

Mini-Estufa para estudos em ambientes controlados

Mykhaylo Kazak, nº 20191170

Orientador

Professor Rogério Dionísio, PhD



Projeto Final de curso apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários para o grau de Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e das Telecomunicações, realizado sob a orientação científica do Professor Doutor Rogério Pais Dionísio, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Outubro 2024

Composição do júri

Presidente do júri

Rogério Pais Dionísio

Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Vogais

Paula Cristina Alves Pereira

Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Pedro Miguel Baptista Torres

Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Dedicatória

Agradecimentos

Agradeço desde já por ter a oportunidade de fazer um projeto de tema livre, o que me oferece desafios que não se encontram em projetos que foram feitos previamente.

Agradeço também à escola e aos professores por me terem permitido desenvolver as minhas capacidades num ambiente desafiador com oportunidades para crescer.

Resumo

O presente relatório descreve o percurso desde o estudo das necessidades para uma máquina para o controlo de fatores ambientais, a pesquisa de materiais e componentes para as ditas necessidades, o processo de montagem e programação e alguns testes para verificar a qualidade do produto.

A máquina, denominada de mini-estufa, pretende ser uma ferramenta para pesquisas científicas em ambientes controlados para a realização de experimentos e análises detalhadas sobre pequenas plantas, fungos ou outros seres vivos de pequena dimensão, assim como tarefas em que envolvam a necessidade de manter um ambiente controlado e não em espaço aberto não controlado.

Palavras chave

Raspberry Pi, Python, Automação, Sensorização de estufa, Ambiente controlador

Abstract

This report outlines the development of a mini-greenhouse designed to provide a controlled environment for scientific research. From identifying the specific environmental factors to be controlled to the final testing phase, this document details the entire design and development process. The mini-greenhouse is intended for applications such as cultivating small plants, conducting fungal studies, and other experiments requiring precise environmental conditions.

Keywords

Raspberry Pi, Python, Automation, Greenhouse Sensorization, Controlled Environment

Índice geral

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	1
1.2	Análise de requisitos	1
2	Metodologia	3
2.1	Hardware	3
2.1.1	Raspberry Pi Módulo Computacional 4.....	3
2.1.2	Módulo Computacional 4 I/O Board.....	4
2.1.3	Adaptador Groove para Raspberry Pi.....	5
2.1.4	12-bit PWM driver (PCA9685)	6
2.1.5	LCD Touch Display.....	7
2.1.6	Fonte de alimentação DC.....	8
2.1.7	Módulo de relés estado sólido	9
2.1.8	Relé 12V.....	10
2.1.9	Sensor de qualidade do ar, temperatura e humidade do ar	11
2.1.10	Sensor de luz espectrográfico.....	12
2.1.11	Opto acoplador	13
2.1.12	Mosfet de alta corrente	14
2.1.13	Fonte de alimentação bipolar/simétrica.....	15
2.1.14	Fonte de alimentação 5V	16
2.1.15	Fitas LED.....	17
2.1.16	Luzes de crescimento	18
2.1.17	Humidificador.....	19
2.1.18	Bomba de rega.....	20
2.1.19	Ventoinhas 24V	21
2.1.20	Resistência adesivo de aquecimento	22
2.2	Estrutura da Mini-Estufa.....	23
2.3	Software	23
2.3.1	Ferramentas utilizadas	23
2.3.2	Programa implementado	27
2.3.3	Desenho de PCB's.....	30
2.4	Construção do protótipo	31

2.5	Discussão de resultados.....	42
3	Conclusão.....	43
3.1	Trabalho futuro	43
Anexos.....		45
Anexo 1	– Esquema elétrico da PCB de sensores ambientais.....	45
Anexo 2	– Camada superior da PCB de sensores ambientais	46
Anexo 3	– Camada inferior da PCB de sensores ambientais	47
	Esquema Elétrico Principal do Projeto.....	48

Índice de figuras

Figura 1 - Diagrama de blocos	2
Figura 2 - Raspberry Pi módulo computacional 4 - frente.....	3
Figura 3 - Raspberry Pi módulo computacional 4 - verso.....	4
Figura 4 - Compute Module 4 I/O Board	4
Figura 5 - Adaptador Groove para Raspberry Pi	5
Figura 6 - Driver PWM PCA9685	6
Figura 7 - LCD display	7
Figura 8 - Fonte de Alimentação DC	8
Figura 9 - Módulo de relés.....	9
Figura 10 - Base para relé.....	10
Figura 11 - Relé.....	10
Figura 12 - Módulo desenvolvimento, sensores ENS160+AHT21	11
Figura 13 - Sensor espectrográfico AS7343	12
Figura 14 - Matriz do sensor / Resposta unitária de cada canal.....	12
Figura 15 - Opto acoplador e esquema elétrico	13
Figura 16 - Mosfet IRFZ44N.....	14
Figura 17 - Fonte de alimentação bipolar/simétrica	15
Figura 18 - Conversor DC/DC de 5V.....	16
Figura 19 - Fita LED	17
Figura 20 - Kit de micro-estufa.....	18
Figura 21 - Módulo de luz e crescimento.....	18
Figura 22 - Módulo de humidificação	19
Figura 23 - Sinal de alimentação do piezo.....	19
Figura 24 - Bomba gota-a-gota	20
Figura 25 - Ventoinha 24V	21
Figura 26 - Resistência adesivo de aquecimento	22
Figura 27 - Estrutura base do projeto.....	23
Figura 28 - Sublime Text 4	24
Figura 29 - Autodesk Fusion.....	25
Figura 30 - Cura	25
Figura 31 - WinSCP.....	26
Figura 32 - EasyEDA	27
Figura 33 - PCB dos sensores ambientais	30
Figura 34 - Raspberry Pi Imager.....	31
Figura 35 - Customização do Sistema Operativo.....	32
Figura 36 - Interface Gráfica.....	34
Figura 37 - Ligação entre os sensores e o módulo computacional.....	34
Figura 38 - Interface gráfica com valores de sensores.....	35
Figura 39 - Tábua base para a eletrônica - fase 1	36
Figura 40 - Impressão dos espaçadores Figura 41 - Espaçador em programa 3D	36
Figura 42 - Tábua-base para a eletrônica - fase 2	37
Figura 43 - Varões roscados para suspensão da tábua-base	37

Figura 44 – Perfurações para a instalação de luzes de crescimento.....	38
Figura 45 / Perfuração para instalação da ventoinha	38
Figura 46 - Perfuração para instalação de braçadeiras para as fitas LED	39
Figura 47 - Resistências de aquecimento adesivo na base do interior da estufa.....	39
Figura 48 - Sensores em protoboard.....	40
Figura 49 - Sensores fixos na estrutura	40
Figura 50 - Vista lateral da estrutura com o display instalado	41
Figura 51 - Bomba de rega e humidificador	41
Figura 52 - Interface gráfica com manipulação de fatores ambientais.....	42

Índice de símbolos

Lista de tabelas

Tabela 1 - AQI, índice de qualidade do ar	11
---	----

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

ADC	Analog to Digital Converter
AQI	Air Quality Index
CO ₂	Dióxido de Carbono
DIN	Deutsches Institut für Normung – Instituto Alemão de Normalização
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
I ² C	Inter-Integrated Circuit
LCD	Liquid Crysstal Display
LED	Diodo de emissão de luz
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
<i>mW/m²</i>	Miliwatt por metro quadrado
NIR	Near Infra Red
OS	Sistema Operativo
PCB	Printed Circuit Board
Ppm	Partes por Milhão
PWM	Pulse Width Modulation
RTC	Real Time Clock
TVOC	Total Volatile Organic Compost
USB	Universal Seria Bus
V	Volts

1 Introdução

Com a pandemia do COVID, muitas empresas optaram por emprego remoto para os seus funcionários. Com tantas pessoas confinadas nas suas casas, tornasse aborrecido ver as mesmas paredes todos os dias, com poucas chances de sair à rua. A ideia surgiu nessa altura, uma atividade complexa o suficiente para entreter e simples o suficiente para não desencorajar. Tinha de ser algo que fosse possível para qualquer casa, com poucas dependências externas.

Uma mini-estufa! Um pequeno ambiente controlado para crescer pequenas plantas, ou outras atividades que necessitem de condições ambientais específicas, como, por exemplo, atividades nas aulas de biologia.

1.1 Objetivos

O objetivo deste projeto é a criação de um dispositivo relativamente pequeno para ser possível manter em casa, especialmente em apartamentos onde o espaço pode ser limitado, e controlar aspetos do ambiente nele contido, nomeadamente, a temperatura, a humidade, a luminosidade e o movimento do ar. Um sistema de controlo de rega também será integrado caso necessário.

O dispositivo será controlado a partir de uma interface gráfica, onde serão apresentados valores correspondentes a cada condição ambiental, introdução de valores e/ou receitas para o controlo dos valores, consumo de água e consumo energético também será possível de ler.

1.2 Análise de requisitos

Para chegar aos objetivos, será necessário ter sensores e atuadores para controlar o ambiente com o menor erro possível, assim como uma forma de decidir nos sinais enviados aos atuadores com base nos valores adquiridos pelos sensores. O processamento dessas decisões será totalmente local no Raspberry Pi [1].

Para uma fase inicial serão necessários sensores de temperatura, humidade, luminosidade e qualidade de ar como sensores, para atuadores serão usados papéis resistivos de aquecimento, ventoinhas para arrefecimento e renovação de ar, luzes (LED) quentes, frias e de crescimento e um atomizador para introduzir humidade no ar.

As luzes LED de crescimento serão variadas com sinais PWM, produzidas a partir de um driver PWM, que por sua vez irão controlar um MOSFET onde estão ligados os LED's.

Para além das comunicações I2C, todas as interações entre o Raspberry Pi e os restantes componentes, serão separados por optocouplers, devido às diferenças de tensões.

Na seguinte figura apresenta-se um diagrama de blocos da solução que se pretende implementar.

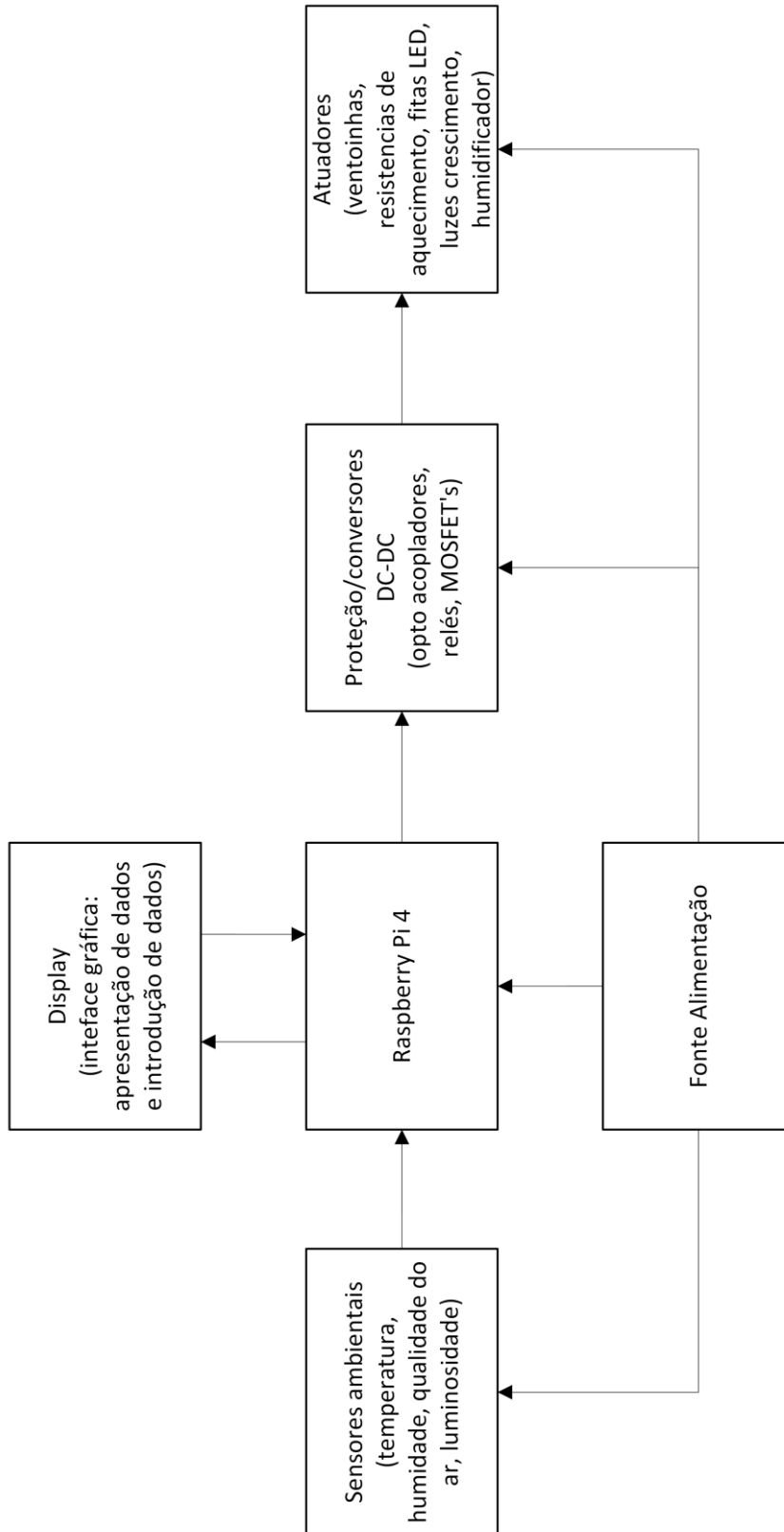


Figura 1 - Diagrama de blocos

2 Metodologia

O projeto proposto será desenvolvido de volta do modelo computacional 4 da Raspberry Pi em Linux com programação em python3, com processamento local de todos os aspetos do dispositivo. Sendo este projeto o primeiro do seu tipo na escola, não há muita documentação sobre estes tópicos, este relatório poderá também ser considerado um guia caso outros alunos queiram produzir projetos semelhantes.

Outros módulos fórum usados para o restante projeto, como sensores, atuadores e conversores DC-DC. Sensores para ler fatores ambientais, atuadores para introduzir mudanças nos fatores ambientais, e conversores DC-DC para proteger os circuitos de baixa tensão/corrente de circuitos de alta tensão/corrente.

2.1 Hardware

2.1.1 Raspberry Pi Módulo Computacional 4

Os microcomputadores da Raspberry Pi são famosos por serem fáceis de serem integrados em vários sistemas, desde simples monitores para anúncios até complexos sistemas industriais de grande escala.

Neste projeto será usado o módulo computacional 4, representado pela Figura 2 e Figura 3, mais precisamente a versão com 32GB de memória interna e 4GB de memória RAM. Equipado com dois conectores HDI (high-density interconnect) de 100 pinos cada, possui capacidade para ser integrado numa PCB personalizada de acordo com as necessidades de cada projeto. Neste caso será usado a placa de desenvolvimento da Raspberry Pi, o I/O Board.

