aquecer o nosso depósito de AQS. Uma vez mais temos a possibilidade de retornar à janela anterior premindo o botão “Voltar” destacado a cor verde na Figura 43.

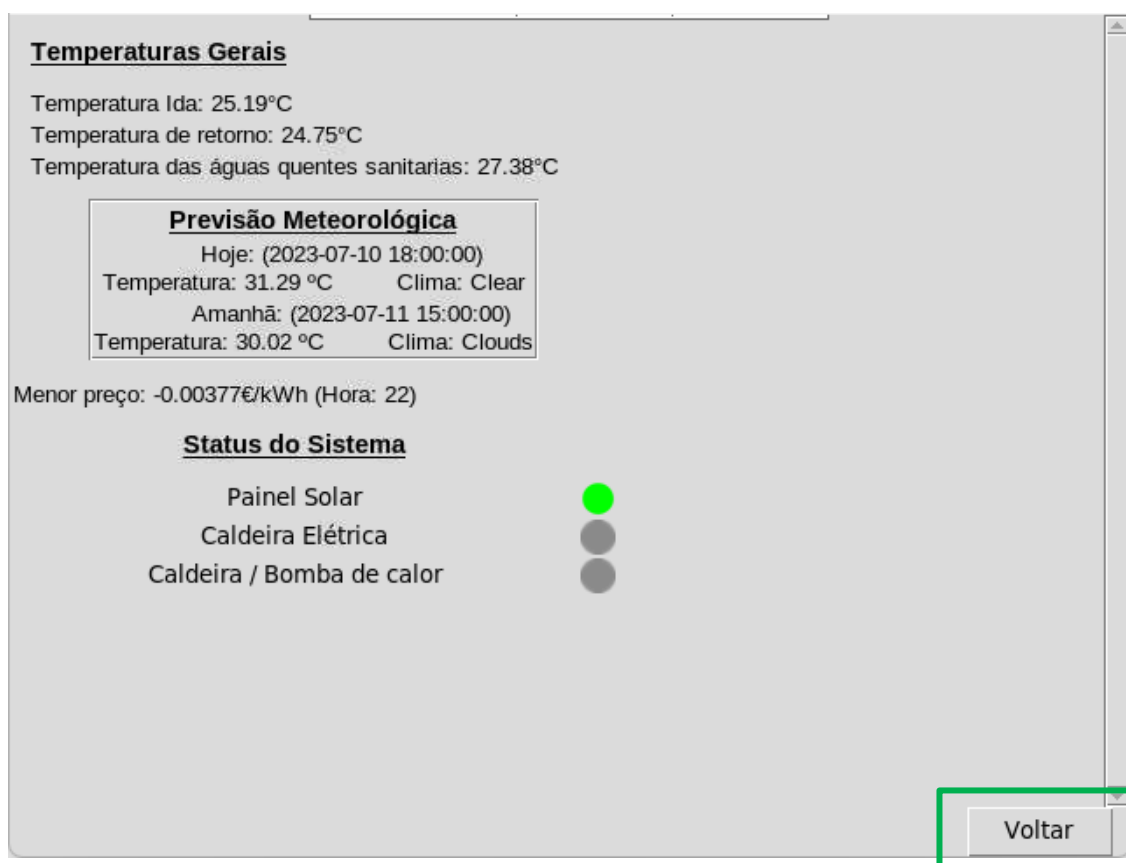


Figura 43 – Janela Status.

### 4.5.5 Janela Configurações

Após ser premido o ícone 4, é aberta uma janela com três opções:

- Botão Utilizador
- Botão Instalador
- Botão Voltar

É importante destacar que dentro das opções “Utilizador” ou “Instalador” é possível alterar valores essenciais para o funcionamento do sistema. O botão “voltar” destacado a cor verde faz retroceder à janela anterior (Figura 44).



Figura 44 – Acesso da Janela Inicial à Janela Configurações.

### 4.5.5.1 Janela Instalador

Selecionando o botão de “Instalador”, é exibido um teclado virtual para que seja possível digitar uma senha (definida por defeito como sendo “1234”). Caso a senha digitada não seja a correta, aparecerá uma caixa de diálogo a informar que a senha introduzida está incorreta. Caso a senha digitada seja a correta, surge a informação senha correta, a qual desaparece após dois segundos (Figura 45).

Nas configurações, são definidos os seguintes valores:

- Temperatura Máxima
- Histerese Positiva do Sistema
- Histerese Negativa do Sistema
- Histerese da Caldeira
- Rendimento da Caldeira

Note-se que as histereses são essenciais para evitar que as saídas estejam constantemente a ser ativadas ou desativadas.



Figura 45 – Janela Configurações de instalador com acesso por senha.



#### 4.5.5.2 Janela Utilizador

Se a opção escolhida for o botão “Utilizador”, destacado a vermelho na Figura 46, irá surgir uma nova janela que irá permitir estabelecer parâmetros como:

- Temperaturas do reservatório de AQS
- Tipo de Tarifário,
- Tipo de Aquecimento
- Poder Calorífico

Novamente, o botão “Voltar” destacado a cor verde faz retroceder à janela anterior.

