



Instituto Politécnico
de Castelo Branco
Escola Superior
de Tecnologia

Sistema de Rega e Gestão de Água Inteligente - SRGAI

Nuno Filipe Esteves Luis, nº 20191937

Pedro Miguel Miranda Lourenço, nº20191278

Orientador

Professora Doutora Paula Cristina Alves Pereira

Coorientador

Professor Doutor António Canatário Duarte

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia Unidade Técnico Científica de Engenharia Eletrotécnica e Industrial do Instituto Politécnico de Castelo Branco, para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e Telecomunicações, realizado sob a orientação científica da Professora Adjunta Doutora Paula Cristina Alves Pereira e do Professor Adjunto Doutor António Canatário Duarte, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

julho de 2024



Composição do júri

Presidente do júri

Professor Doutor, José António Barros Vieira

Prof. Adjunto, IPCB - ESTCB

Vogais

Professor Doutor, Pedro Miguel Baptista Torres

Prof. Adjunto, IPCB - ESTCB

Professora Doutora, Paula Cristina Alves Pereira (orientadora)

Prof. Adjunta, IPCB - ESTCB

Professor Doutor, António Francisco Canatário Duarte (coorientador)

Prof. Adjunto, IPCB - ESACB



Dedicatória

Nuno Luis

Um especial agradecimento aos meus pais pois eles são os grandes pilares desta caminhada e da minha vida, sem o apoio e carinho deles nada disto era possível.

Aos meus irmãos e cunhados que também estiveram lá sempre para me apoiar e encorajar a ir em frente.

À minha avó que também sofreu muito na ansiedade de me ver vencer.

À minha namorada, por todo o amor, carinho e apoio que me deu para a conclusão deste curso.

Aos meus amigos de Oleiros que sempre me apoiaram nos bons e maus momentos

Aos amigos que criei em Castelo Branco pelos momentos de diversão, mas também nos momentos de estudo.

À ESTCB por me ter dado essa oportunidade de fazer parte desta grande família.

Pedro Lourenço:

Primeiro de tudo um especial agradecimento a minha querida avó que seria muito feliz a ver me alcançar este grande marco da minha vida e por me ter dado coragem e força para nunca desistir.

Agradeço á minha tia que foi impecável nesta jornada e disponibilizou muitas vezes o seu tempo e bem-estar para me poder ouvir e ajudar.

Agradeço também aos meus pais pois mesmo com todas as dificuldades e barreiras da vida sempre mostraram interesse e ajudaram naquilo que podiam.

Agradeço também ao Nuno pois esteve sempre lá para mim e quando estava prestes a desistir deu-me força e não me deixou ir abaixo. Sem ele este momento não era possível.

Agradeço a todos os professores da EST por me terem acompanhado nesta jornada e terem tido bastante paciência comigo.

Agradeço também aos meus amigos que sempre lá estiveram a dar coragem e apoio.



Agradecimentos

Foram várias as pessoas que contribuíram para que fosse possível a realização deste projeto e a quem queremos agradecer.

Agradecemos à Professora Doutora Paula Pereira, orientadora deste projeto final, pela forma como contribuiu e nos acompanhou no decorrer deste trabalho e de todo o curso.

Agradecemos ao professor Doutor António Canatário Duarte, coorientador deste projeto, pela sua disponibilidade e disposição para nos ajudar.

Agradecemos ao professor Doutor José Vieira, coordenador da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e das Telecomunicações.

A todos os professores que contribuíram para a nossa aprendizagem e conhecimentos durante a licenciatura um muito obrigado.

Muito obrigado ao senhor Adelino da escola por toda a disponibilidade.

Um agradecimento especial a todos os nossos colegas que nos ajudaram durante estes anos e pela compreensão e companheirismo demonstrados durante a execução deste projeto.



Resumo

Este projeto consiste na implementação de um Sistema de Rega e Gestão de Água Inteligente (SRGAI) constituído por vários sensores controlados por um microcontrolador.

Com o objetivo de aliar a melhor gestão dos recursos hídricos, o impacto ambiental e a tendência sazonal de seca de água em Portugal com a qualidade e quantidade das culturas agrícolas, desenvolveu-se este projeto baseado na recolha de dados do meio envolvente à cultura agrícola através dos mais variados tipos de sensores (por exemplo: humidade, temperatura). Com a recolha desses dados e o cálculo da evapotranspiração, o microcontrolador ESP32 através do *software* desenvolvido em *Arduíno* IDE toma a decisão mais adequada ao tipo de rega e atua na electroválvula.