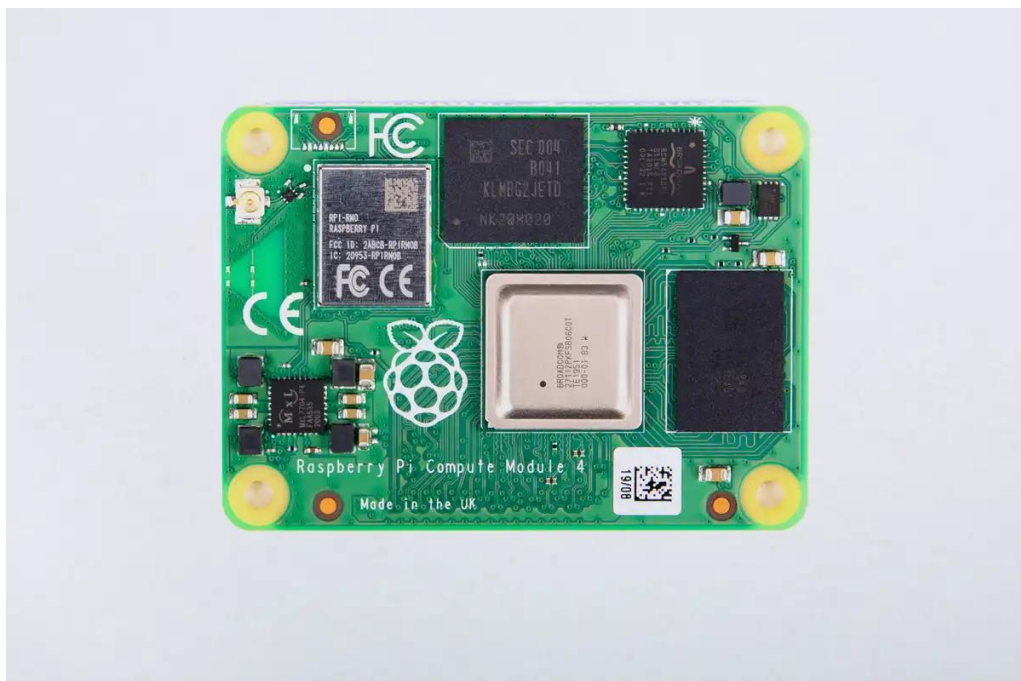


Figura 2 - Raspberry Pi módulo computacional 4 - frente

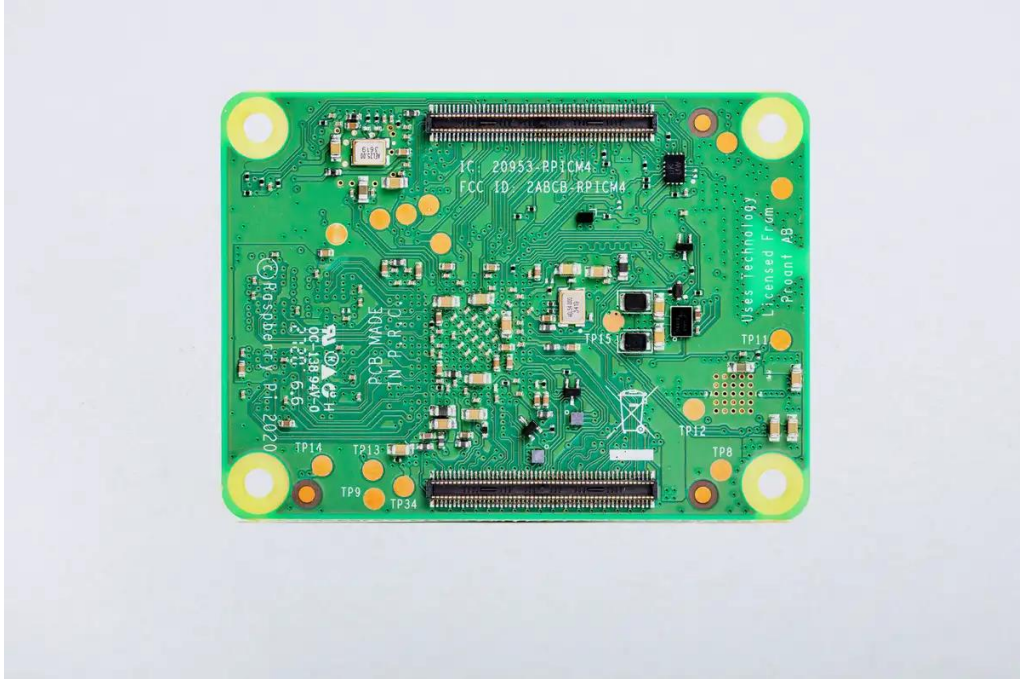


Figura 3 - Raspberry Pi módulo computacional 4 - verso

2.1.2 Módulo Computacional 4 I/O Board

A placa de desenvolvimento para o módulo computacional 4, é a placa mais ideal para prototipagem de sistemas, pois possui todos os conectores básicos que são geralmente usados, como portas USB, portas HDMI, porta de rede, e no caso de Raspberry Pi's, os 40 pinos externos para acesso a outros sistemas eletrônicos, como visto na Figura 4.

Neste projeto iremos também usar o relógio da placa (RTC), para manter a hora certa, mesmo que o sistema seja desconectado da alimentação, iremos também usar um adaptador para conectores Groove para facilidade e simplicidade entre alguns sistemas eletrônicos externos.

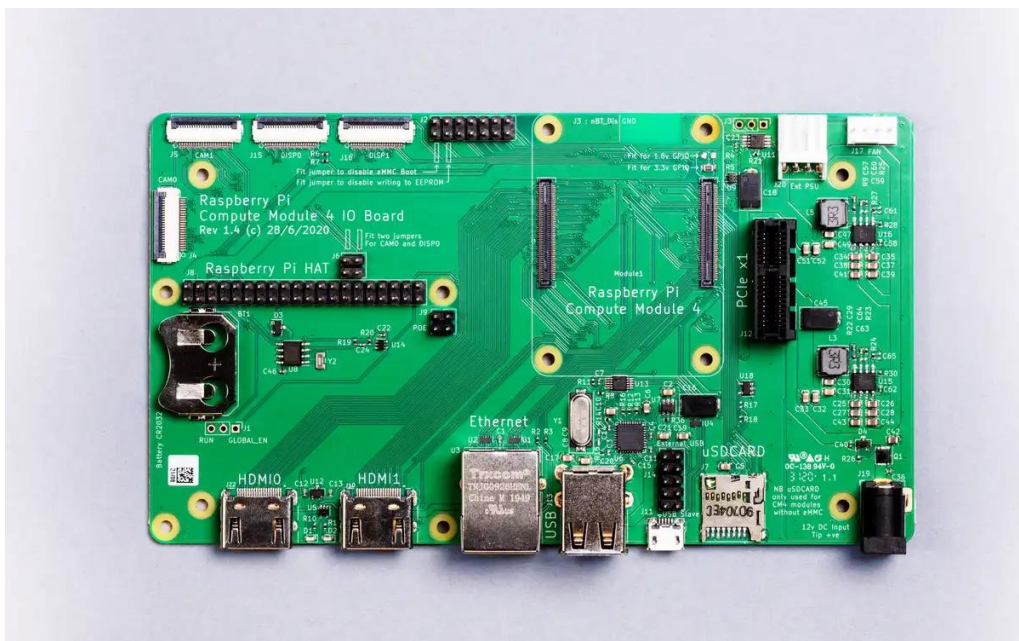


Figura 4 - Compute Module 4 I/O Board

2.1.3 Adaptador Grove para Raspberry Pi

Esta placa, representada pela Figura 5, é adequada para quando se usa módulos Grove em conjunto com um Raspberry Pi, pois os 40 pinos 'nus' são convenientemente convertidos para fichas Grove. Sinais como I2C, UART, PWM, assim como sinais digitais e entradas para ADC's são os tipos de ligações que serão adaptados a partir dos pinos do Raspberry Pi.

As entradas ADC são uma adição extra do adaptador, o integrado responsável pelos pinos do ADC está presente no adaptador e devolve apenas valores finais ao Raspberry Pi por comunicação I2C, o Raspberry Pi não possui ADC acessível, pois este já é usado para gerenciamento de alimentações internas.

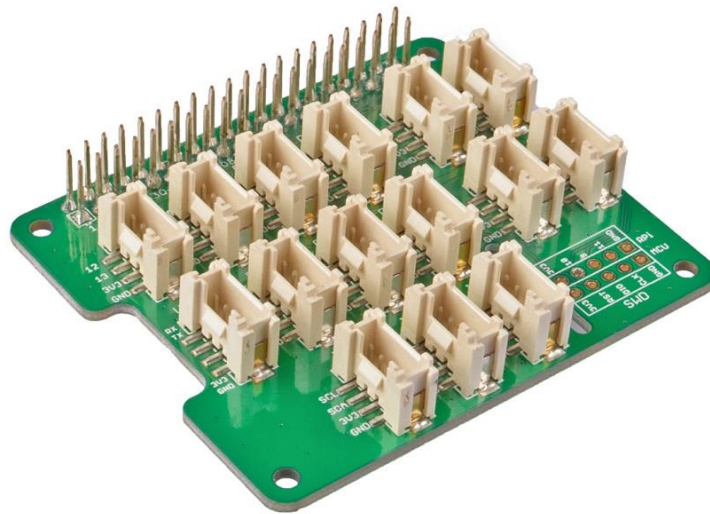


Figura 5 - Adaptador Grove para Raspberry Pi

2.1.4 12-bit PWM driver (PCA9685)

Este driver de 16 canais de 12 bits, apresentado na Figura 6, baseado no integrado PCA9685, será usado para criar os sinais PWM para controlar a intensidade de luz das luzes de crescimento. O driver é controlado por uma comunicação I2C.

O driver tem 16 canais, mas é possível ter mais drivers em série caso sejam necessários mais canais, basta fechar o circuito presente nos terminais A0 a A5 para criar endereços I2C novos mesmo que seja o mesmo integrado, com o máximo de 64 drivers com endereços diferentes.

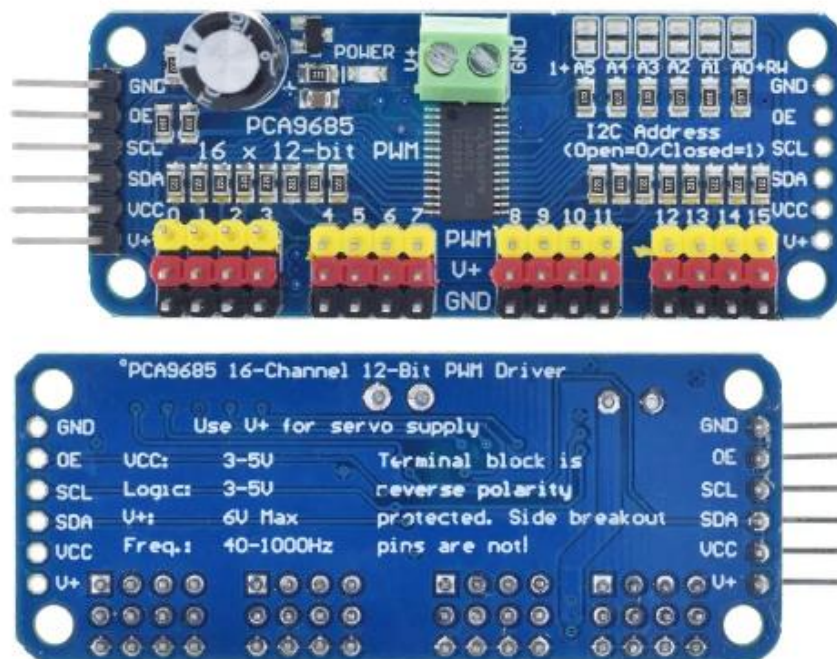


Figura 6 - Driver PWM PCA9685

2.1.5 LCD Touch Display

LCD usado para apresentar resultados e controlar aspetos da estufa. O display tem resolução de 800 por 480 com touchscreen resistivo, tem conector HDMI para a transmissão de imagem e micro-USB para corrente e comunicação com o touchscreen.

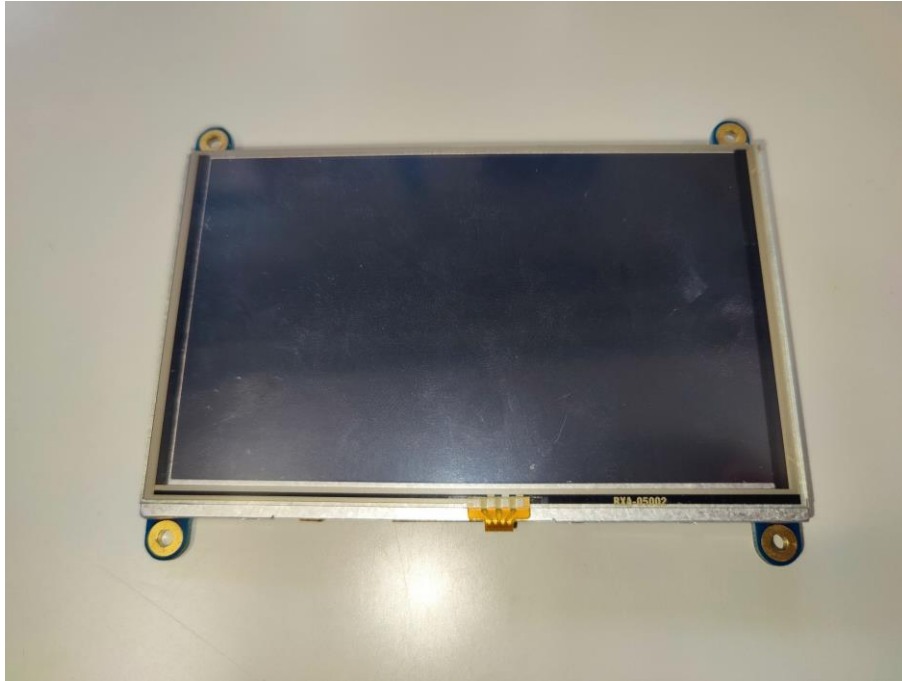


Figura 7 - LCD display

O LCD, Figura 7, é produto da Adafruit[2], o sistema touchscreen é reconhecido como um rato pelo sistema operativo, o que dispensa a necessidade de instalar um driver específico.

2.1.6 Fonte de alimentação DC

Fonte DC responsável por alimentar todos os componentes DC do sistema. Produz 12V com potência máxima de 400W.



Figura 8 - Fonte de Alimentação DC

2.1.7 Módulo de relés estado sólido

O módulo de 8 relés de estado sólido, representado pela Figura 9, são os relés que serão usados para cargas AC, controlados por sinais de 5V, aproveitando o facto de que não produzem ruídos ao serem acionados, havia a ideia de criar sinais dimer para as fitas LED, produzindo diferentes intensidades de luz.



Figura 9 - Módulo de relés

2.1.8 Relé 12V

Este conjunto de relé e base de relé para calha DIN, Figura 11 e Figura 10, foi usado para ativar as ventoinhas de 24V.



Figura 11 - Relé



Figura 10 - Base para relé

2.1.9 Sensor de qualidade do ar, temperatura e humidade do ar

O módulo de sensores ENS160 e AHT21, Figura 12, é um módulo de desenvolvimento que foi escolhido por ter os dois sensores na mesma PCB, diminuindo a quantidade de módulos elétricos expostos às variações ambientais da estufa.

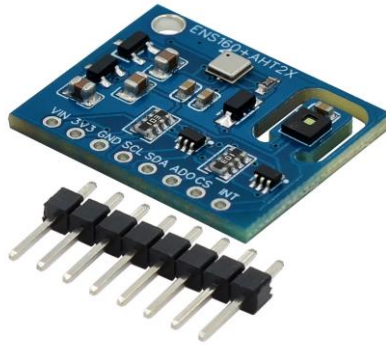


Figura 12 - Módulo desenvolvimento, sensores ENS160+AHT21

Os sensores interagem com o Raspberry Pi através de comunicação I2C.

Os valores que são recolhidos pelo sensor ENS160 são a concentração de CO₂ em ppm, a concentração de TVOC em ppb e AQI, representado pela Tabela 1, numa escala de 1 a 5.

O sensor AHT21 oferece a temperatura e a humidade.