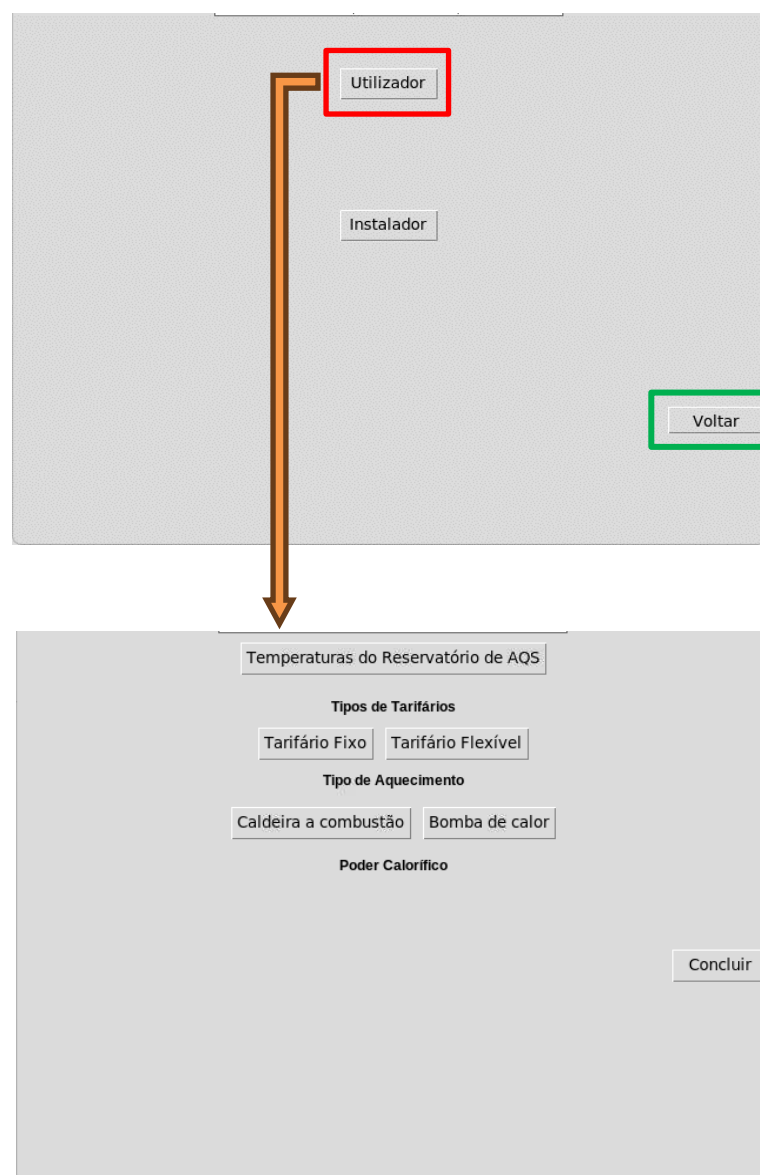


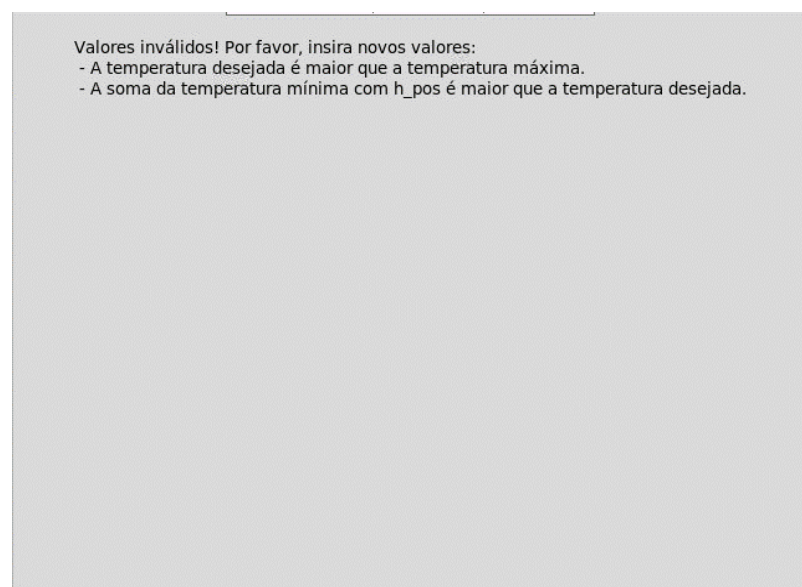
Figura 46 – Janela Configurações de Utilizador.

### 4.5.5.2.1 Janela Temperaturas

Após ser premido o botão “Temperaturas do Reservatório de AQS”, é mostrada uma nova janela ao utilizador para definir a temperatura mínima e desejada, tal como indica a Figura 47. É importante referir que caso os valores inseridos sejam inválidos, isto é, a temperatura desejada seja maior que a temperatura máxima, e ou, a temperatura mínima acrescida de uma histerese positiva seja superior à temperatura desejada, o sistema emite um aviso como se pode verificar na parte inferior da figura abaixo. O botão “OK”, destacado a azul, permite confirmar os valores inseridos.



The screenshot shows a window titled 'Temperaturas' with two rows of input fields. The first row is labeled 'Temperatura Mínima' and contains five buttons: '-10', '-1', '55 °C', '+1', and '+10'. The second row is labeled 'Temperatura Desejada' and contains five buttons: '-10', '-1', '65 °C', '+1', and '+10'. Below these rows is a button labeled 'OK' which is highlighted with a blue border.



Valores inválidos! Por favor, insira novos valores:  
- A temperatura desejada é maior que a temperatura máxima.  
- A soma da temperatura mínima com h\_pos é maior que a temperatura desejada.

Figura 47 – Janela Temperaturas.

#### 4.5.5.2 Janela Tarifários

No que diz respeito ao tipo de tarifário, o utilizador pode optar entre a opção tarifário fixo ou tarifário indexado do mercado ibérico de eletricidade.

Na opção “Tarifário Fixo”, após premido o botão, surge uma nova janela, que permite definir o número de intervalos pretendidos. Esses intervalos correspondem aos períodos horários elétricos normalmente existentes. Inserido o número de intervalos pretendidos e clicando no botão “Criar”, destacado na Figura 48 a amarelo, surge uma tabela para preencher com:

- o início e fim de cada intervalo;
- o preço referente a cada um dos intervalos.

A seleção de início e fim dos períodos é feita através da escolha de períodos temporais espaçados entre eles por 15 minutos, como se pode observar na Figura 49. É relevante destacar que perante a definição de um número elevado de intervalos poderá surgir a possibilidade do ecrã omitir parte da informação devido às suas dimensões, pelo que é exibida uma “*scrollbar*” de modo que seja possível deslizar o texto para visualizar a restante informação.

Por outro lado, se for premido o botão “Tarifário Flexível”, é pedido ao utilizador para introduzir as seguintes informações: IVA, Custos de acesso às redes, Fator de Adequação e Custos de Gestão em €/kWh.

Os parâmetros referidos são as taxas a aplicar no preço da energia obtido inicialmente.

The figure consists of two side-by-side screenshots of a software interface. The left screenshot shows a window titled 'Número de Intervalos: 7' with a 'Criar' button highlighted in yellow and a 'Concluir' button. Below is a table with columns 'Intervalo', 'Início', 'Fim', and 'Preço'. The table contains 7 rows of interval data. A dropdown menu is open under the 'Fim' column, showing time intervals from 00:00 to 02:15 in 15-minute increments. The right screenshot shows a window with input fields for 'IVA' (23), 'Custos de acesso às redes' (0.0065), 'Fator de adequação ODR' (2.0), and 'Custos de Gestão em €/kWh' (0.005). An 'OK' button is at the bottom.

Intervalo	Início	Fim	Preço
Intervalo nº 1	00:00	08:00	0.11
Intervalo nº 2	08:00	08:30	0.17
Intervalo nº 3	08:30	10:30	0.23
Intervalo nº 4	10:30	18:00	0.17
Intervalo nº 5	18:00	20:30	0.23
Intervalo nº 6	20:30	22:00	0.17
Intervalo nº 7	20:00	00:00	0.11

Figura 48 – Janela Tarifário Fixo e Tarifário Flexível respetivamente.

### 4.5.5.2.3 Janela Tipo de Aquecimento e Poder Calorífico

Relativamente ao último tópico de configuração da janela de utilizador, surge na janela em questão uma seleção que o utilizador deve fazer, isto é escolher entre Caldeira a combustão e Bomba de Calor.

É importante ressaltar que, após a escolha do tipo de aquecimento pretendido, seja ele Caldeira a Combustão ou Bomba de Calor, surgem botões para definir o poder calorífico, kWh/kg ou MJ/kg no caso da Caldeira a Combustão, destacado a cor laranja na Figura 49, ou no caso de ser uma Bomba de Calor surge a opção COP, como se observa na Figura 50.