Palavras-chave

Eletrónica, Evapotranspiração, Sensores, Sistema de Rega, ESP32



Abstract

This project consists of implementing an Intelligent Irrigation and Water Management System (SRGAI) composed of several sensors controlled by a microcontroller.

With the aim of combining better management of water resources, the environmental impact and the seasonal trend of water dryness in Portugal with the quality and quantity of agricultural crops, this project was developed based on the collection of data from the environment surrounding agricultural culture. through the most varied types of sensors (for example: humidity, temperature). By collecting this data and calculating evapotranspiration, the ESP32 microcontroller, using *software* developed in *Arduino* IDE, makes the most appropriate decision for the type of irrigation and acts on the solenoid valve.

Keywords

Electronics, Evapotranspiration, Sensors, Irrigation System, ESP32



Índice geral

1.	Introdução	1
2.	Enquadramento	3
2.1	Enquadramento territorial.....	3
2.2	Tipo de solo	4
2.3	Tipo de Cultura	5
3.	Parâmetros de Rega e Necessidades Hídricas	6
3.1	Condições do solo.....	6
3.2	Evapotranspiração.....	8
3.3	Cálculo da evapotranspiração	10
4.	Componentes de <i>Hardware</i> do Sistema	14
4.1	ESP32	14
4.2	Sensor de Humidade do Solo (SEN0114)	17
4.3	Sensor de Temperatura (DS18B20)	18
4.4	Sensor de Temperatura e Humidade (SHT1X)	19
4.5	Sensor de Detecção de Líquido (XKC-Y25-T12V).....	20
4.6	Sensor de Caudal (YF-S401-3507)	21
4.7	Anemómetro (JL-FS2)	22
4.8	Electroválvula 12 V ¾"	23
5.	<i>Software</i>	26
5.1	<i>Arduíno</i> IDE	26
6.	Protocolos de Comunicação.....	27
6.1	<i>One-Wire</i>	27
6.2	I2C	27
7.	Implementação do Sistema	28
7.1	Sensores.....	28
7.1.1	Humidade do Solo	28
7.1.2	Temperatura.....	30
7.1.3	Temperatura e Humidade	31
7.1.4	Detecção de Líquido	33
7.1.5	Caudal.....	34

7.1.6	Anemómetro.....	36
7.1.7	Eletroválvula	37
7.2	Montagem final (Esquema Elétrico)	39
7.3	Lista de Material	40
7.4	Placa de Circuito Impresso (PCB)	41
7.5	Fluxograma	42
7.6	Análise de Resultados.....	43
8.	Página WEB (Dashboard)	55
9.	Conclusão e Trabalhos Futuros	61
9.1	Conclusão	61
9.2	Trabalhos futuros.....	62
	Referências Bibliográficas	63

Índice de figuras

Figura 1 - Diagrama de Blocos do Sistema.....	1
Figura 2 - Enquadramento Territorial.....	3
Figura 3 - Carta de Solos Portugal	4
Figura 4 - Carta de solos Castelo Branco e Unidades Pedológicas.....	4
Figura 5 - Estados do solo.....	6
Figura 6 - Classificação da textura do solo.....	7
Figura 7 - Processo de evapotranspiração.....	8
Figura 8 - ESP32	14
Figura 9 - Arquitetura do ESP32.....	15
Figura 10 - Diagrama de blocos ESP32	15
Figura 11 - Sensor de humidade do solo (FC-28) e conversor YL-38 LM393	17
Figura 12 - Sensor de humidade do solo (SEN0114).....	17
Figura 13 - DS18B20 tipo SMD.....	18
Figura 14 - DS18B20 tipo T092	18
Figura 15 - DS18B20 tipo Sonda.....	18
Figura 16 - Sensor de temperatura e humidade (SHT1X)	19
Figura 17 - Sonda do sensor de líquido.....	20
Figura 18 - Adaptador do Sensor de líquido	20
Figura 19 - Sensor de Caudal (YF-S401) internamente.....	21
Figura 20 - Sensor de Caudal (YF-S401).....	21
Figura 21 - Anemómetro.....	23
Figura 22 -Funcionamento electroválvula.....	24
Figura 23 - Eletroválvula 12V.....	24
Figura 24 - Optoacoplador PC815.....	24
Figura 25 -Optoacoplador PC815 internamente	24
Figura 26 - Relé G2R-2 5VDC	25
Figura 27 - Funcionamento Relé.....	25
Figura 28 - "Output" Sensores	28
Figura 29 - Circuito sensores de humidade.....	29
Figura 30 - Implementação Sensor Humidade do Solo.....	29
Figura 31 - "Output" percentagem humidade	29
Figura 32 - Circuito sensor de temperatura da água	30
Figura 33 -Implementação Sensor Temperatura da água	30
Figura 34 - "Output" da Temperatura da água do depósito.....	31
Figura 35 - Circuito sensor temperatura e humidade.....	32
Figura 36 - Implementação Sensor de Temperatura e Humidade	32
Figura 37 - "Output" da temperatura e humidade do ar	32