Tabela 1 - AQI, índice de qualidade do ar

Índice	Descrição	Sugestão	Tempo estadia recomendado
5	Extremamente mau	Ventilação muito forte	Não recomendado
4	Mau	Ventilação forte	Menos de um mês
3	Moderado	Ventilação moderada	Menos de 12 meses
2	Bom	Ventilação ligeira	Indefinido
1	Excelente	-----	Indefinido

2.1.10 Sensor de luz espectrográfico

Será também usado um sensor espectrográfico para determinar a intensidade de luz de cada cor que será necessário para a atual tarefa.

A Figura 13 **Error! Reference source not found.** apresenta o módulo de desenvolvimento do sensor AS7343, que irá providenciar a intensidade de luminosidade, em mW/m^2 . O sensor tem 13 canais individuais, 11 na gama do espectro visível, 1 canal no quase-infravermelho e 1 canal limpo sem filtragem para o valor geral



Figura 13 - Sensor espectrográfico AS7343

da intensidade luminosa.

Na figura seguinte está o posicionamento dos canais individuais de cada cor presente no sensor. Nos extremos superior e inferior estão os canais NIR, responsável por receber radiação quase-infravermelho, e FD, responsável por detetar o piscar no caso de luzes com sinal AC. Na zona do centro há 4 canais C, que representa o canal sem filtragem de luz, recebendo toda a gama de espectro da luz visível, esse canal fornece o valor de intensidade de luz visível total incidida.

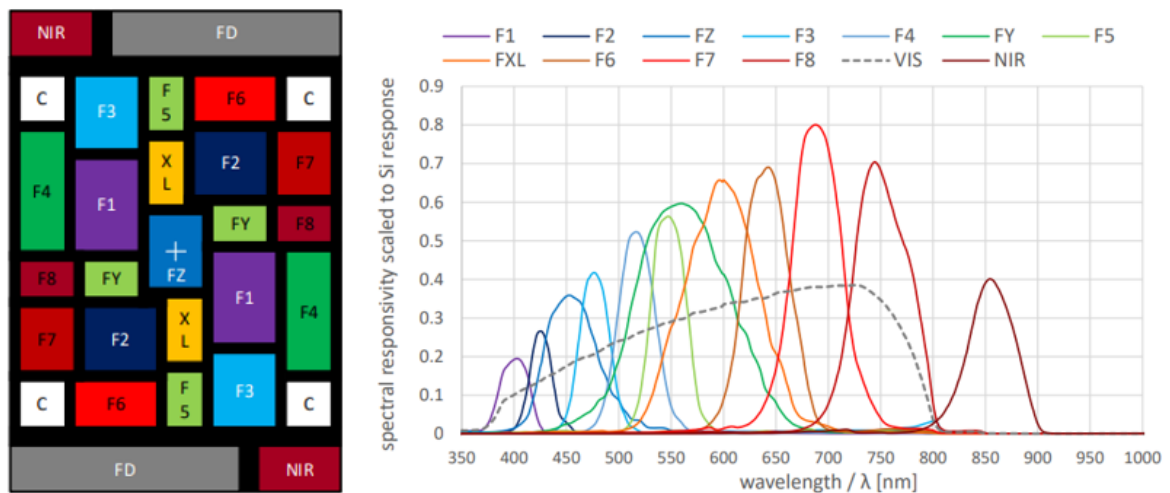


Figura 14 - Matriz do sensor / Resposta unitária de cada canal

2.1.11 Opto acoplador

Um opto acoplador, ou isolador ótico, é um componente capaz de enviar sinais entre circuitos com tensões diferentes, oferecendo isolamento elétrico entre estes, prevenindo o perigo de danificar componentes de tensão baixa com tensão alta. O sinal é transmitido de um circuito para outro através do uso de um LED e um foto transístor, que estão acomodados dentro do integrado.

O opto acoplador irá oferecer isolamento entre os sinais de 3.3V do Raspberry Pi e as restantes tensões dos componentes externos, que são sinais entre 5V e 12V.

O opto acoplador usado no projeto é o EL817C, o LED é conduzido a uma tensão de 1.2V, o que é adequado para os pinos do Raspberry Pi ao ser adicionado uma resistência de 100Ω em série.

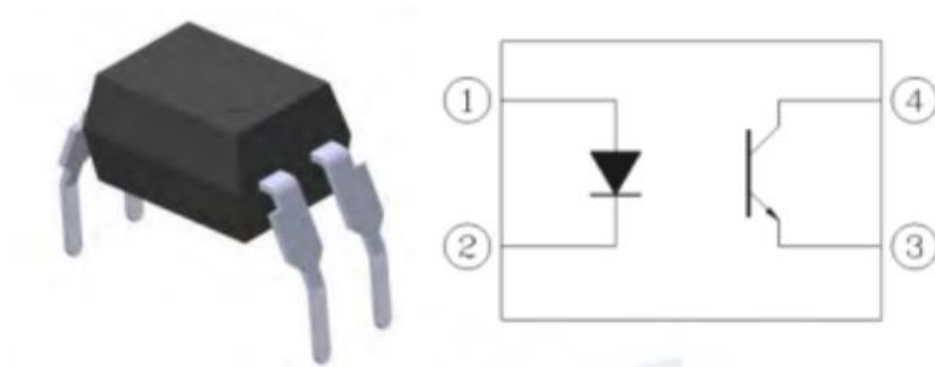


Figura 15 - Opto acoplador e esquema elétrico

2.1.12 Mosfet de alta corrente

Mosfets de alta corrente serão usados para controlar as luzes de crescimento, serão colocados entre o driver PWM e as luzes. O driver PWM tem uma corrente máxima de 25mA, cada módulo de luz de crescimento usa em média 250mA, ligação direta não é adequado, o mosfet é inserido entre o driver e as luzes para conduzir a corrente sem danificar nenhum componente.

O uso do mosfet foi escolhido no lugar do opto acoplador, devido ao tempo de mudança de estado, o mosfet tem um tempo de mudança de estado menor em relação ao opto acoplador.

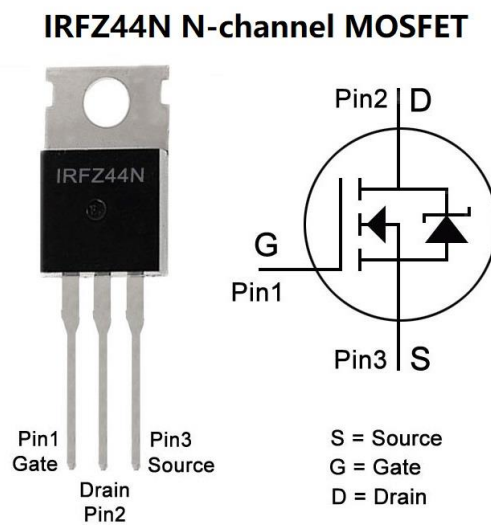


Figura 16 - Mosfet IRFZ44N

2.1.13 Fonte de alimentação bipolar/simétrica

Duas ventoinhas de 24V serão introduzidas, como a fonte de alimentação principal apenas fornece 12V, foi escolhido uma fonte de alimentação bipolar/simétrica que é capaz de produzir duas saídas de +12V e -12V respectivamente. O que será usado como uma fonte de 24V para as ventoinhas.

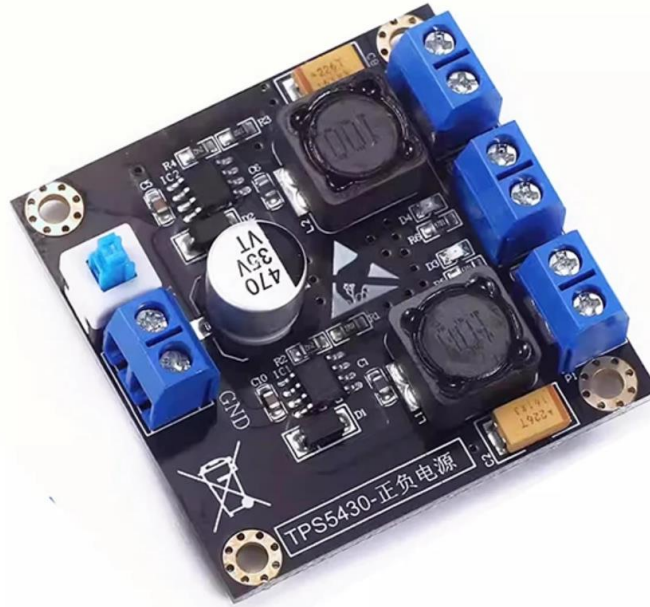


Figura 17 - Fonte de alimentação bipolar/simétrica

2.1.14 Fonte de alimentação 5V

Para alimentar os módulos relé e as luzes de crescimento é preciso uma alimentação de 5V, para isso foi usado um conversor DC/DC para converter os 12V da fonte de alimentação principal.



Figura 18 - Conversor DC/DC de 5V

2.1.15 Fitas LED

Para uma iluminação comum do interior da estufa, serão usados dois tipos de fitas de LED brancas, de cor quente e cor fria respectivamente.

Serão fixas ao longo da borda interior para uma distribuição comum de todos os lados.

As fitas LED são ativas com alimentação AC a 230V.



Figura 19 - Fita LED

2.1.16 Luzes de crescimento

As luzes de crescimento fazem parte de um kit de 5 caixas micro-estufa para a germinação de plantas ou plantas extremamente pequenas. As luzes de crescimento, com facilidade de controlo devido ao simples uso de fichas USB C apenas com alimentação no cabo, foi removido do kit e modificado para a instalação no projeto.

Os módulos de luzes de crescimento possuem cada, 4 LED's brancos, 2 LED's vermelhos e 2 LED's azuis, as cores gerais para serem consideradas luzes de crescimento.

O circuito elétrico tem uma entrada de alimentação para todos os LED's, o que não fornece controlo individual de cada cor. Mas será usado o driver PWM em conjunto com o mosfet para criar diferentes intensidades de iluminação destes módulos

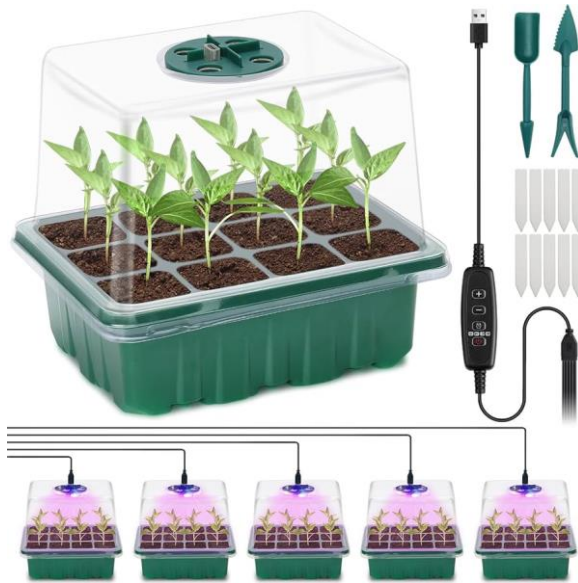


Figura 20 - Kit de micro-estufa

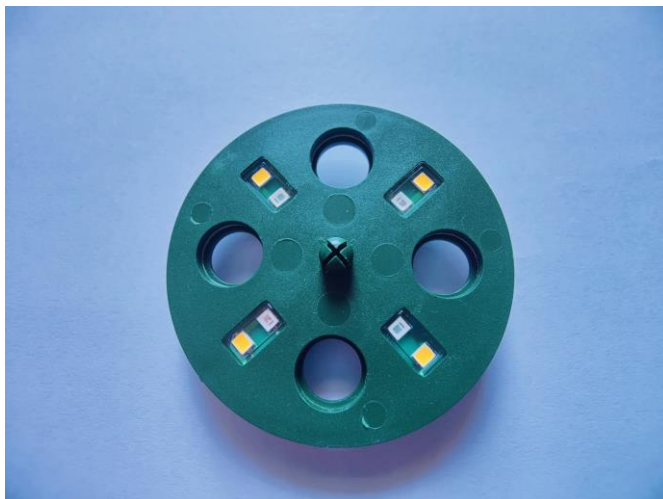


Figura 21 - Módulo de luz e crescimento

2.1.17 Humidificador

Para introduzir humidade no ar, um humidificador será usado, controlado através de comunicação I2C. Ao ser alimentado por um sinal a 102 KHz o humidificador produz vapor de água a partir de um piezo com perfurações extremamente pequenas no seu centro.

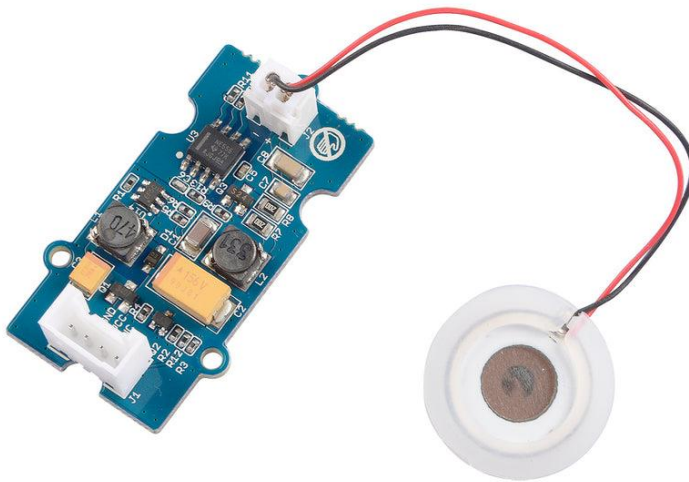


Figura 22 - Módulo de humificação

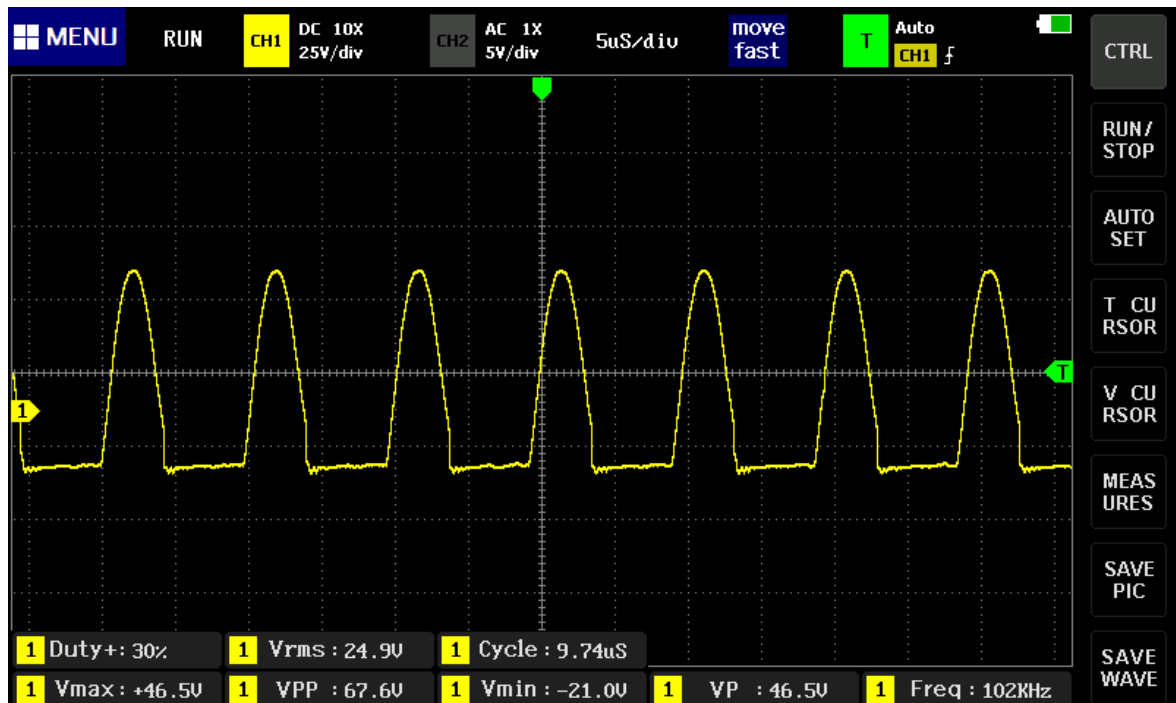


Figura 23 - Sinal de alimentação do piezo

2.1.18 Bomba de rega

Uma bomba de rega conta-gotas foi escolhido para regar as plantas ou outros projetos, caso haja a necessidade de introdução de água.