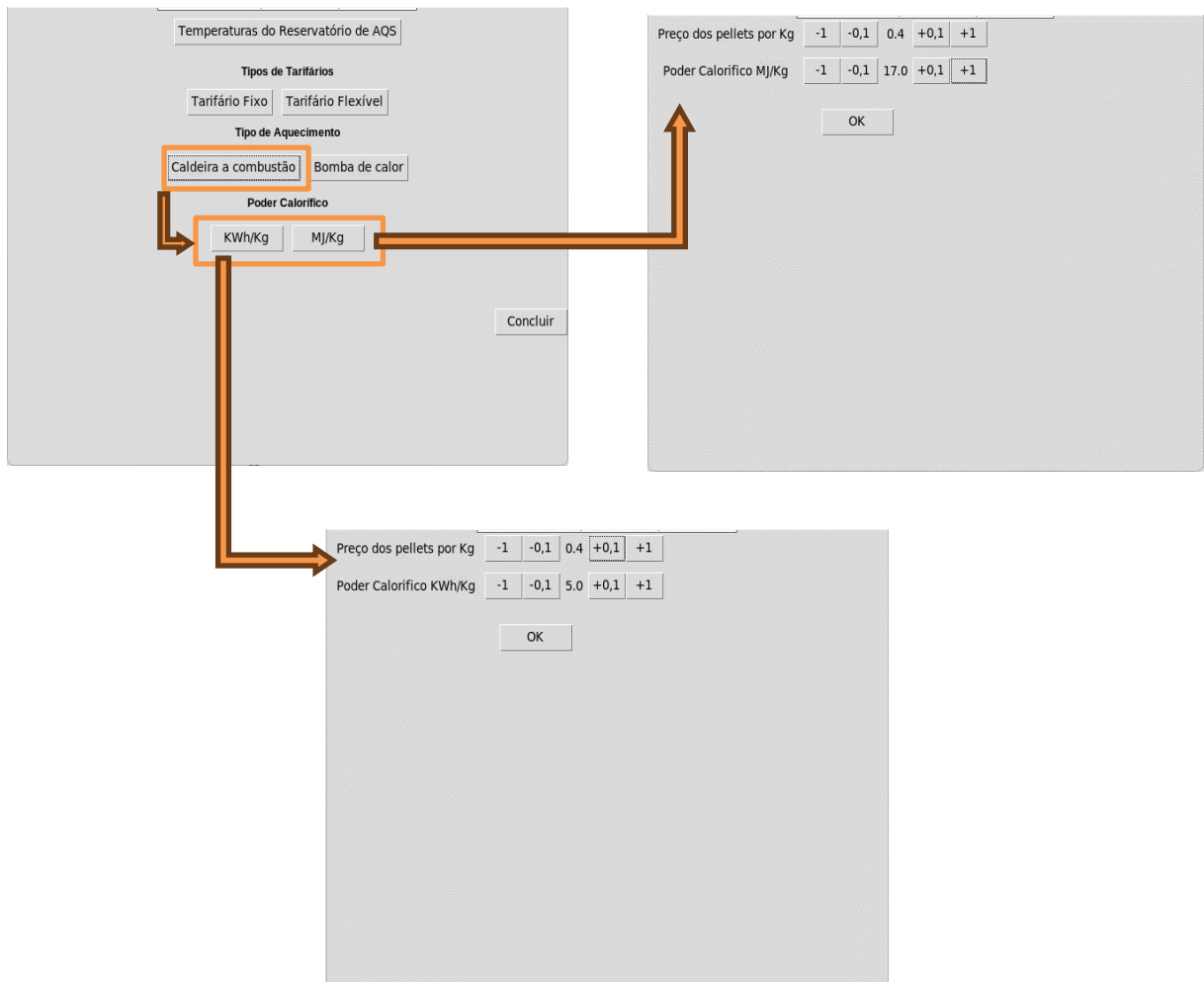


Figura 49 – Janelas Poder Calorífico da Caldeira a Combustão.

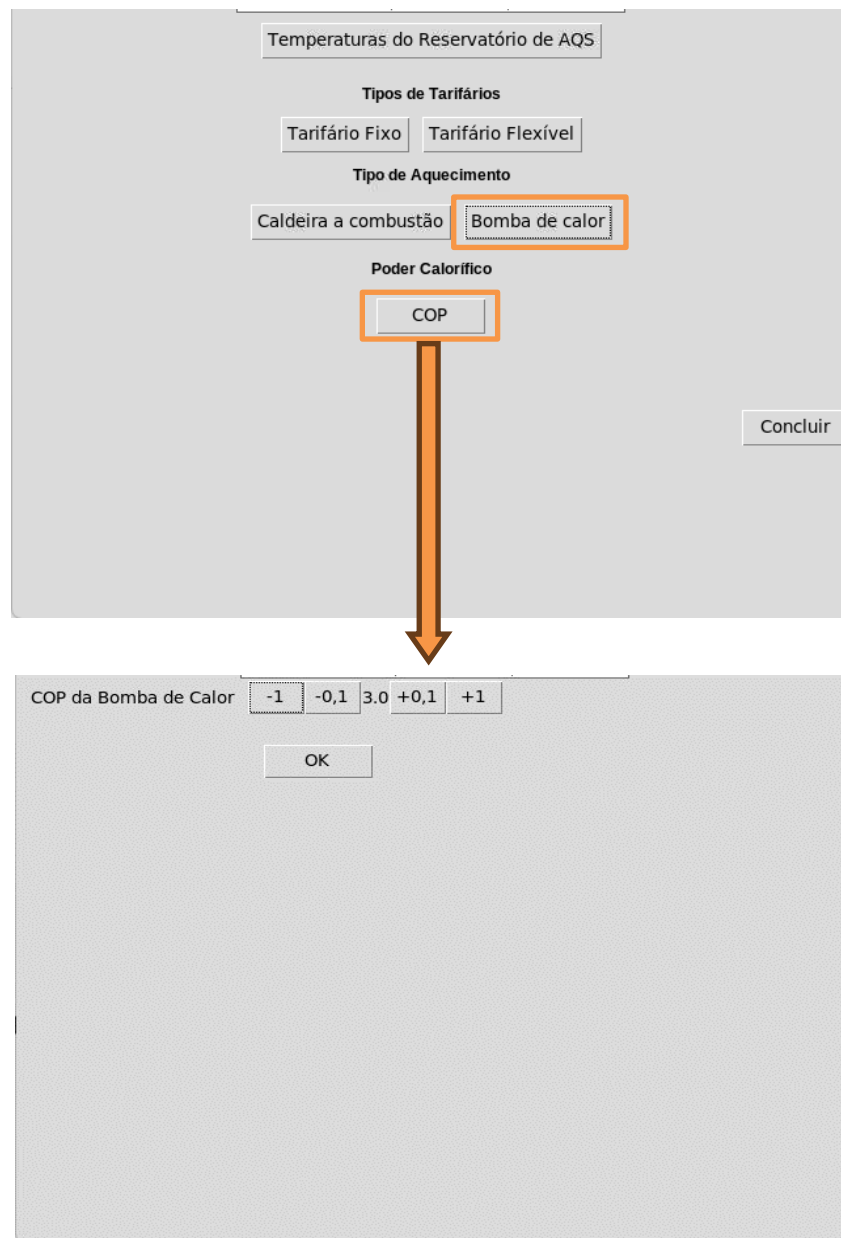


Figura 50 – Janela COP da Bomba de Calor.