Figura 38 - Circuito sensores de detecção de líquido	33
Figura 39 - Implementação Sensores de detecção de líquido	33
Figura 40 - "Output" do nível de água no depósito.....	34
Figura 41 - Circuito Sensor de Caudal.....	34
Figura 42 - Implementação Sensor de Caudal	35
Figura 43 - "Output" do caudal e água total.....	35
Figura 44 - Circuito Anemómetro.....	36
Figura 45 - Implementação Anemómetro	36
Figura 46 - "Output" da velocidade do vento	37
Figura 47 - Circuito Eletroválvula	37
Figura 48 - Implementação Eletroválvula.....	38
Figura 49 - Esquema Elétrico	39
Figura 50 - Esquema da PCB em 3D	41
Figura 51 - Esquema Elétrico da PCB.....	41
Figura 52 - Trilhos da PCB.....	41
Figura 53 - Fluxograma	42
Figura 54 - Dia 1 (plantação).....	43
Figura 55 - Dia 8 (plantação).....	44
Figura 56 - Implementação do projeto.....	44
Figura 57 - Projeto Implementado.....	45
Figura 58 - Dia 15 (Plantação)	45
Figura 59 - Dia 22 (plantação)	46
Figura 60 - Dashboard	55
Figura 61 - Menu Opções (Dashboard)	57
Figura 62 - 1ª Opção do Menu (Dashboard).....	58
Figura 63 - 2ª Opção do Menu (Dashboard).....	58
Figura 64 - 3ª Opção do Menu (Dashboard).....	59
Figura 65 - Router.....	60
Figura 66 - Aplicação do Router.....	60
Figura 67 - Sistema elétrico no terreno.....	62
Figura 68 - Vista aérea da Implementação	62

Índice de tabelas

Tabela 1 - Lista de Material.....	40
Tabela 2 - ETo diário	47
Tabela 3 - Consumo de Água diário	48
Tabela 4 - Humidade do solo média diária	50
Tabela 5 - Temperatura e Humidade do Ar diárias	51

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - ETo média diária	47
Gráfico 2 - Consumo de água diário.....	48
Gráfico 3 - Humidade do solo média diária	50
Gráfico 4 - Humidade do ar média diária	52
Gráfico 5 - Temperaturas do ar diárias	52
Gráfico 6 - Análise gráficos todos	54

Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

μC	Microcontrolador
A	Amarelo
ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
BLE	<i>Bluetooth low energy</i>
CC	Curto Circuito
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DAC	<i>Digital-to-Analog Converter</i>
DS18B20	Sensor de Temperatura
EN	<i>Enable</i>
ESTCB	Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco
ET	Evapotranspiração
ETo	Evapotranspiração de referência
GND	<i>Ground</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
HTML	<i>Hypervb Text Markup Language</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
I2C	<i>I2C (Inter-Integrated Circuit)</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IPC	Instituto Politécnico de Castelo Branco
NC	<i>Normal Closed</i>
NO	<i>Normal Open</i>
PCB	Placa de Circuito Impresso
RTC	<i>Real Time Clock</i>
SCK	Entrada de relógio serial – <i>Serial Clock</i>
SDA	<i>Serial Data</i>
SEN0114	Sensor de humidade do Solo
SEN0204	Sensor de deteção de líquido
SHT1X	Sensor de temperatura e humidade
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
SRGAI	Sistema de Rega e Gestão de Água Inteligente
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
ULP	<i>Ultra-low consumption</i> (consumo ultrabaixo)
V	Vermelho
VCC	Tensão em corrente continua
Ve	Verde
Vin	Tensão de entrada

1. Introdução

O presente relatório enquadra-se no âmbito do Projeto final de Licenciatura do curso de Engenharia Eletrotécnica e das Telecomunicações, da Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco (ESTCB), do Instituto Politécnico de Castelo Branco (IPCB).