Figura 24 - Bomba gota-a-gota

2.1.19 Ventoinhas 24V

Duas ventoinhas serão responsáveis pela ventilação do interior da estufa, serão fixas em extremidades opostas com direção de vento diferentes, uma ventoinha irá introduzir ar enquanto a outra irá remover.

Cada ventoinha será controlada por um relé, que por sua vez será controlado por um opto acoplador. A alimentação será fornecida pela fonte de alimentação bipolar/simétrica.



Figura 25 - Ventoinha 24V

2.1.20 Resistência adesivo de aquecimento

Para aquecer o interior da estufa, serão fixas duas resistências adesivo no fundo para criar calor conforme necessário. As resistências são alimentadas com uma tensão de 12V com consumo máximo de 36W com temperatura máxima de 100 °C.

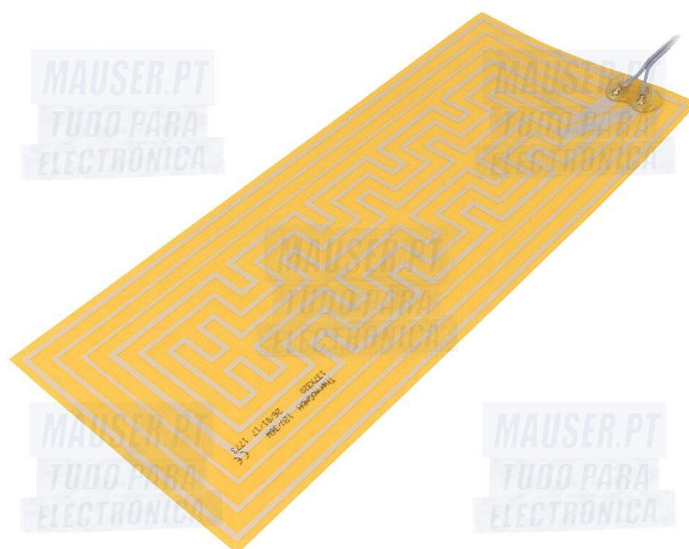


Figura 26 - Resistência adesivo de aquecimento

2.2 Estrutura da Mini-Estufa

Para acomodar todos os componentes e os futuros projetos que serão realizados nele, foi escolhido a caixa-estufa, Figura 27, que esteve à venda no Lidl no começo do segundo semestre.



Figura 27 - Estrutura base do projeto

Modificações foram feitas para serem facilmente instalados todos os componentes e para ser facilmente usado conforme a necessidade se apresente.

Uma tábua foi cortada à medida e instalada no inferior da estufa, suportada por dois varões roscados presos nas pernas.

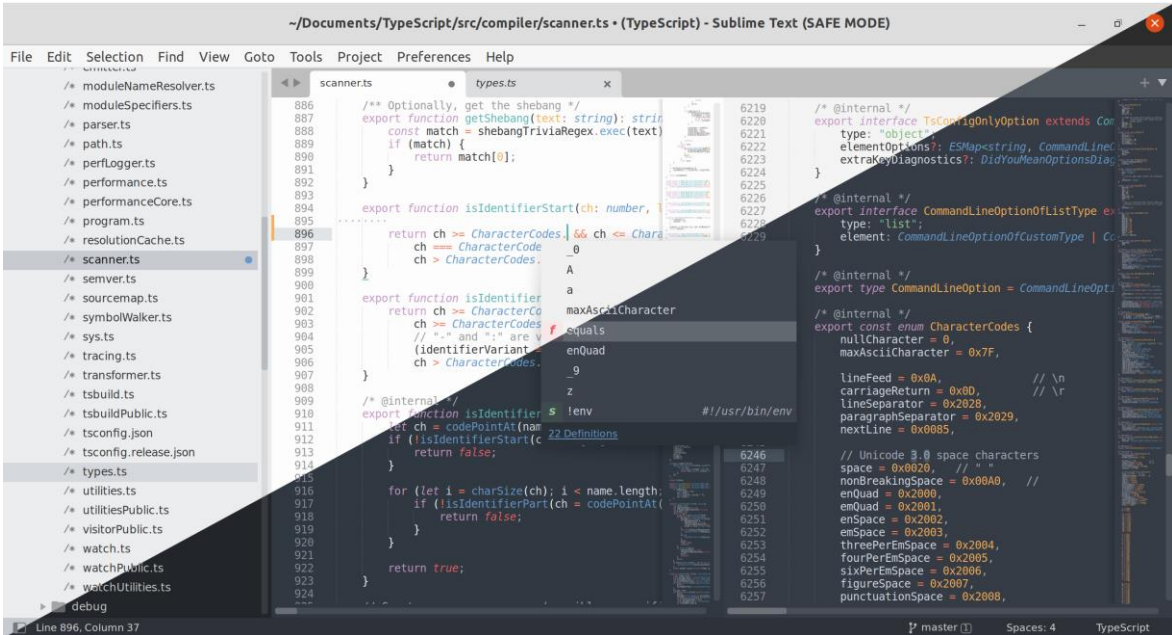
2.3 Software

2.3.1 Ferramentas utilizadas

2.3.1.1 Linux OS

O Sistema Operativo Linux escolhido foi o Raspberry Pi OS de 64bits, pela vasta quantidade de fóruns e tutoriais que existem online para mais facilmente ser adaptado a cada projeto que possa ser desenvolvido. Algumas bibliotecas já vêm integradas no OS o que facilita a implementação do programa.

2.3.1.2 Sublime Text 4



The screenshot shows the Sublime Text 4 editor interface. The title bar indicates the file path: `~/Documents/TypeScript/src/compiler/scanner.ts • (TypeScript) - Sublime Text (SAFE MODE)`. The menu bar includes File, Edit, Selection, Find, View, Goto, Tools, Project, Preferences, and Help. The left sidebar shows a file explorer with a list of files including `moduleNameResolver.ts`, `moduleSpecifiers.ts`, `parser.ts`, `path.ts`, `perfLogger.ts`, `performance.ts`, `performanceCore.ts`, `program.ts`, `resolutionCache.ts`, `scanner.ts` (selected), `semver.ts`, `sourcemap.ts`, `symbolWalker.ts`, `sys.ts`, `tracing.ts`, `transformer.ts`, `tsbuild.ts`, `tsbuildPublic.ts`, `tsconfig.json`, `tsconfig.release.json`, `types.ts`, `utilities.ts`, `utilitiesPublic.ts`, `visitorPublic.ts`, `watch.ts`, `watchPublic.ts`, and `watchUtilities.ts`. The main editor area displays TypeScript code for the `scanner.ts` file. The code includes comments, function definitions like `getShebang`, `isIdentifierStart`, and `isIdentifier`, and a list of Unicode 3.0 space characters. The status bar at the bottom shows "Line 896, Column 37", "master", "Spaces: 4", and "TypeScript".

Figura 28 - Sublime Text 4

Foi usado o editor de texto sofisticado “Sublime Text 4” para criar o ficheiro Python para controlar os vários módulos da estufa. O programa é capaz de criar vários temas de cores e detetar os erros necessários para vários tipos de linguagem de programação.

2.3.1.3 Autodesk Fusion + Cura

Autodesk Fusion foi usado para criar uns espaçadores para a instalação de PCB's numa tábua de madeira. Cura foi usado para converter os ficheiros 3D em comandos G-code, comandos usados em máquinas CNC ou impressoras 3D para translação e outras tarefas de maquinarias de acordo com as especificações presentes nestas.

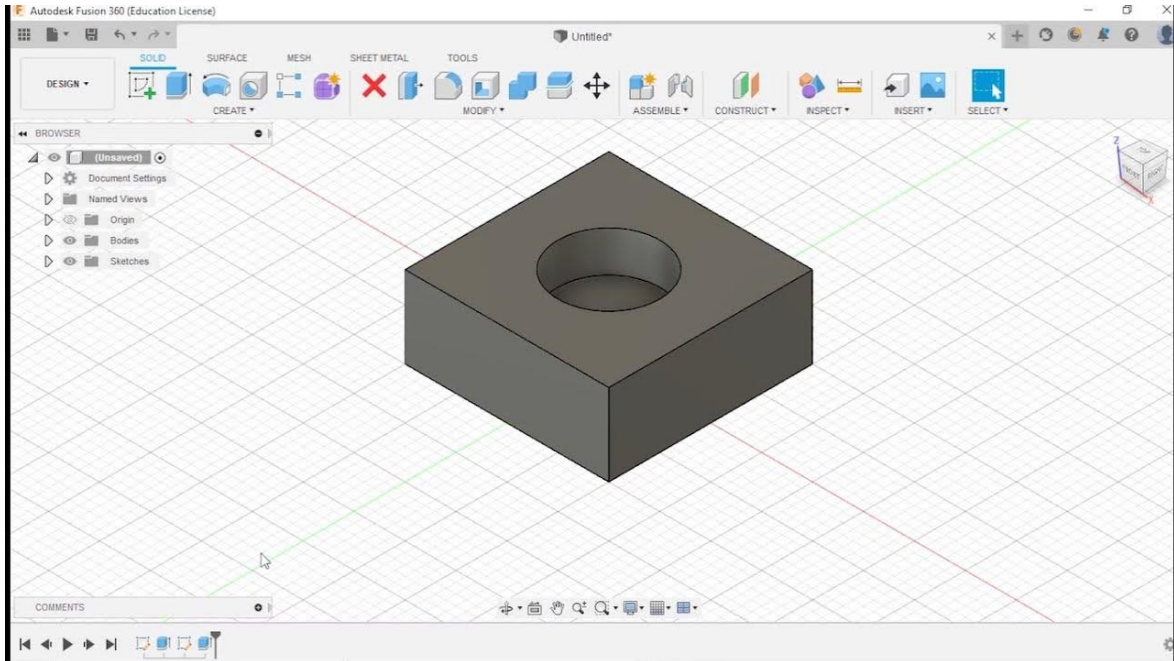


Figura 29 - Autodesk Fusion

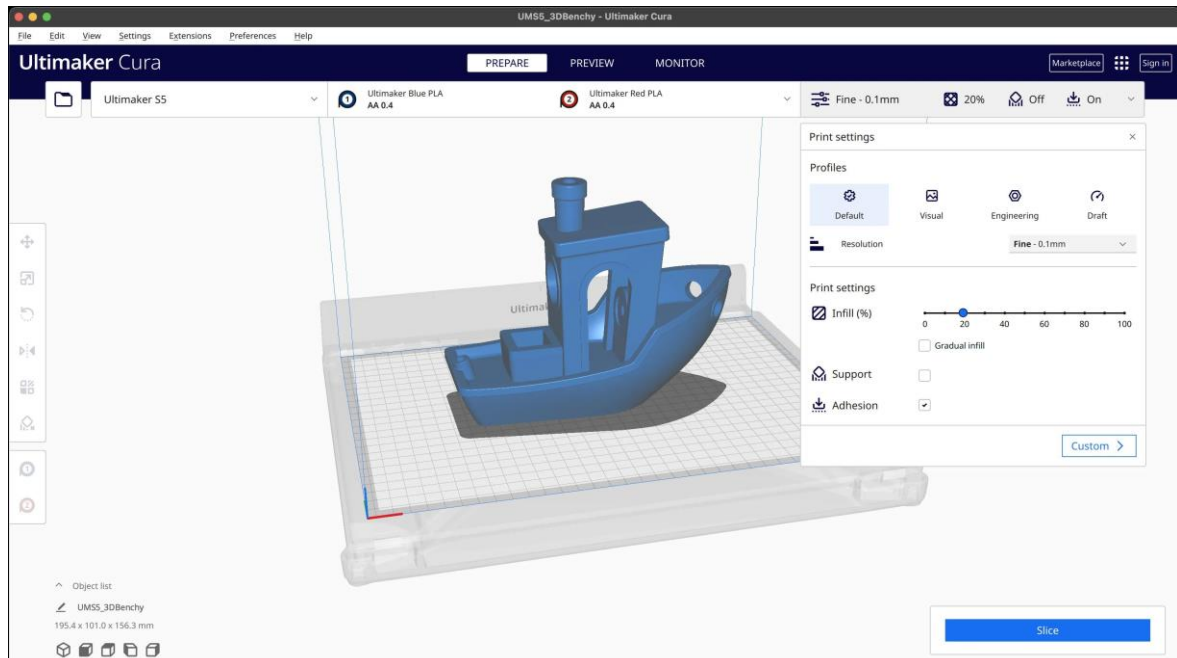


Figura 30 - Cura

2.3.1.4 WinSCP

Um programa de acesso remoto foi usado para aceder e modificar ficheiros e pastas do módulo computacional, oferecendo maior facilidade para modificar os ficheiros python com um IDE adequado em comparação com um editor de texto que se encontra presente numa linha de comandos.