### 4.5.6 Janela Iniciar

Após pressionar o ícone 5, o sistema vai entrar em funcionamento, sendo possível observar mais informações acerca do estado do sistema na Janela Status (Figura 51).

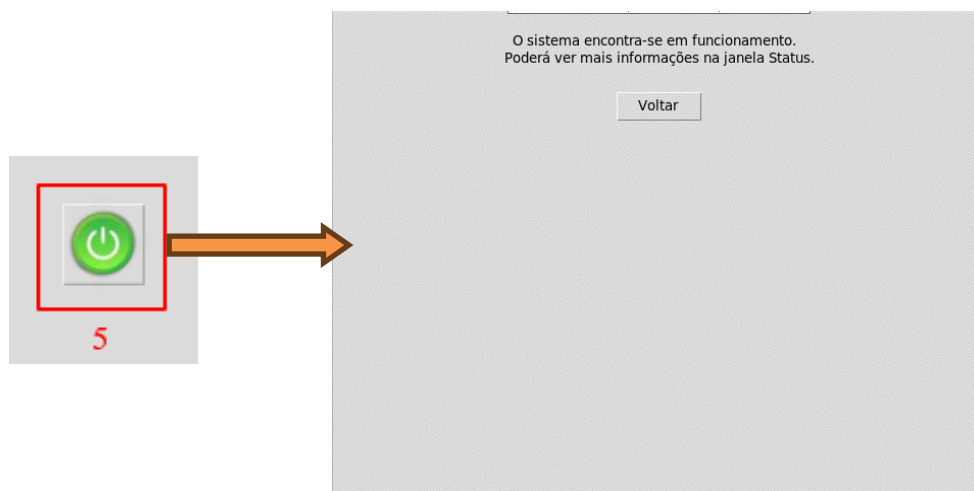


Figura 51 – Janela Iniciar Sistema.

### 4.5.7 Janela Parar

Após premir o ícone 6, o sistema vai parar de funcionar. O utilizador é informado que na eventualidade de haver alguma avaria deve entrar em contacto com o técnico responsável pela instalação (Figura 52).

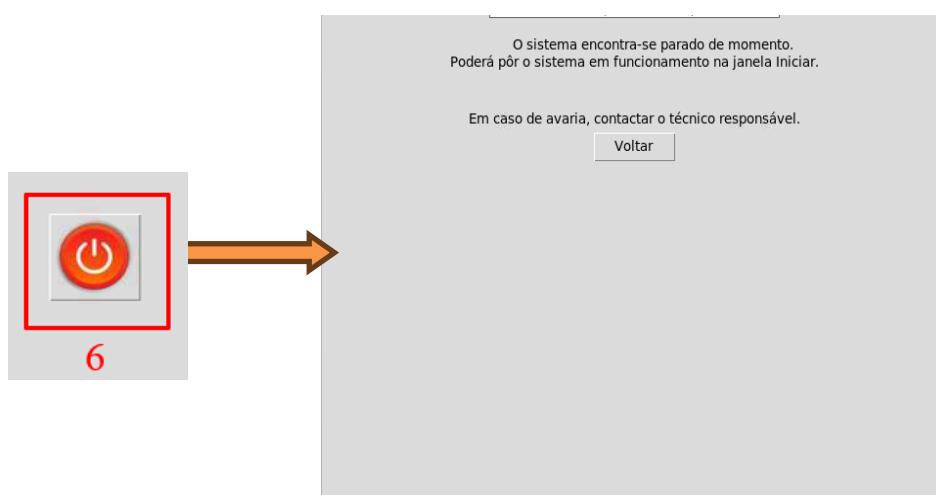


Figura 52 – Janela Parar Sistema



## 4.6 Resultado final

Na Figura 53, podemos observar o aspecto final do protótipo do controlador de sistema integrado de produção de energia térmica, estando presente os três sensores de temperatura DS18B20, o módulo de oito relés e também o minicomputador *Raspberry Pi* acoplado ao *display* LCD.

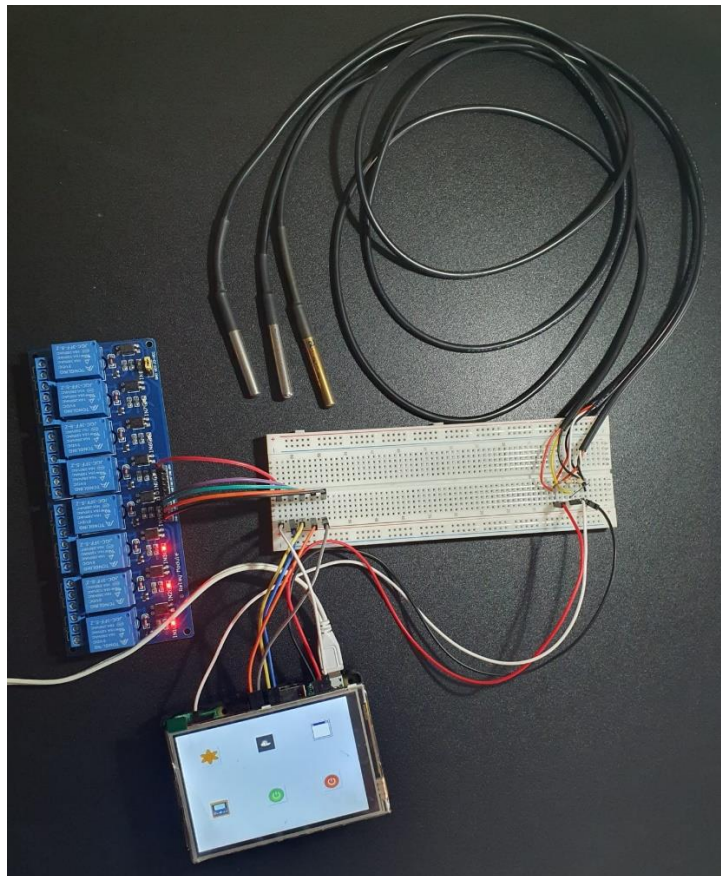


Figura 53 - Aspecto final do protótipo.





## 5 Conclusão e trabalhos futuros

O presente trabalho mostra o desenvolvimento de uma unidade destinada a controlar sistemas de produção de AQS equipadas com diversas fontes de calor, incluindo um coletor solar térmico. Na essência a unidade de controlo tem por missão garantir a disponibilidade de AQS ao menor custo. Para o efeito, o algoritmo implementado procura em cada momento utilizar a(s) fonte(s) de calor disponíveis com menores custos de produção de energia térmica.

O protótipo apresentado responde de forma significativa às questões permanentes da eficiência energética e redução do impacto ambiental. A otimização do uso de fontes de calor, combinada com a incorporação de tecnologias como painéis solares térmicos, caldeiras eficientes e bombas de calor, é uma abordagem eficaz para reduzir o consumo de energia e minimizar o impacto ambiental.