Este projeto tem como visão as culturas agrícolas a sua qualidade e quantidade, com o intuito de realizar a melhor gestão dos recursos hídricos tornando-se proveitoso para as culturas agrícolas e para o impacto ambiental. Na generalidade, todas as culturas agrícolas necessitam de água durante a sua vida para poderem sobreviver e assim produzir em quantidade e qualidade, para isso é necessário realizar a melhor gestão hídrica face a cada cultura.

Portugal, nos últimos anos, apresenta secura hídrica nos meses de verão e por vezes também em alguns meses de primavera e outono, que por consequente são também as épocas do ano em que a maioria das culturas agrícolas necessitam de mais água de forma a combater a secura.

Assim, de forma a combater esse défice hídrico no solo é essencial a instalação, gestão e utilização de sistemas de rega inteligente/ autónomos adaptados a cada cultura agrícola. Um sistema de rega autónoma tem como objetivo, através da recolha de vários dados sensoriais (por exemplo: sensor de humidade, temperatura...) distribuir pela cultura agrícola o volume de água correto para as suas necessidades hídricas sempre que exista necessidades hídricas.

Existem vários fatores a serem considerados quando se projeta um sistema de rega e gestão de água inteligente, permitindo a cada cultura agrícola ter um conforto hídrico. Desses fatores destacamos um solo eficiente e uma correta conservação do meio ambiente e dos recursos hídricos. Quanto mais dados ambientais, do solo e da cultura agrícola a ser cultivada, melhor serão direcionados os cálculos para cada cultura e assim melhor será a gestão do projeto. Neste projeto os sensores irão, em tempo real, medir os vários fatores disponibilizados pelos sensores (calcular a evapotranspiração) e conforme a necessidade hídrica e a água presente no depósito será feita a própria gestão através do ESP32 e do *software* desenvolvido em *Arduíno* IDE que após a leitura de dados atua na electroválvula.

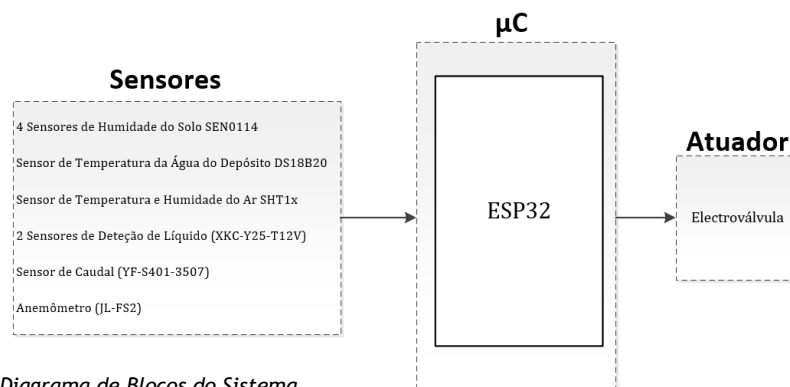


Figura 1 - Diagrama de Blocos do Sistema

O objetivo deste projeto abrange a elaboração de um Sistema de Rega e Gestão de Água Inteligente (SRGAI) baseado nas necessidades da cultura de alfaces a ser produzida na zona da Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco.

O presente relatório está organizado em 8 capítulos. No primeiro capítulo realiza-se o enquadramento do projeto, abordando aspetos como o enquadramento territorial, tipo de solo e tipo de cultura. Este capítulo fornece uma base sólida para compreender o contexto em que o sistema será implementado.

O segundo capítulo foca-se nos parâmetros de rega e nas necessidades hídricas, analisando as condições do solo, a evapotranspiração e o seu cálculo, fundamentais para o dimensionamento e eficiência do SRGAI. O terceiro capítulo descreve os componentes de *hardware* do sistema, detalhando os diferentes sensores e dispositivos utilizados, como o ESP32, sensores de humidade do solo, temperatura da água do depósito, temperatura e humidade do ar, deteção de líquido no depósito, fluxo de água, velocidade do vento e o atuador do sistema, a electroválvula.