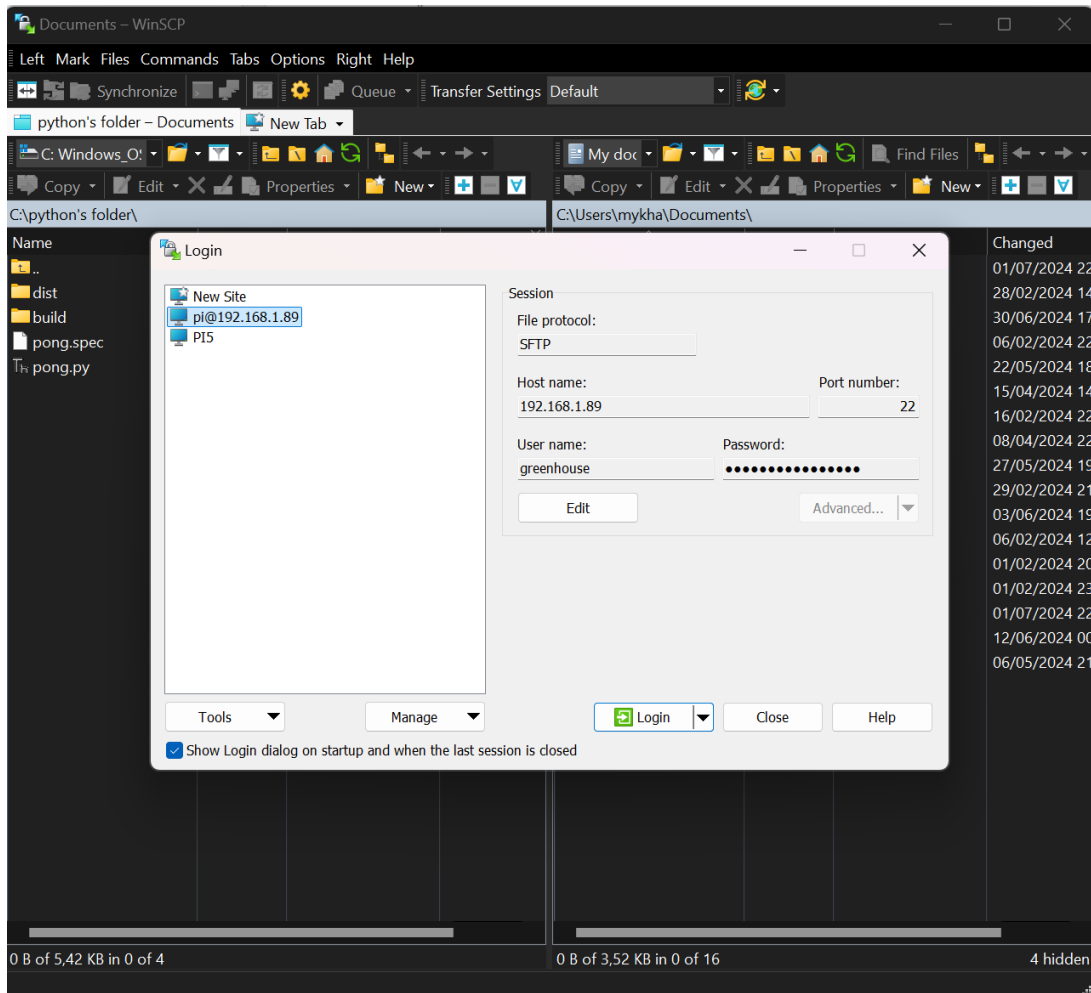


Figura 31 - WinSCP

2.3.1.5 Linguagem de Programação

Python[3] foi usado pela facilidade de uso, desde a interface gráfica e controlo do sistema operativo Linux, até comunicações I2C e o controlo individual de pinos externos

2.3.1.6 Ferramenta de desenho de PCB's

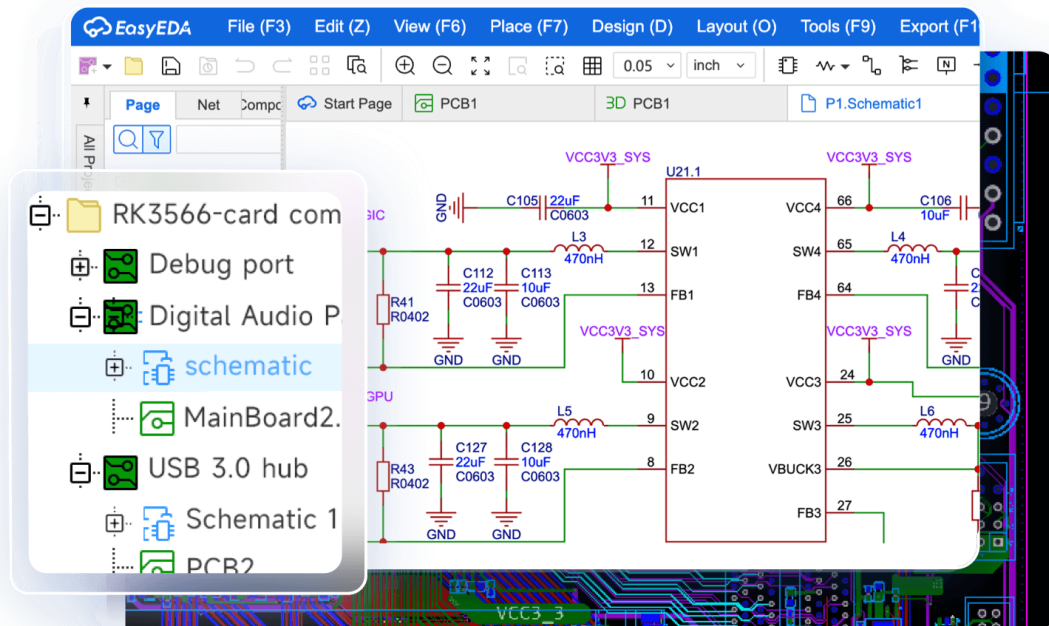


Figura 32 - EasyEDA

EasyEDA foi usado para desenhar uma placa personalizada para os sensores, mas a criação da placa será para trabalhos futuros.

EasyEDA tem acesso a componentes diretamente de repositórios online como JLCPCB, LCSC e OSHWLAB, o que facilita depois na produção da PCB.

2.3.2 Programa implementado

2.3.2.1 Bibliotecas Utilizadas

2.3.2.1.1 'os', 'sys', 'subprocess', 'time', 'boad'

Bibliotecas usadas para interagir com o OS e com o hardware. Especificamente para reiniciar ou encerrar o programa/máquina, obter o tempo real e interagir com protocolos de comunicação.

2.3.2.1.2 'Rpi.GPIO'

Biblioteca para interagir com os pinos individuais do Raspberry Pi.

2.3.2.1.3 'tkinter'

Biblioteca para criar a interface gráfica.

2.3.2.1.4 'pyautogui'

Biblioteca usada para mover o cursor, para remover o realce de botões.

2.3.2.1.5 'matplotlib.pyplot'

Biblioteca para criar gráficos.

2.3.2.1.6 'matplotlib.figure'

Biblioteca para manipular gráficos.

2.3.2.1.7 'matplotlib.backends.backend_tkagg'

Biblioteca para integrar gráficos em interfaces tkinter.

2.3.2.1.8 'aht'

Biblioteca para controlar o sensor de temperatura e humidade AHT21.

2.3.2.1.9 'adafruit_ens160'

Biblioteca para controlar o sensor de qualidade de ar, CO2 e TVOC ENS160.

2.3.2.1.10 'as7343'

Biblioteca para controlar o sensor espectrográfico AS7343.

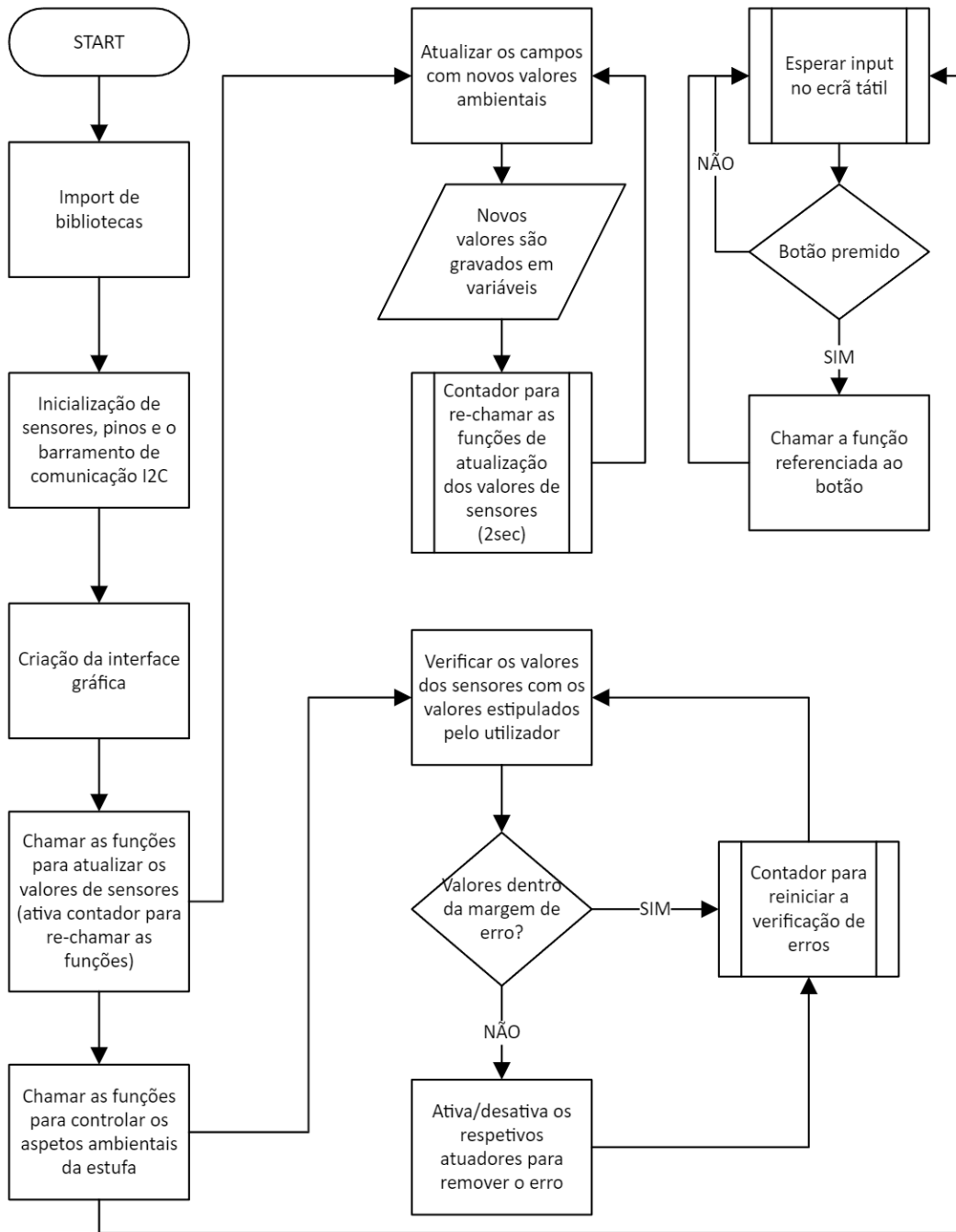
2.3.2.1.11 'adafruit_pca9685'

Biblioteca para controlar o gerador de sinais PWM PCA9685.

2.3.2.2 Diagrama de fluxo

O Programa é uma simples interface gráfica que apresenta os dados ambientais instantâneos em formato numérico e os valores espectrais em forma gráfica, os valores inseridos pelo utilizador estão numa área separada da interface, com acesso ao estado das ventoinhas e das luzes, assim como o valor da temperatura e da humidade.

A temperatura e a humidade decididos não serão valores absolutos, haverá uma margem de erro onde o valor real irá rondar, +/-1°C para a temperatura e +/-2.5% para a humidade.



2.3.2.3 Interação com o OS

Algumas das funções do programa interagem com o sistema operativo, algumas foram diretamente implementadas, outras são implementadas por omissão.

Funções implementadas diretamente são as que interagem com o estado da máquina, como o reinício ou o encerramento, a omissão do ponteiro do rato e a obtenção da hora para ser exibido na interface gráfica.

Funções implementadas por omissão, ou implementadas pelo sistema operativo, é a habilidade de ter a função tátil do ecrã.

2.3.2.4 Testes e/ou ensaios preliminares

Os testes forma simples para verificar o bem funcionamento dos atuadores e sensores e a boa comunicação entre eles.

2.3.3 Desenho de PCB's

2.3.3.1 Razão

O motivo da produção deste PCB é para a compacidade dos sensores ambientais em vez de módulos de desenvolvimento separados.

2.3.3.2 Pcb's e esquema elétrico

Esquema elétrico como anexo (Anexo 1).

Esquema PCB em anexo 2 e 3

As placas não foram produzidas de momento, serão produzidas e integradas no

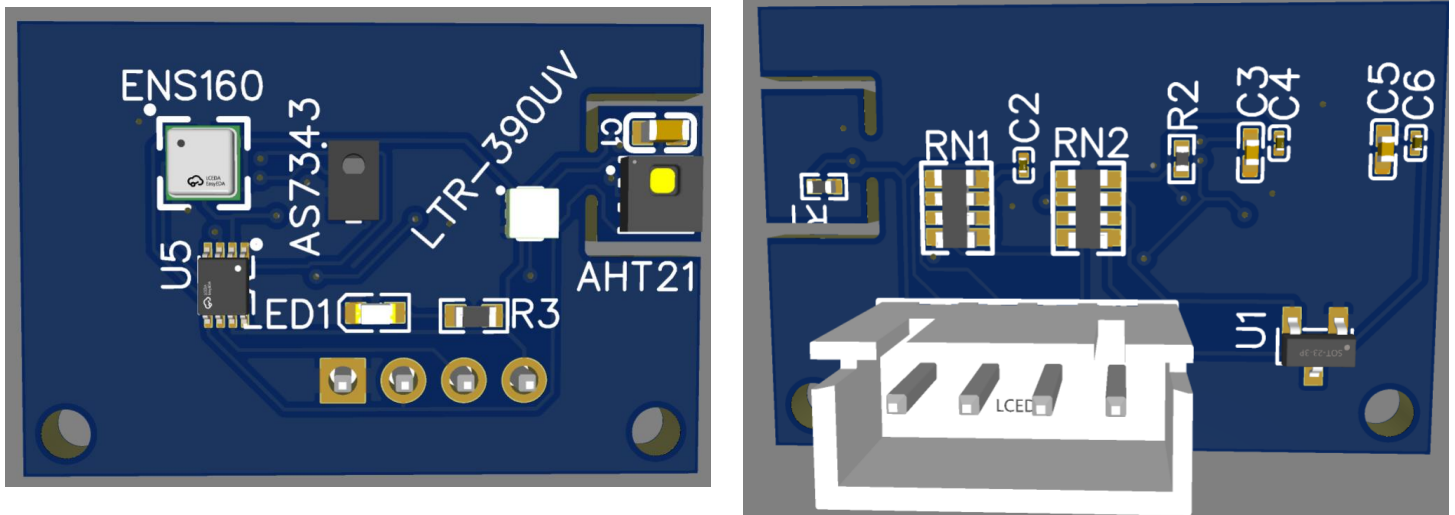


Figura 33 - PCB dos sensores ambientais
produto numa futura versão.

2.4 Construção do protótipo

Antes da montagem da estufa, foi necessário a instalação do sistema operativo no microcomputador, usando o software disponibilizado pela Raspberry Pi, o Raspberry Pi Imager representado pela Figura 34. No caso de serem usados módulos computacionais, é necessário usar a script `rpiboot` para aceder à memória interna do módulo antes de ser instalado o sistema operativo.

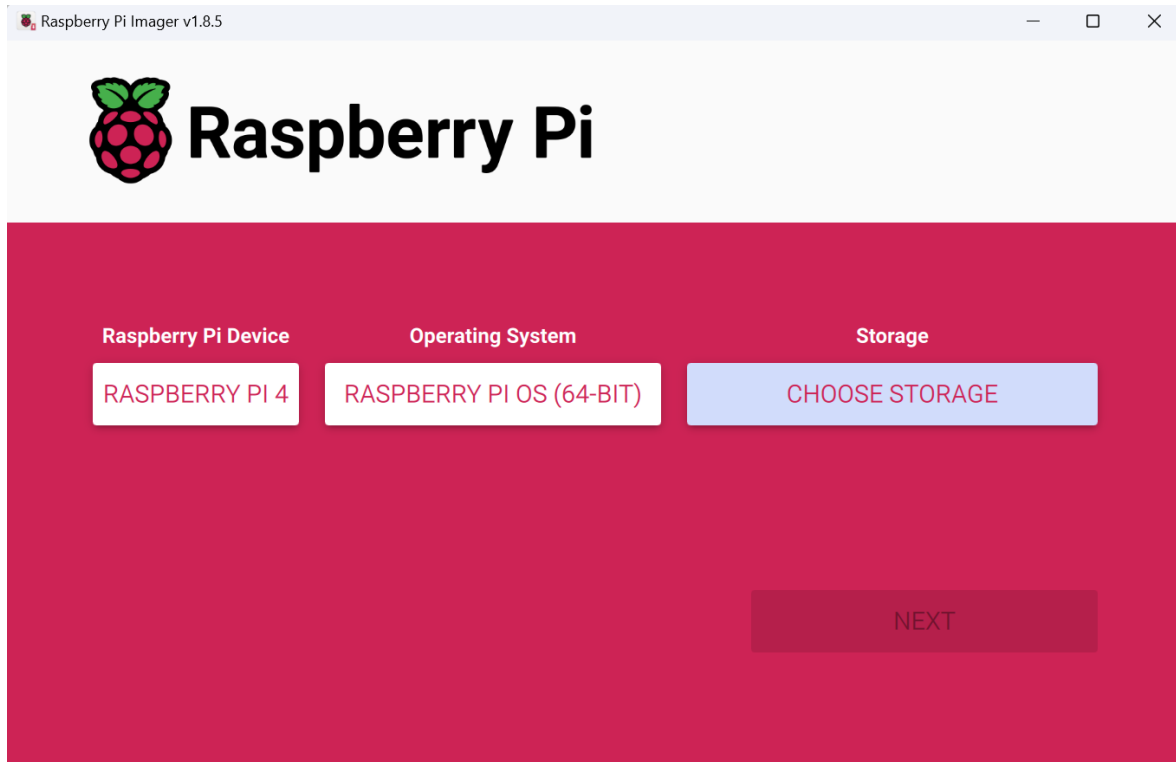


Figura 34 - Raspberry Pi Imager

É possível customizar alguns pré-requisitos caso o sistema operativo seja proprietário da Raspberry Pi, como mostra a figura seguinte, na aba “GENERAL” foi só trocado o nome de utilizador de “pi” para “greenhouse”, na aba “SERVICES” foi permitido a conexão por SSH com autenticação por palavra-passe.