Ao considerar fatores como a disponibilidade solar, eficiência das caldeiras e preços de energia, o sistema desenvolvido neste projeto tem a capacidade de tomar decisões inteligentes, selecionando a fonte de calor mais económica em tempo real para elevar a temperatura do reservatório de água quente sanitária, quando necessário. Essa abordagem permite não apenas reduzir os custos associados à produção de energia térmica, mas também reduzir o consumo de energia elétrica ou *pellet*, o que, por sua vez, contribui para a diminuição do impacto ambiental associado à produção de AQS.

Uma das dificuldades encontradas durante a execução do nosso projeto incidiu com o facto de não estarmos familiarizados com a linguagem de programação adotada, *Python*. Porém estas foram mitigadas pela vasta informação disponibilizada pela comunidade. Outro obstáculo encontrado no nosso percurso recaiu sobre as configurações iniciais do *Raspberry Pi*, como também principalmente a utilização do protocolo *I-Wire*. O tempo disponível para a realização do projeto foi igualmente outro contratempo com que nos deparamos, devido à complexidade do mesmo e devido também às diversas funcionalidades acrescentadas não idealizadas inicialmente, melhorando deste modo o resultado final.

Com o decorrer do projeto foi possível perceber alguns pontos que podem ser alvo de melhoria no futuro, nomeadamente:

- Simplificação do fluxograma que descreve o funcionamento do algoritmo e controlo, o qual pode ser considerado como estando um pouco confuso, devido à complexidade do sistema.
- Consideração do efeito da temperatura ambiente no COP de uma bomba de calor aerotérmica, quando aplicável. No presente trabalho o COP foi assumido como sendo constante, sendo que na realidade essa relação não se verifica. Note-se, contudo, que o algoritmo implementado continua a otimizar os custos de produção da energia térmica. A

inclusão da relação entre o COP e a temperatura ambiente é essencialmente importante na lógica da monitorização de custos reais da produção de energia térmica.

- Melhorar a interface gráfica do sistema, tornando-a mais intuitiva e de fácil utilização. Sugere-se substituir várias janelas por submenus, reduzindo o processamento necessário. Sugere-se também a incorporação de um display de maiores dimensões, permitindo a inclusão de *widgets* para facilitar a interpretação de resultados e escolhas.
- Melhoria das funcionalidades de diagnóstico e alarmes, já que tal é essencial para garantir o bom funcionamento e a longevidade do sistema.
- Possibilidade de alterar a localização geográfica referente à aquisição de dados da previsão meteorológica, diretamente na interface gráfica, sem a necessidade da alteração no código fonte.
- Implementação de sistemas de redundância, o que permitirá que o sistema tome decisões adequadas em caso de falhas, como avaria da caldeira, bomba de calor, falta de dados de previsão meteorológica ou valores incorretos adquiridos pelos sensores.
- No que toca à segurança, será vantajoso realizar um sistema com melhor desempenho ao nível da *cyber* segurança, implementando medidas de segurança robustas. Esta visa garantir a confidencialidade, integridade e disponibilidade das informações digitais, bem como prevenir o acesso não autorizado, a manipulação e o roubo de dados.
- Por fim, mas não menos importante, sugere-se a inserção de uma funcionalidade de controlo/gestão de um sistema de recirculação de água quente. Este sistema deverá permitir a mais rápida disponibilização de água quente nas torneiras, diminuindo perdas de tempo e de água. Ao mesmo tempo o sistema deverá assegurar a recirculação procurando minimizar as perdas de energia.

## REFERÊNCIAS

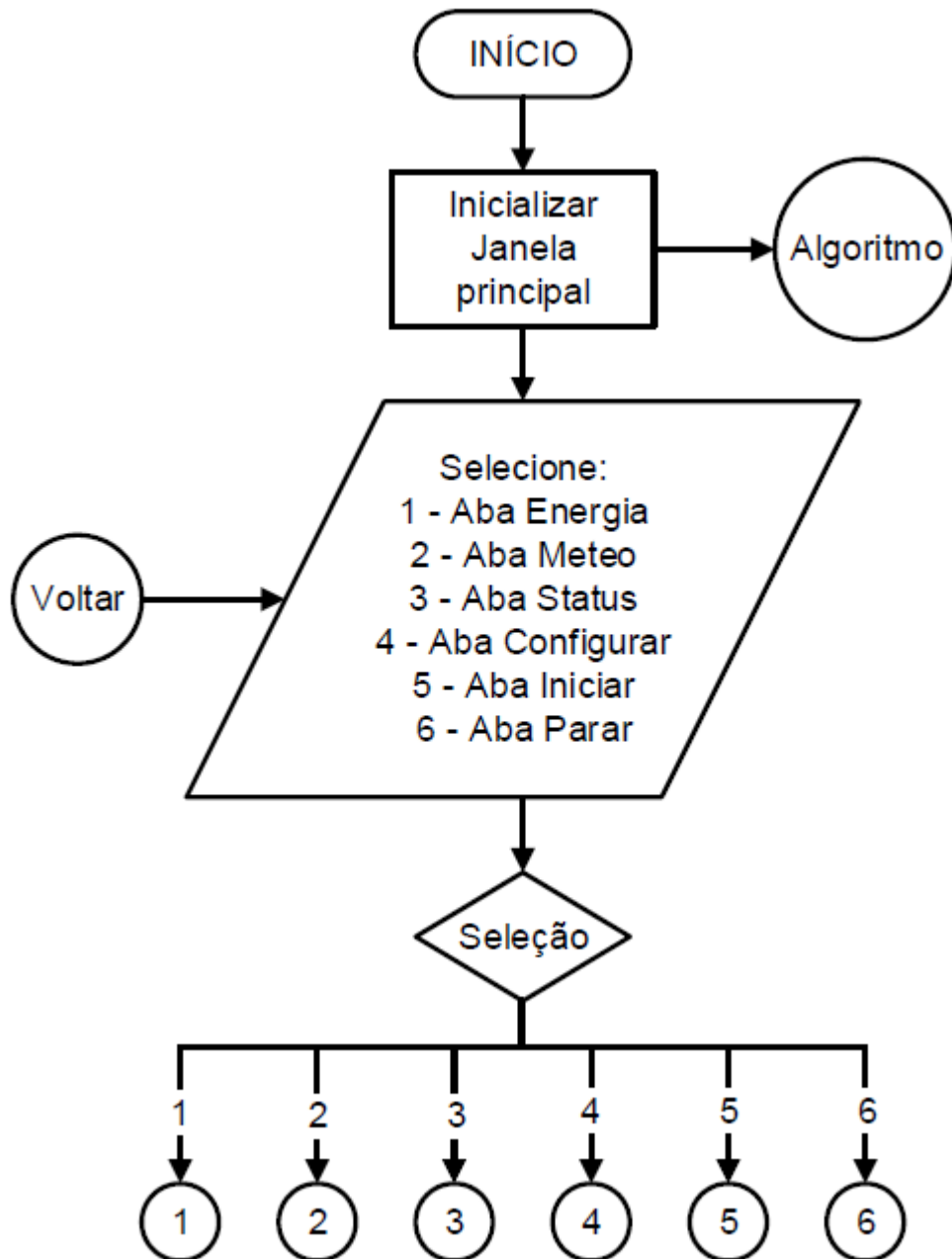
- [1] Observatório da Energia, DGEG, ADENE; “*Energia em Números-Edição 2022*”, disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/media/zuffmfm4/dgeg-aen-2022e.pdf>, consultado em 11 de julho de 2023.
- [2] DGEG; “*Edifícios*”, disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/edificios/>, consultado em 11 de julho de 2023.
- [3] Adene; “*Energia Para Poupar Manual Prático Sobre Eficiência Energética*”, disponível em: <https://ligar.adene.pt/wp-content/uploads/2019/03/Manual-Ligar-4.-Aquecimento-%C3%81gua.pdf>, consultado em 11 de julho de 2023.
- [4] eco-ap; “*Guia 5-Águas Quentes Sanitárias*”, disponível em [https://www.ecoap.pt/wp-content/uploads/2019/01/Guia-5-AGUAS-QUENTES-E-SANITARIAS\\_MEE.pdf](https://www.ecoap.pt/wp-content/uploads/2019/01/Guia-5-AGUAS-QUENTES-E-SANITARIAS_MEE.pdf), consultado em 11 de julho de 2023.
- [5] Anésio Manuel, Sousa Dissertação; “*Universidade Do Algarve Análise Energética De Uma Unidade Hotelaria Do Algarve-Caso De Estudo Real Marina Hotel 2015*”, disponível em: <https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/7959/1/Trabalho%20Final%20Anesio%20-%20Assinatura.pdf>, consultado em 11 de julho de 2023.
- [6] João Pedro, Caseiro Bizot, Roque Filipe, Mesquita Brandão; “*Eficiência Energética em Hotéis, Soluções e Tecnologias*”, disponível em: <https://parc.ipp.pt/index.php/neutroaterra/article/download/3837/1686>, consultado em 11 de julho de 2023.
- [7] Viessman; “*Como funcionam os painéis Solares térmicos?*”, disponível em: <https://www.viessmann.pt/pt/residencial/que-sistema-de-aquecimento-escolher/energia-solar-termica.html>, consultado em 11 julho 2023.
- [8] Elisabete Miranda; “*Ficha Técnica de Pellets A1 de 6mm*”, disponível em: <https://biodensa.pt/wp-content/uploads/2021/07/Ficha-tecnica-A1.pdf>, consultado em 12 de julho de 2023.
- [9] BAXI; “*Anexo catálogo tabela*”, disponível em: [https://mediacdn.baxi.pt/-/media/websites/baxies/files/baxi\\_anexotabela2019.pdf?la=pt-pt&v=1&d=20190906T085712Z&hash=274558853C2E3A944701640B30F1E255](https://mediacdn.baxi.pt/-/media/websites/baxies/files/baxi_anexotabela2019.pdf?la=pt-pt&v=1&d=20190906T085712Z&hash=274558853C2E3A944701640B30F1E255), consultado em 13 de julho de 2023.
- [10] ZODIAC; “*Bomba de calor| Zodiac Poolcare*”, disponível em: <https://www.zodiac-poolcare.pt/solucoes/conselhos/equipamento-de-piscina/bomba-de-calor-definir-aquilo-de-que-necessita>, consultado em 14 julho 2023