No quarto capítulo é descrito o *software* utilizado para programar e controlar o sistema de rega. Este capítulo descreve a utilização do *Arduíno IDE*, uma plataforma de desenvolvimento integrada, explicando como os diferentes componentes de *hardware* são programados para funcionar de forma integrada e eficiente. O quinto capítulo analisa os protocolos de comunicação que permitem a interligação dos diversos sensores e dispositivos. São abordados os protocolos *One-Wire* e I2C, destacando suas características e a forma como são executados no sistema para garantir a troca de dados confiável e eficiente.

O sexto capítulo faz parte da implementação prática do projeto SRGAI. Este capítulo é dividido em várias secções, começando pela instalação dos sensores, seguida pela montagem final, que inclui o esquema elétrico e a lista de material utilizada no projeto e o seu custo. Além disso, é apresentada a da placa de circuito impresso (PCB), o fluxograma que ilustra o funcionamento do sistema e a análise dos resultados obtidos, avaliando a performance e a eficiência do sistema.

No sétimo capítulo, é descrita a criação da página *Web (dashboard)* que permite a monitorização e controlo do sistema de rega. Esta *dashboard* proporciona uma interface simples e interativa com os dados em tempo real para os utilizadores. O oitavo capítulo apresenta a conclusão e trabalhos futuros, resumindo os pontos-chaves do projeto e sugerindo possíveis expansões do sistema desenvolvido. Por fim são apresentadas as referências bibliográficas e as fontes das imagens que sustentaram este projeto.

2. Enquadramento

2.1 Enquadramento territorial

Este projeto vai incidir numa pequena amostra na Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco, no concelho de Castelo Branco, distrito de Castelo Branco (figura 1) pertencente à NUT III da Beira Baixa. O município de Castelo Branco tem 1438.19 km², 52 272 habitantes (2021) e 19 freguesias o que se traduz numa densidade populacional de 36.4 hab/km². Confinha com o concelho do Fundão a norte, Idanha-a-Nova a leste, Vila Velha de Rodão a sudoeste, Proença-a-Nova e Oleiros a Oeste e Espanha a Sul. [1]