Todas as menções de “pi” no caminho dos diretórios não serão trocadas por “greenhouse” para simplificar, caso alunos futuros queiram aceder a este documento com Sistemas Operativos de omissão.

Após o sistema operativo ser instalado, é possível aceder ao módulo computacional remotamente por SSH a partir de outro computador, desde que estejam na mesma rede.

Após ser estabelecida a ligação SSH numa linha de comandos, usando os comandos “cd /home/pi/Desktop” e “nano main.py” é criado um ficheiro “main.py” no diretório “home/pi/Desktop” e o ficheiro é imediatamente aberto pelo editor “nano” na linha de comandos, a seguir guarda-se o ficheiro como atalho de teclado “CTRL + X”, aceitar que o ficheiro seja guardado e aceitar que o nome seja o mesmo que foi previamente usado.

Mudando para o diretório “/home/pi/.config/autostart” foi criado um ficheiro de nome “autorunui.desktop” da mesma forma, qualquer ficheiro com extensão “.desktop” que esteja neste diretório, será executado sempre que o computador é inicializado. Neste caso como queremos começar o programa da estufa que se encontra no diretório “Desktop”, as linhas de comandos presente no ficheiro é:

- [Desktop Entry]
- Exec=python3 /home/pi/Desktop/main.py

As linhas de comando que começam e acabem com parenteses retos são considerados cabeçalhos de secção, e estas linhas de comandos são usadas para definir como as próximas linhas serão tratadas, neste caso, “Desktop Entry” é utilizado para definir informações sobre uma aplicação. “Exec=” define o comando que será usado para correr o programa seguido do diretório do ficheiro e nome do ficheiro da aplicação.

Neste momento podemos ligar o display ao módulo computacional através de um cabo HDMI e um cabo micro-usb, o que irá apresentar o ambiente de trabalho e mais frequentemente a interface gráfica do programa.

Finalizando estes passos, podemos fechar a ligação SSH e estabelecer uma conexão através do programa WinSCP, facilitando a abertura de ficheiros python num IDE para facilidade de programação, uma vez que a estufa não irá ter um monitor adequado para tal nem rato ou teclado.

O seguinte passo foi criar uma interface gráfica em python, modificando o ficheiro “main.py” previamente criado, começando pela barra de estado no topo, será apresentado a hora e um botão para reiniciar/desligar a estufa e reiniciar o programa. Dois botões extra foram adicionados para serem usados durante o desenvolvimento do projeto, será um botão de acesso rápido para reiniciar o programa, e outro para desligar o programa sem desligar o computador, caso sejam necessárias tarefas no sistema operativo. A figura seguinte apresenta o resultado desse passo.



Figura 36 - Interface Gráfica

Neste momento foi adicionado o adaptador Grove nos pinos presentes na placa de desenvolvimento, e ligados os sensores de humidade e temperatura do ar, Figura 12, e o sensor espectrográfico, Figura 13, para ser apresentado no display.

Para o tal, os sensores foram fixados numa breadboard e ligados todos no mesmo barramento que por sua vez foi ligado ao conector I2C do adaptador Grove. É possível os sensores serem ligados todos no mesmo barramento de comunicação, pois têm endereços I2C diferentes o que impede o conflito da troca de comandos.

Foi dividido o ecrã para usar uma secção onde serão apresentados os dados atuais dos sensores numericamente, e um gráfico para apresentar os valores atuais do sensor espectrográfico.

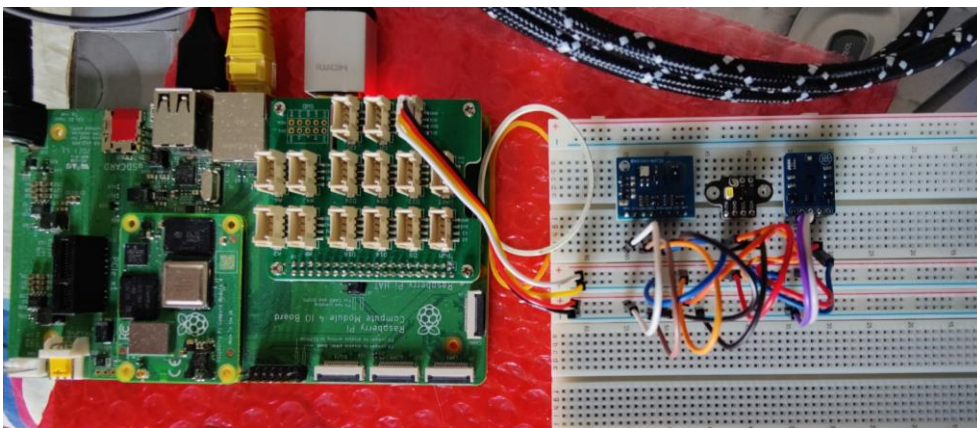


Figura 37 - Ligação entre os sensores e o módulo computacional

Um dos sensores da figura acima não foi usado (sensor mais à direita), é um sensor de luz ultravioleta que não foi integrado de momento no programa, mas que foi ligado para usos futuros.

Podemos ver o resultado dos sensores na figura seguinte onde são apresentados os valores na interface gráfica.

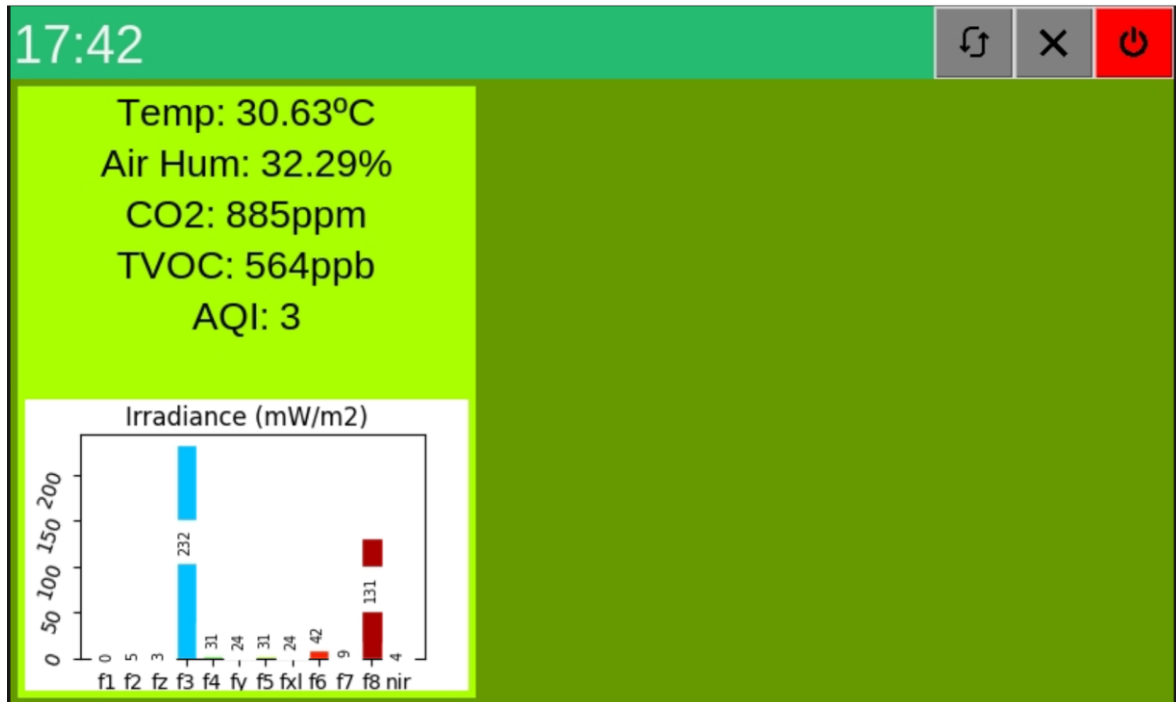


Figura 38 - Interface gráfica com valores de sensores

No gráfico da figura acima, podemos ver os valores da intensidade luminosa de cada cor num gráfico de barras com os valores em mili-watts for metro quadrado, a descrição de cada barra refere-se ao nome de cada canal do sensor espectrográfico.

Depois de ter completo estes passos, a atenção foi virada para a estrutura, foi começado por instalar os módulos elétricos numa tábua de madeira fornecida pelo Prof. Rogério, que foi previamente cortada à medida do espaço livre entre as pernas da estrutura, e furos foram feitos à medida que foi necessário para os componentes eletrónicos.

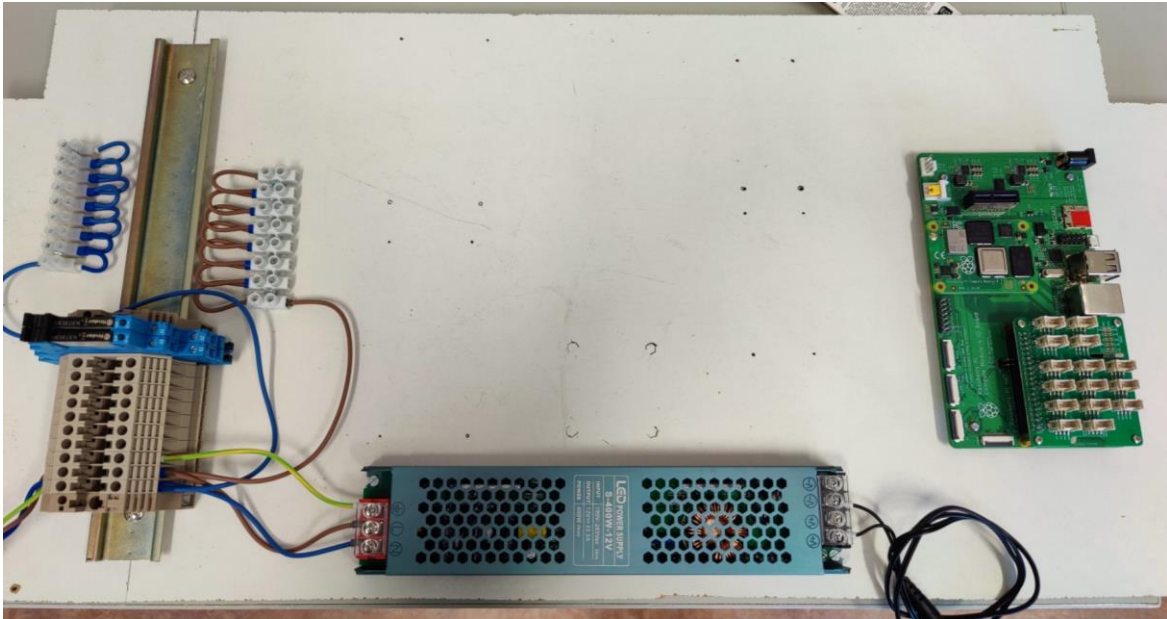


Figura 39 - Tábua base para a eletrônica - fase 1

No caso das PCB's, foram desenhadas e imprimidas espaçadores à medida para que estes não estejam sobre forças mecânicas quando aparafusadas à madeira. Foi usada a impressora 3D

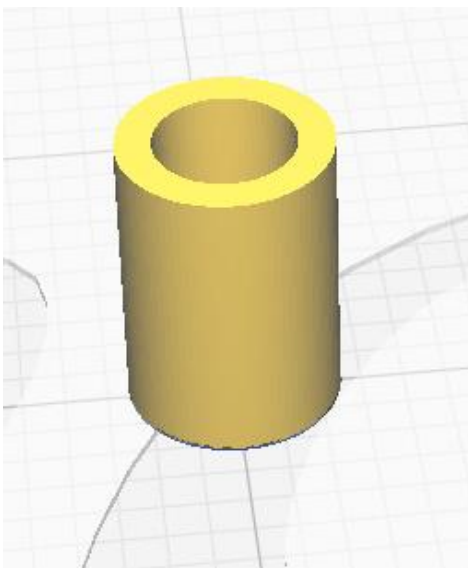


Figura 40 - Impressão dos espaçadores



Figura 41 - Espaçador em programa 3D

Foi tentado a integração de um dímer AC para mudar a intensidade luminosa das fitas LED, uma vez que as fitas são alimentadas com correntes AC, mas o uso de timers num sistema operativo é demasiado complicado para ser propriamente incorporado, uma vez que os timers não são de fácil acesso sem conhecimentos Linux. Os módulos dímer estão presentes na figura seguinte no canto superior esquerdo, mas foram retirados assim que foi testado e falhado o uso destes. Serão incorporados nos trabalhos futuros.

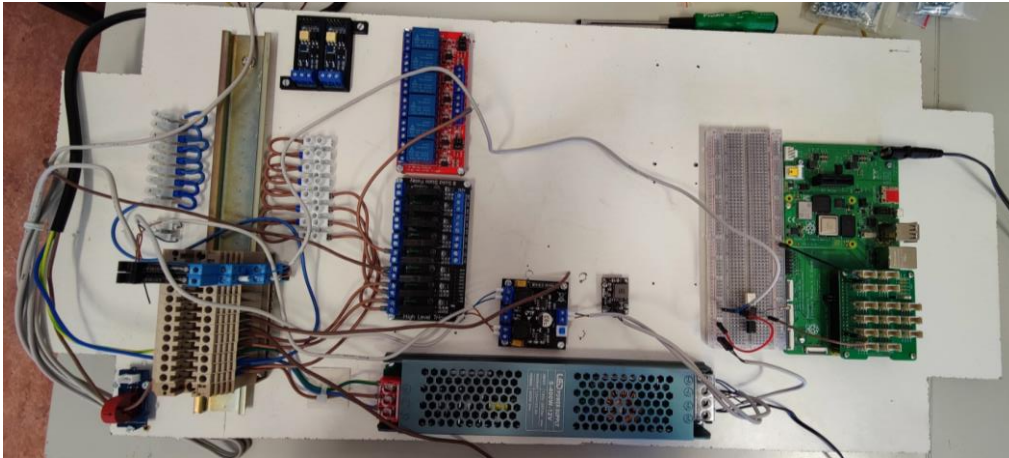


Figura 42 - Tábua-base para a eletrônica - fase 2

Na estrutura em si, mencionada na Figura 27, foi perfurado nas quatro pernas para serem fixos dois varões roscados onde a tábua será pousada, e outro furo para a passagem de um cabo que alimenta uma fita LED, foi perfurada a extremidade da estrutura para fixar, com abraçadeiras, as fitas LED, a tampa, nas laterais foram cortadas aberturas para serem instaladas as ventoinhas e para passagem de ar, e no topo da tampa foram feitas aberturas para fixar e deixar passar luz dos módulos de luzes de crescimento.