- [11] Vulcano; “Solar Térmico”, disponível em:  
[https://www.vulcano.pt/ocsmedia/optimized/full/o417416v272\\_catalogo\\_solar\\_termico.pdf](https://www.vulcano.pt/ocsmedia/optimized/full/o417416v272_catalogo_solar_termico.pdf), consultado em 15 de julho de 2023.
- [12] ERSE; “*PERÍODOS HORÁRIOS na energia elétrica em Portugal*”, disponível em:  
<https://www.erse.pt/media/wijn0vgt/periodos-hor%C3%A1rios-de-energia-el%C3%A9trica-em-portugal.pdf>, consultado em 13 de julho de 2023.
- [13] Raspbian; “*FrontPage – Raspbian*”, disponível em: <http://www.raspbian.org/>, consultado em 22 de julho de 2023.
- [14] Coursera; “*What is Python used for? A beginner’s guide*”, disponível em:  
<https://www.coursera.org/articles/what-is-python-used-for-a-beginners-guide-to-using-python>, consultado em 18 de julho 2023.
- [15] Python Software Foundation; “*tkinter – Python interface to Tcl/Tk – Python 3.7.2 documentation*”, disponível em: <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>, consultado em 17 de abril de 2023.
- [16] Nikhil Agnihotri; “*What is the 1-Wire protocol?*”, disponível em:  
<https://www.engineersgarage.com/what-is-the-1-wire-protocol/>, consultado em 11 de julho de 2023.
- [17] Real Python; “*What Is Pip? A Guide for New Pythonistas – Real Python*”, disponível em: <https://realpython.com/what-is-pip/>, consultado em 18 de julho de 2023.
- [18] DFROBOT; “*3.5\_inches\_TFT\_Touchscreen\_for\_Raspberry\_Pi\_SKU\_DFR0428*”, disponível em:  
[https://wiki.dfrobot.com/3.5\\_inches\\_TFT\\_Touchscreen\\_for\\_Raspberry\\_Pi\\_SKU\\_DFR0428](https://wiki.dfrobot.com/3.5_inches_TFT_Touchscreen_for_Raspberry_Pi_SKU_DFR0428), consultado em 25 de março de 2023.