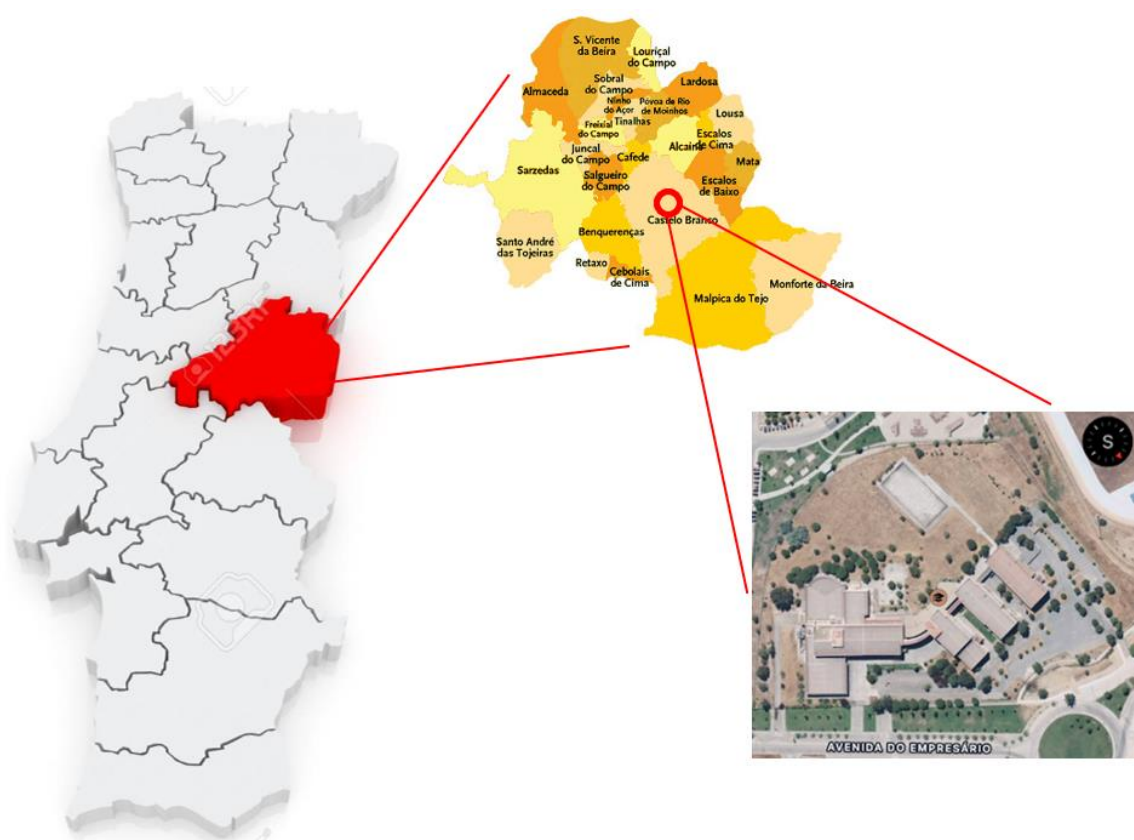


Figura 2 - Enquadramento Territorial
[F2]

Este território apresenta um clima temperado mediterrâneo, com pouca humidade ao longo do ano, classificando-o, segundo a classificação climática de *Köppen-Geiger* como um concelho com clima do tipo Csa. A cidade de Castelo Branco localiza-se numa zona transitória entre o mar Mediterrâneo e o Oceano Atlântico apresentando uma temperatura média de 15,5 °C, tendo a sua média máxima de temperatura, 32.1 °C, no mês de julho e a sua média mínima de temperatura, 3.9 °C, no mês de janeiro. Existem registos de -7 °C no Inverno em contrapartida a cerca de 40 °C no verão. A cidade tem a sua maior abundância de precipitação, por vezes queda de neve entre outubro e janeiro em oposição aos meses de julho e agosto em que a precipitação é escassa e o solo seco. [1, 2]

2.2 Tipo de solo

Portugal é um país bastante diversificado em tipos de solo. De forma a saber o tipo de solo existente no local onde se irão efetuar as experiências de cultivo fez-se uma pesquisa através do “*European Soil Portal*” que nos deu acesso à carta de solos de Portugal apresentada nas figuras 3 e 4. [3]

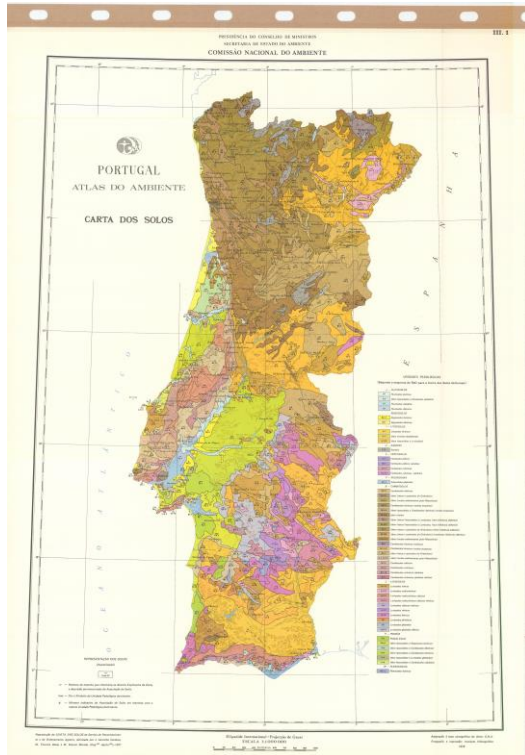


Figura 3 - Carta de Solos Portugal [F3]