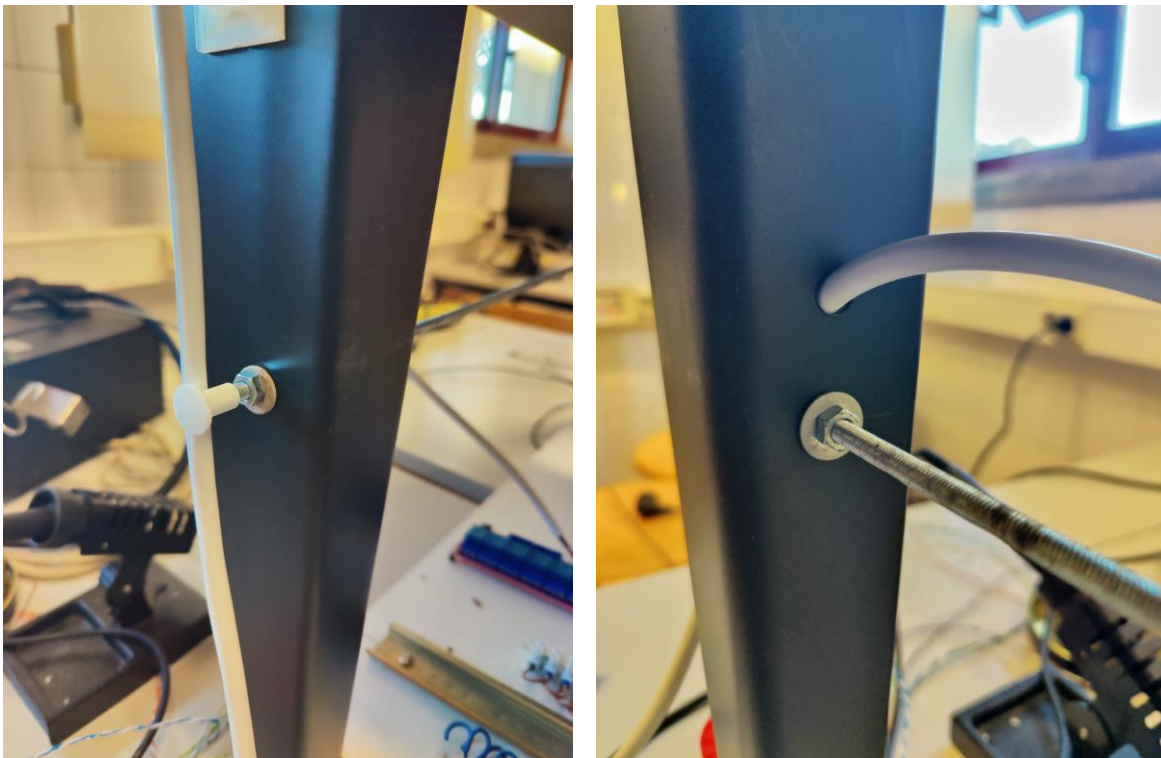


Figura 43 - Varões roscados para suspensão da tábua-base

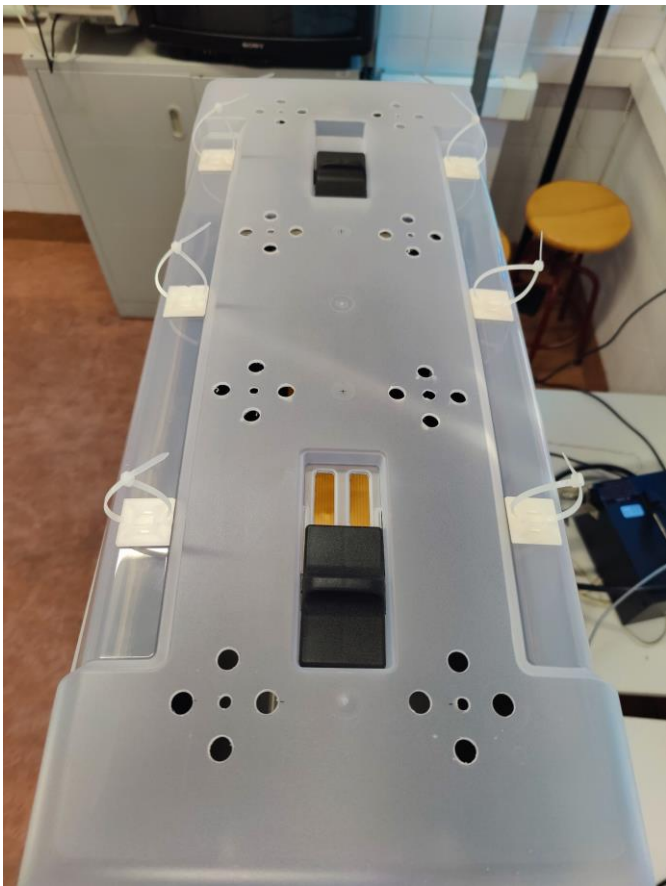


Figura 44 - Perfurações para a instalação de luzes de crescimento



Figura 45 / Perfuração para instalação da ventoinha



Figura 46 - Perfuração para instalação de braçadeiras para as fitas LED

As resistências de aquecimento do tipo adesivo foram fixas na base do interior e passados os fios de alimentação por pequenos buracos no centro, onde serão depois conectados nos componentes eletrônicos.



Figura 47 - Resistências de aquecimento adesivo na base do interior da estufa

Os sensores foram fixos perto das fitas LED, havendo um suporte para um fixador na estufa, provavelmente para plantas trepadeiras, o suporte foi cortado à medida onde foi aparafusado uma protoboard com os módulos do sensor previamente soldados e ligados de acordo com as suas ligações.

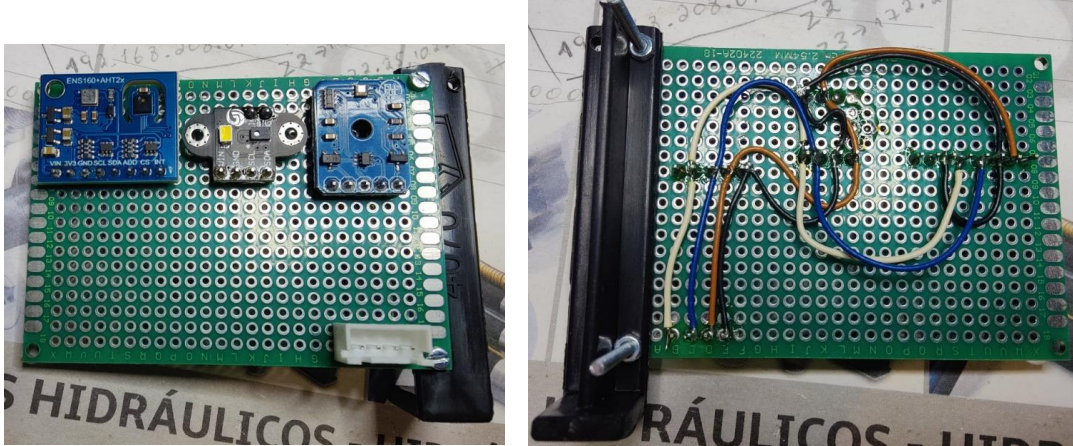


Figura 48 - Sensores em protoboard

Um conector foi soldado na protoboard para fazer a ligação ao computador.

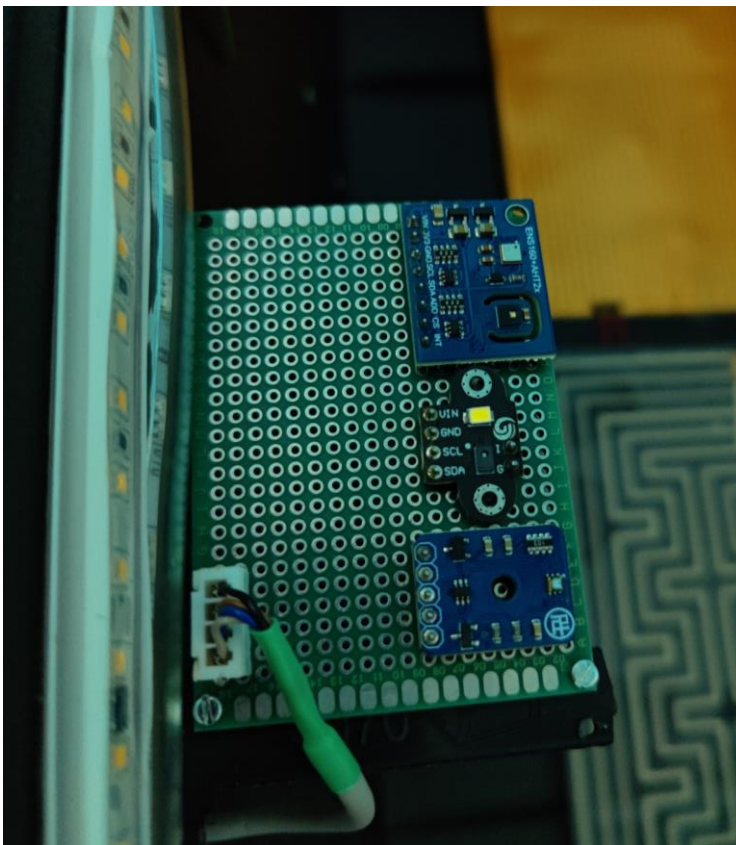


Figura 49 - Sensores fixos na estrutura

O display foi fixo na lateral da estrutura com duas peças de metal em L para que fique direcionado ao utilizador para o seu uso. A cablagem do display foi fixada em conjunto com o cabo dos sensores, e foram guiados para a lateral da estrutura onde depois foram ligados nos conectores do adaptador Groove.

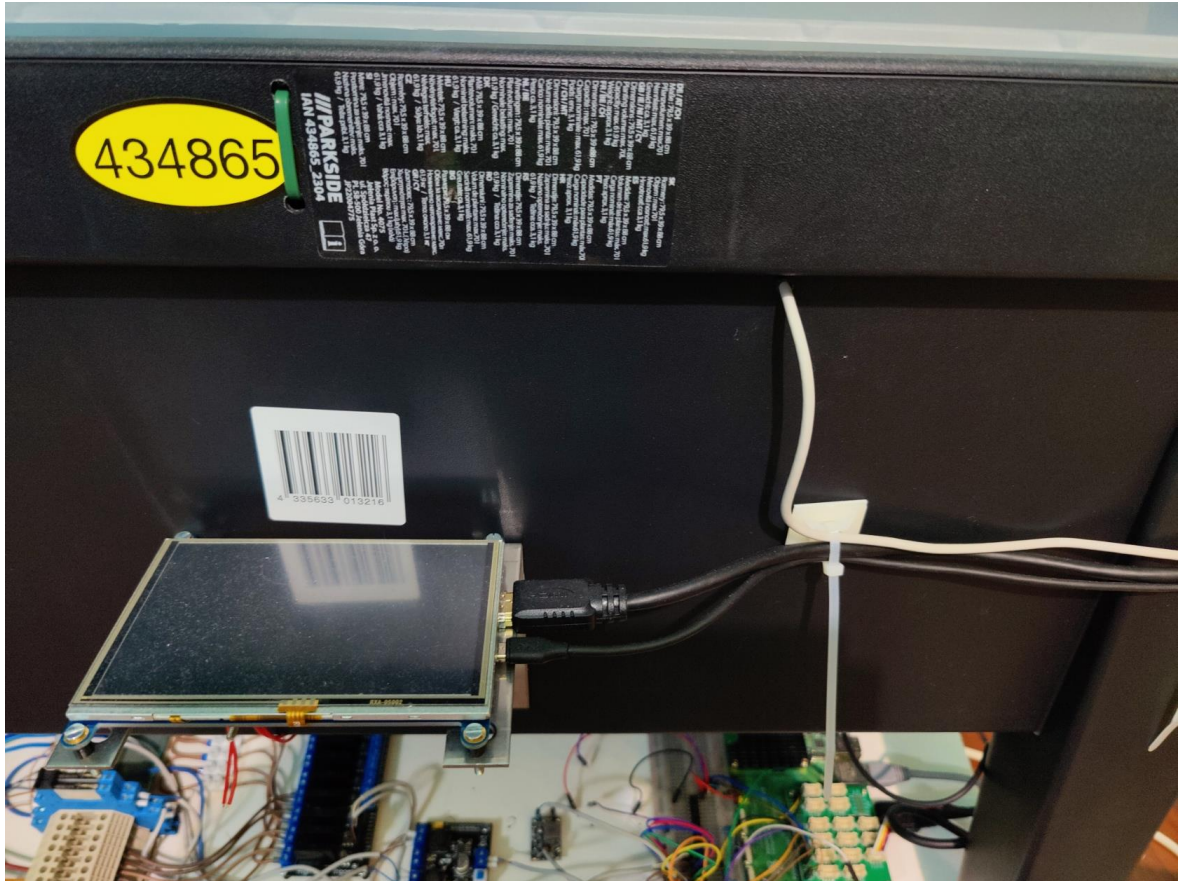


Figura 50 - Vista lateral da estrutura com o display instalado

O humidificador e a bomba para a rega foram instalados e conectados, sendo que a bomba ficou no exterior e o humidificador fica no interior da estufa.



Figura 51 - Bomba de rega e humidificador

Depois das instalações e ligações necessárias, podemos voltar ao código, adicionando as restantes funções para o controlo dos fatores ambientais. Para isso foi criada uma secção para serem introduzidos os valores de cada fator ambiental.

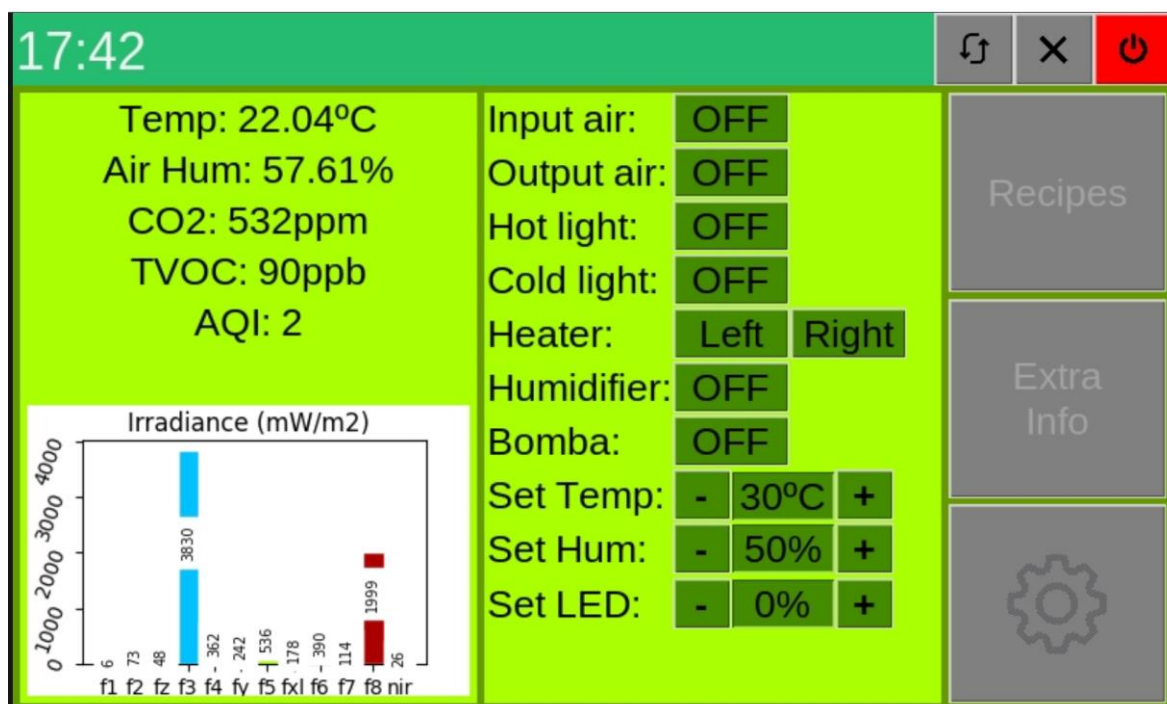


Figura 52 - Interface gráfica com manipulação de fatores ambientais

Para o controlo dos fatores ambientais foi usado um simples controlo de ligar-desligar para manter os valores dentro de uma pequena margem de erro do valor desejado.