# Anexos



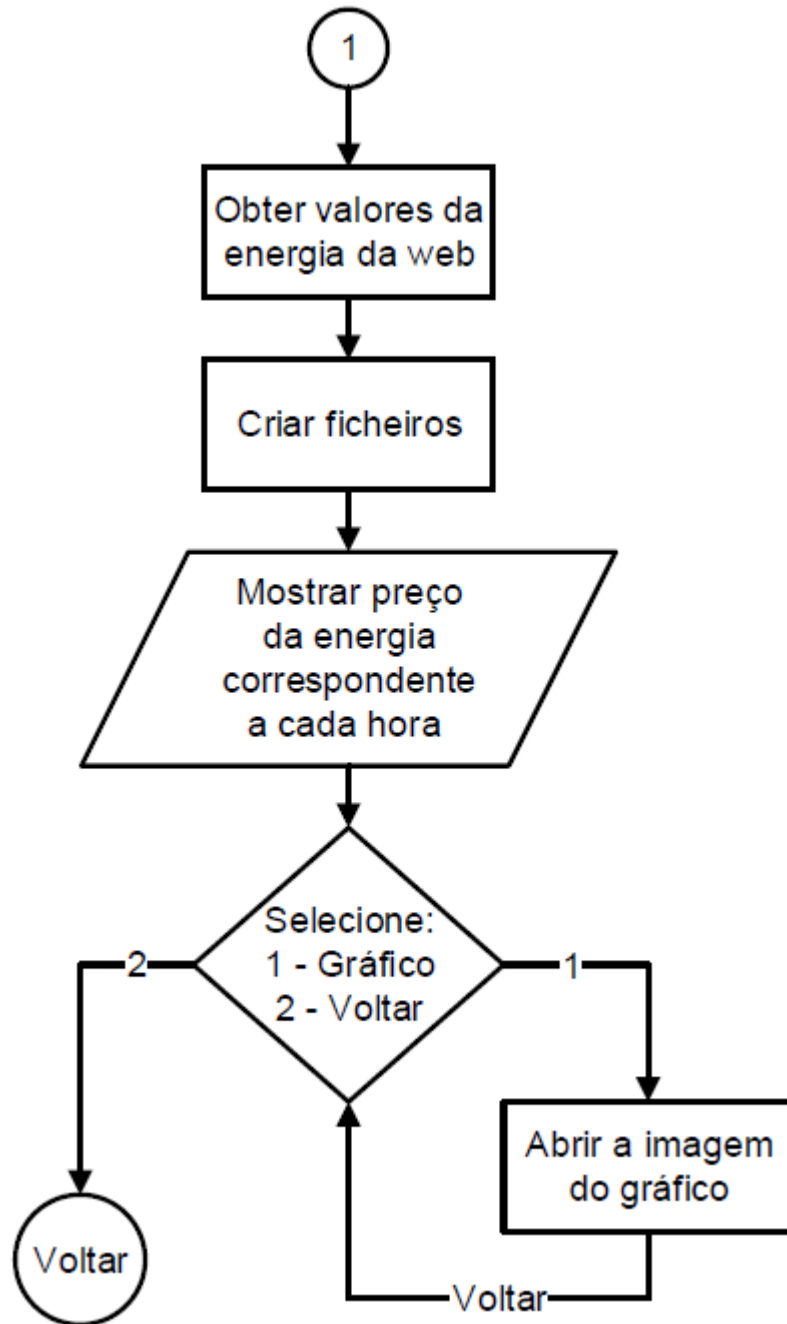
## ANEXO 1 – FLUXOGRAMA PRINCIPAL





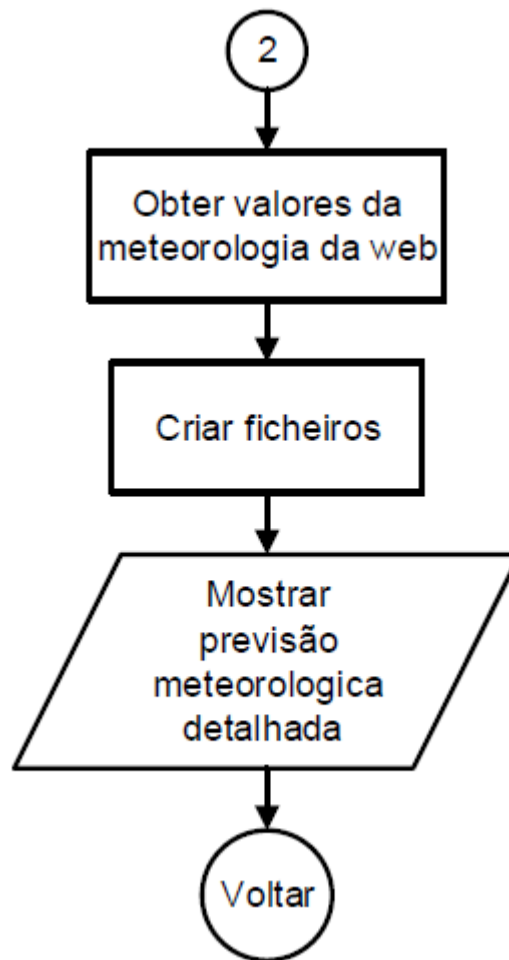


## ANEXO 2 – FLUXOGRAMA ENERGIA



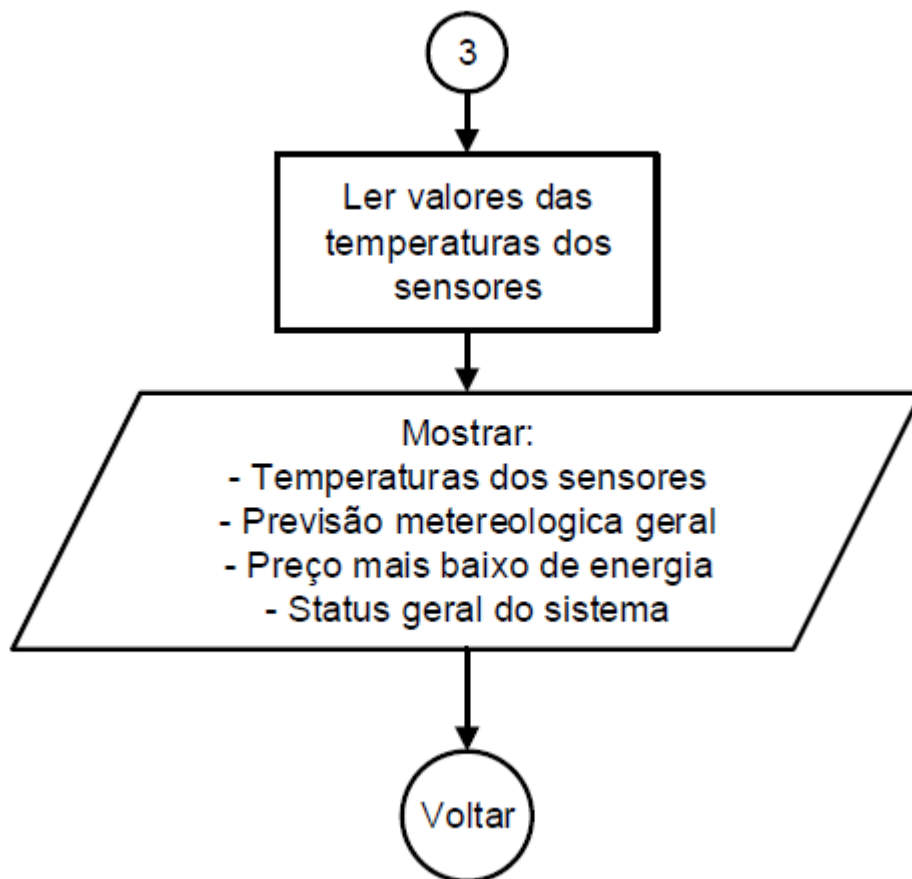


### ANEXO 3 – FLUXOGRAMA METEOROLOGIA



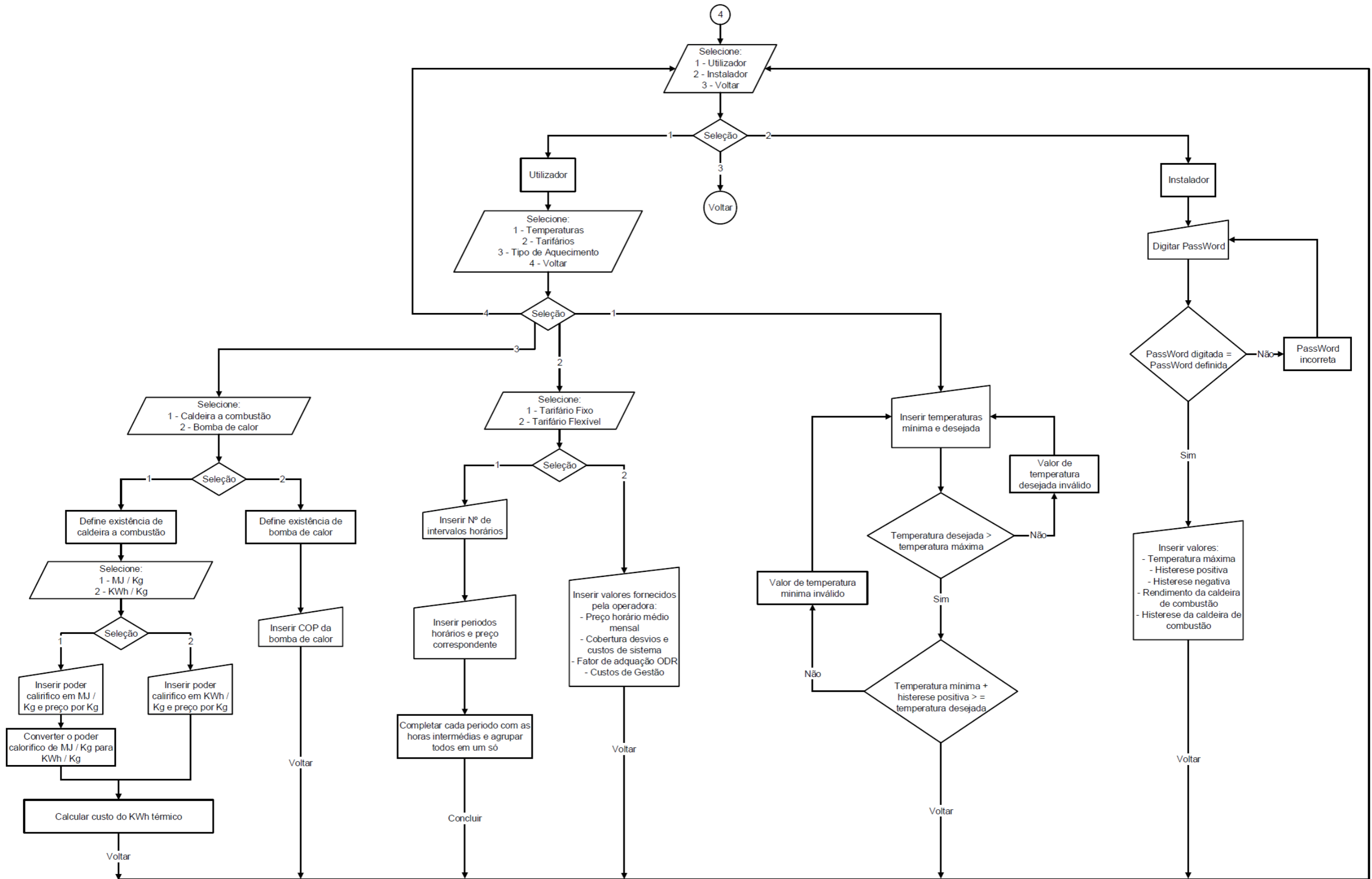