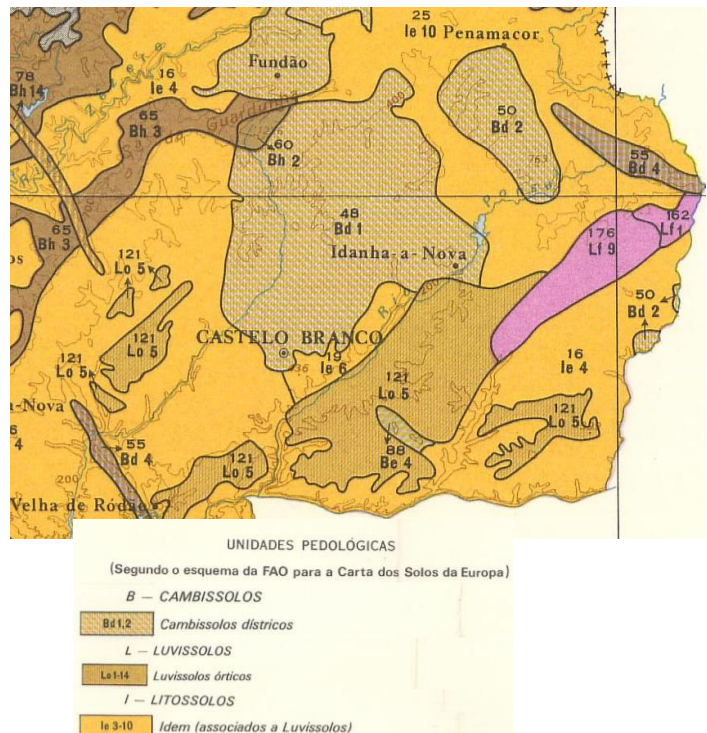


Figura 4 - Carta de solos Castelo Branco e Unidades Pedológicas [F4]

Através da carta de solos foi possível identificar quatro unidades pedológicas no concelho de Castelo Branco, nomeadamente “Cambissolos dístricos” -Bd1 (derivados de xistos e quartzitos), “luvissois órticos” - Lo5 e dois tipos de “litossolos Idem” (associados a Luvissois) - Le5 e Le6. Após a análise do mapa, na zona onde irá ser implementado o projeto temos um solo do tipo “Cambissolos dístricos”. [3]

Este tipo de solo caracteriza-se por ser pouco profundo e de desenvolvimento moderado, encontrando-se numa fase de transição entre um solo jovem e maduro. Apesar de predominar em regiões chuvosas e montanhosas, também pode ser encontrado em áreas de menor altitude, como é o caso da nossa área de implementação, onde existe a erosão de solos mais antigos. [4]

2.3 Tipo de Cultura

A alface (*Lactuca Sativa*) é uma hortense anual ou bienal de ciclo relativamente curto, utilizada na alimentação humana. Existem inúmeras variedades de folhas, cores, formas, tamanhos e texturas. Este é um alimento, que apesar de ser originário do Oriente e Mediterrâneo, é consumido por praticamente todo o mundo. No entanto devido às exigências climáticas desta cultura, a produção em larga escala da alface ocorre apenas nas zonas temperadas do Hemisfério Norte. [5]

Este alimento é consumido, por norma crua em saladas podendo também ser cozinhado quer em sopas quer em esparregado. O seu valor nutritivo varia conforme a diversidade, no entanto todas elas são excelentes fontes de vitaminas A, B1, B2, C, cálcio e ferro. [6,7]

Em Portugal, a alface é cultivada um pouco por todo o país, seja em estufa ou ao ar livre, predominando a sua produção na zona Oeste, Entre-Douro-e-Minho e Beira Litoral. A produção nacional ronda as 55 mil toneladas, representando a terceira principal cultura hortícola em área e quarta maior produção das principais culturas hortícolas. [7]

A fase de desenvolvimento desta planta, caracteriza-se pela produção de folhas mais largas que se sobrepõem as folhas mais jovens, formando um repolho. A formação deste repolho é influenciada negativamente pelas temperaturas elevadas durante um período de fraca luminosidade. No entanto, com luminosidade baixa as temperaturas baixas favorecem a formação de repolho. “Em condições de elevada temperatura e luminosidade, as plantas podem começar a formar repolhos prematuros, que permanecem pequenos e sem qualidade” (Almeida, 2006). Na fase de reprodutiva, existe um alongamento do caule produzindo uma haste floral. Esta fase é favorecida por temperaturas elevadas com um fotoperíodo longo. O momento da colheita não está definido, podendo ser colhida em qualquer altura do seu desenvolvimento, no entanto se a sua colheita for muito tardia as folhas apresentam um sabor amargo ou planta pode espigar. [6,7]

Esta cultura apresenta, por norma, um crescimento ótimo na presença de temperaturas entre 15-20 °C, podendo chegar aos 30 °C de máxima e 6 °C de mínima. A humidade relativa ideal é entre os 60 e os 80%. A luminosidade é também um fator muito importante estando diretamente ligado à temperatura. Ou seja, quando a temperatura é superior a 20 °C são necessários dias longos e com forte luminosidade para um bom crescimento. Por outro lado, quando as temperaturas são baixas são necessários dias mais curtos e com luminosidade mais fraca. [7]