Um botão para receitas, para o controlo mais automatizado da estufa, foi incorporado, mas não ativado pois ainda não foi criada nenhuma receita. Serão adicionadas em trabalhos futuros.

Um botão para informações extra também foi adicionado para visualizar mais informações sobre a estufa e sobre o programa, mas também ainda não foi integrado, mantendo-se então inativo, será integrado em trabalhos futuros.

Outro botão para as definições foi criado, mas não incorporado, servirá para mudar certos parâmetros da estufa, como o idioma, o estilo de apresentação e entre outros. Também deixado para trabalhos futuros.

2.5 Discussão de resultados

O controlo das variáveis através de algoritmos foi atingido, sendo possível para que o ambiente desejado seja mantido sem grandes dificuldades. É possível ligar/desligar os diferentes atuadores diretamente e percebe-se a mudança de valores, mesmo que seja estas sejam lentas.

3 Conclusão

Houve a intenção de usar um microcontrolador da Raspberry Pi, o Raspberry Pi Pico, para criar dois canais dimer para controlar a intensidade de luz, mas a dificuldade de incorporar duas funções independentes e sensíveis ao tempo com um canal de comunicação tornou-se extremamente complexo, uma vez que se queria manter o uso de python como a única linguagem de programação, optando-se assim pelo simples uso de ligar-desligar conforme necessário, sem variar a intensidade.

O projeto atingiu os objetivos base de recolher valores e controlar algumas variáveis ambientais.

O sistema funciona com sucesso no Raspberry Pi num OS baseado em Linux e com acesso direto aos pinos externos e ao canal de comunicação I2C.

O uso do Raspberry Pi foi uma vantagem pela boa documentação online e pelos vastos tutoriais, guias e perguntas/respostas online.

3.1 Trabalho futuro

Para versões futuras será implementado a PCB mencionada previamente e desenvolvida outra PCB específica para o sistema principal, com a integração dos opto acopladores, MOSFET's, relés, leitores de consumo e apenas os conectores necessários para a mini-estufa, as bombas de água serão produzidas numa placa à parte para segurança contra curto-circuitos ou outros perigos.

Também será desenvolvido uma estrutura mais adequada para proteger os circuitos elétricos e o ambiente fechado, e para mais facilmente ser instalado num local desejado.

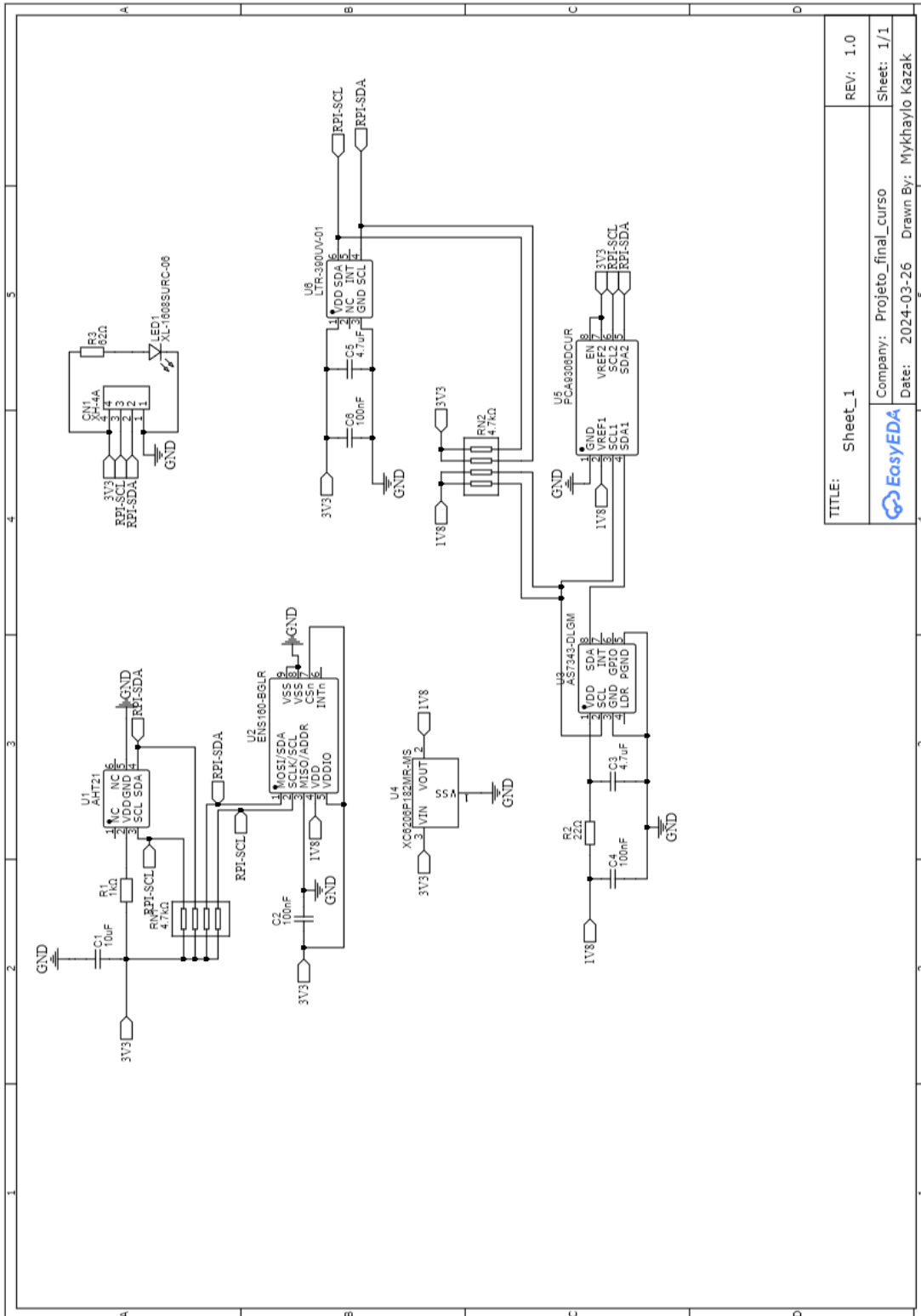
Interação remota será futuramente implementado para melhor estar a par do sistema assim como uma câmara para ter acesso visual ao estado do ambiente e dos seus conteúdos. Gráficos temporais serão implementados para manter um histórico das mudanças ambientais.

Bibliografia

- [1] Raspberry Pi (05/2024) <https://www.raspberrypi.com/>
- [2] Adafruit (05/2024) <https://www.adafruit.com/> <http://adafru.it/2260>
- [3] Python (04/2024) <https://www.python.org/>
- [4]
- [5]
- [6]
- [7]
- [8]
- [9]
- [10]
- [11]
- [12]
- [13]
- [14]
- [15]
- [16]
- [17]
- [18]
- [19]

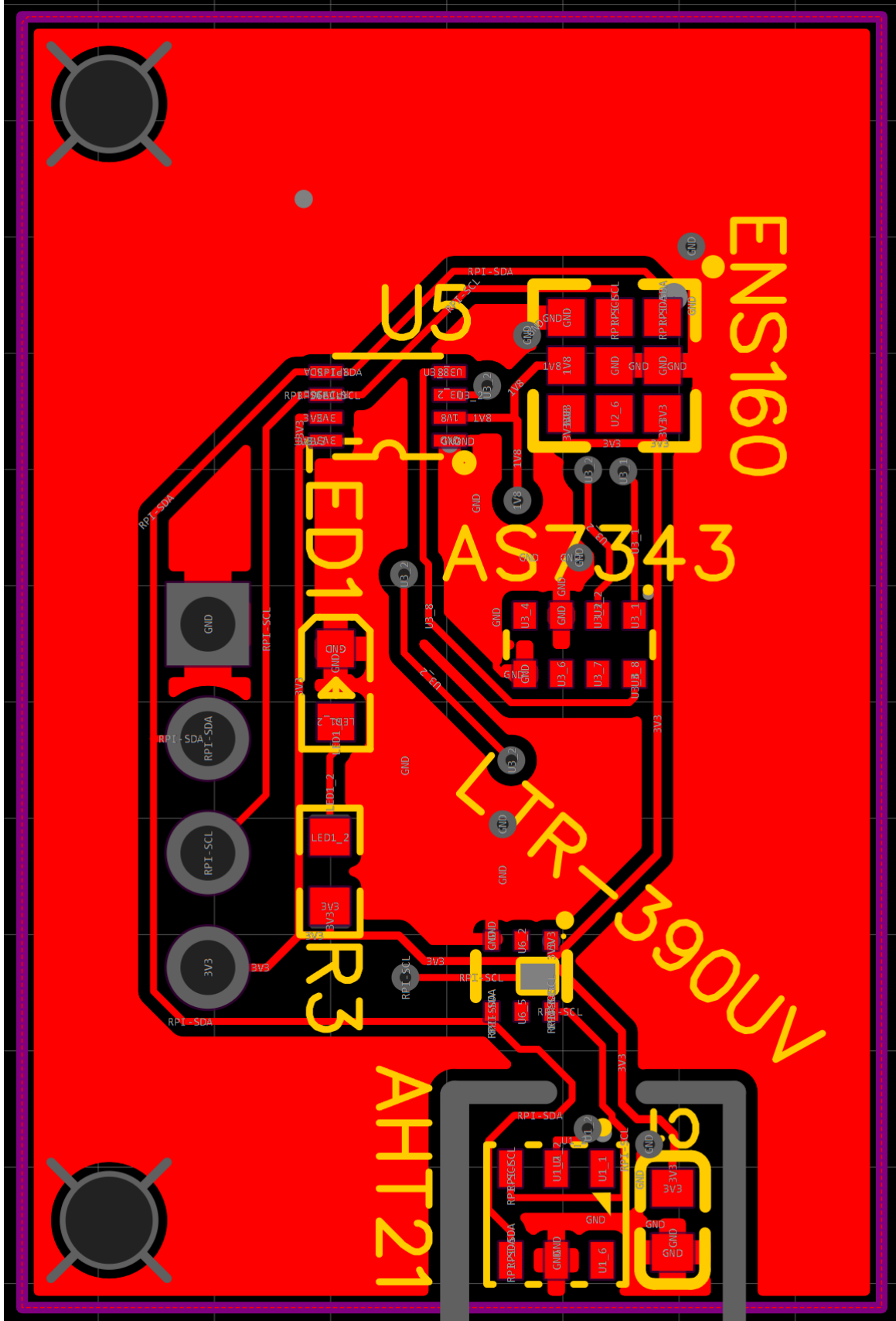
Anexos

Anexo 1 - Esquema elétrico da PCB de sensores ambientais

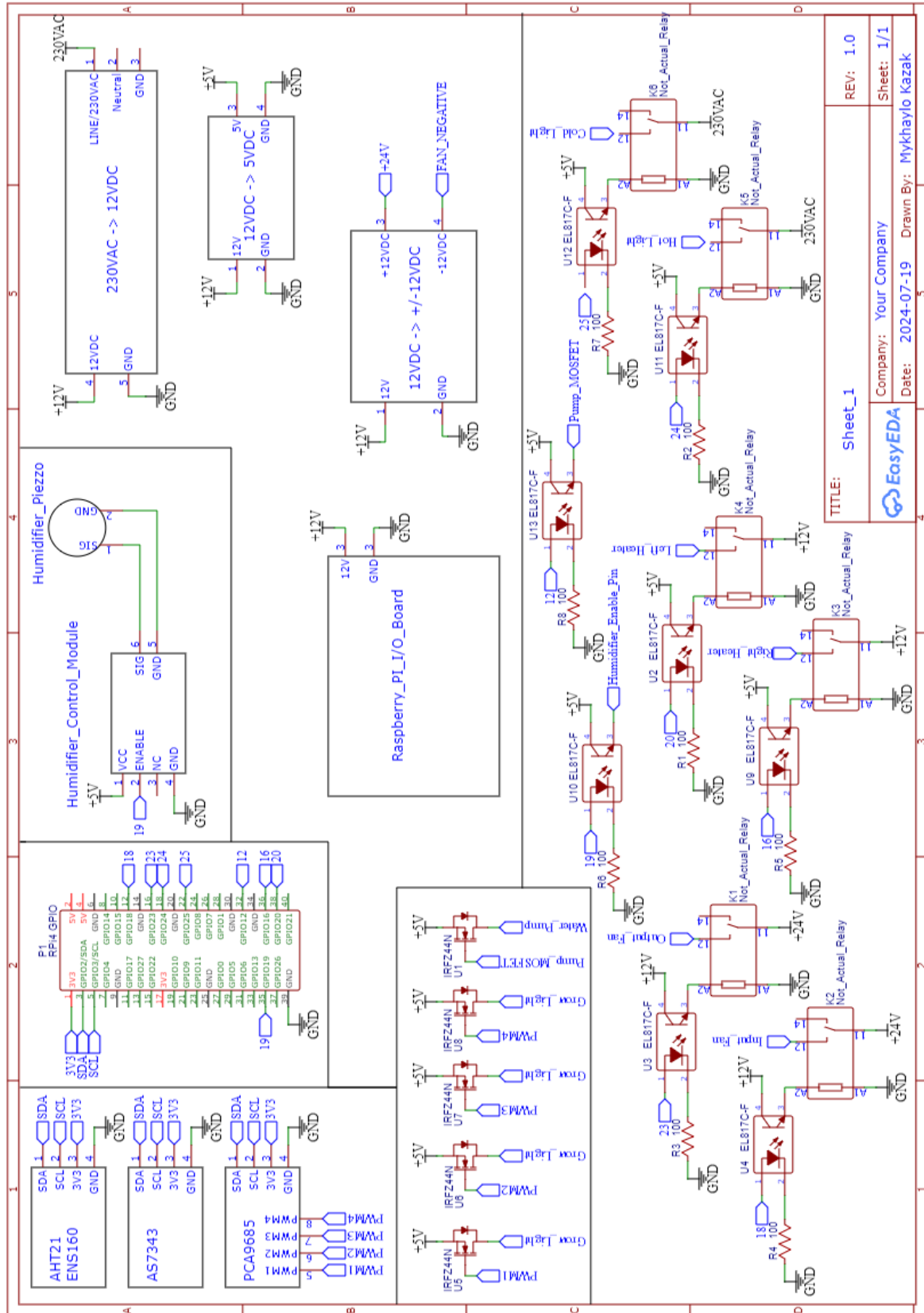


TITLE:	Sheet_1	REV:	1.0
Company: Projeto_final_curso		Sheet: 1/1	
Date: 2024-03-26		Drawn By: Mykhaylo Kazak	

Anexo 2 - Camada superior da PCB de sensores ambientais



Esquema Elétrico Principal do Projeto



TITLE: Sheet_1	REV: 1.0
Company: Your Company	Sheet: 1/1
Date: 2024-07-19	Drawn By: Mykhaylo Kazak