## ANEXO 4 – FLUXOGRAMA *STATUS*





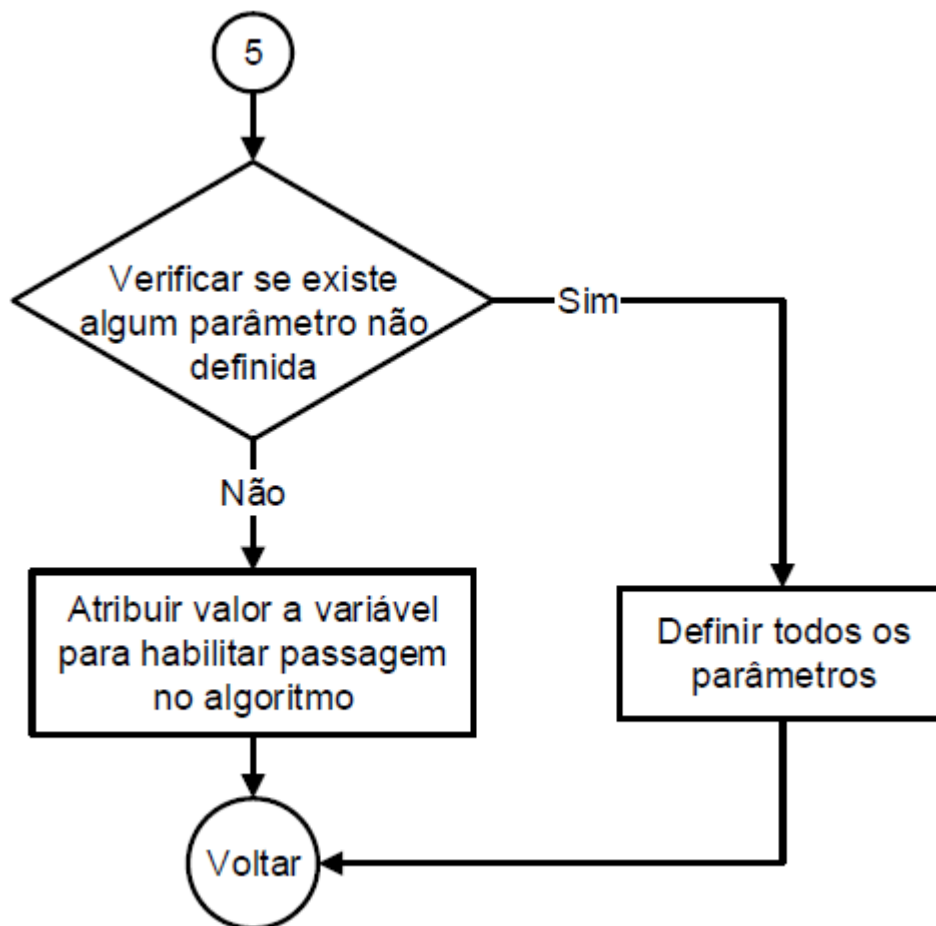
## ANEXO 5 – FLUXOGRAMA CONFIGURAÇÕES





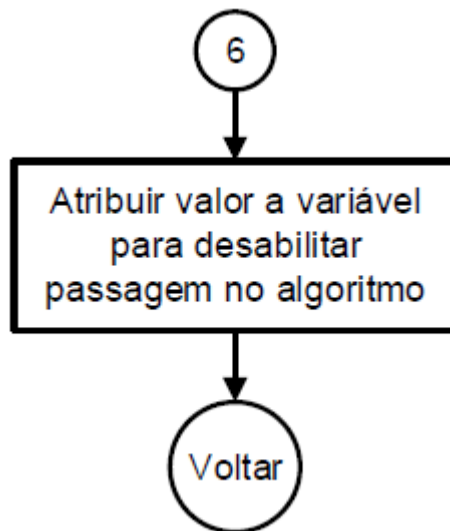


## ANEXO 6 – FLUXOGRAMA INICIAR





## ANEXO 7 – FLUXOGRAMA PARAR





# ANEXO 8 – FLUXOGRAMA ALGORITMO