São vários os tipos de solo onde a produção de alface é um sucesso, no entanto é preferível a produção em solos frescos e drenados. Um dos fatores inimigos do crescimento saudável da alface são as pragas de larvas e fungos. [7]

3. Parâmetros de Rega e Necessidades Hídricas

Os parâmetros de rega e as necessidades hídricas das plantas são aspetos essenciais na agricultura de regadio, influenciando diretamente o seu crescimento, desenvolvimento e produtividade. Uma rega adequada é crucial para garantir que as plantas recebam a quantidade de água adequada, evitando tanto a escassez quanto o excesso, que podem ser prejudiciais. [8]

3.1 Condições do solo

O conhecimento da dinâmica da água no solo, que inclui as características de retenção da água e movimento da água, é crucial na agricultura de regadio, afetando diretamente o crescimento das plantas. Tanto a escassez como o excesso de água podem ser prejudiciais para produção das culturas. [8]

Desta forma, é essencial o conhecimento dos estados do solo e das suas condições, dividindo-se em três estados distintos: saturação, capacidade do campo e limiar inferior de água útil no solo (limiar de stress hídrico). Cada um desses estados tem implicações diretas na disponibilidade de água para as plantas e, consequentemente, no seu crescimento e produtividade.



Figura 5 - Estados do solo
[F5]

O estado de saturação ocorre quando existe excesso de água no solo, preenchendo toda a porosidade do solo. Normalmente este estado ocorre após chuvadas prolongadas intensas, ou regas excessivas, resultando normalmente escoamento superficial devido à incapacidade do solo em absorver mais água. O solo quando está saturado apresenta todos os poros (macro e micro) preenchidos por água, impedindo a circulação de ar e resultando na ausência de oxigénio (anoxia) nas raízes. [9]

O estado capacidade de campo representa o ponto de equilíbrio em que o solo retém a quantidade máxima de água disponível para as plantas após o escoamento gravitacional ter terminado. Nesta situação a água encontra-se principalmente nos poros de menor dimensão, permitindo um nível de humidade adequado ao crescimento das plantas na sua máxima eficiência fisiológica. Este indicador é essencial na determinação dos intervalos de rega, definindo a quantidade de água que deve ser aplicada, prevenindo tanto a saturação do solo quanto o limiar de stress hídrico. [10]

O limiar de stress hídrico é o estado de humidade no qual as plantas não conseguem extrair água que ainda existe no solo, levando a condições de secura irreversíveis das plantas. Muito antes do limiar de stress hídrico (fração de água facilmente utilizável pelas plantas), correspondendo ainda a teores de humidade relativamente elevados no solo, e antes que as plantas deixem de estar em conforto hídrico, deve-se desencadear a operação da rega (ponto de rega), repondo normalmente no solo o teor de humidade correspondendo à capacidade de campo. [11]

No entanto existem alguns fatores que influenciam a retenção da água no solo, como por exemplo a textura dos solos, composta por partículas de argila, limo e areia.

O solo arenoso caracteriza-se por uma alta porosidade e permeabilidade, permitindo que a água se desloque rapidamente para camadas mais profundas. Desta forma as camadas mais superficiais do solo acabam por secar mais rapidamente dificultando o crescimento das plantas. Normalmente, nestes solos, a quantidade de argila não ultrapassa os 15%.

O solo argiloso é conhecido pela sua capacidade de retenção de água, sendo menos permeável e contendo uma grande quantidade de óxidos de alumínio e ferro. São solos de textura fina apresentando uma proporção de argila entre 35% e 60%.

O Solo siltoso apresenta partículas pequenas e leves, com granulometria entre a areia e a argila, e, portanto, com características intermédias entre as dos solos arenosos e argilosos. O potencial produtivo destes solos, e a sua aptidão para a atividade agrícola, depende de outras características, como por exemplo o teor de matéria orgânica [12]



Figura 6 - Classificação da textura do solo [F6]

Pelo referido anteriormente, a implementação de sistemas de rega baseados no conhecimento das características de retenção de água pelos solos é crucial para a sustentabilidade agrícola e otimização do uso de água. A compreensão e monitorização constante destas condições permite uma melhor gestão da água.

3.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração (ET) é um processo natural que ocorre na natureza através da conjugação de dois processos, a evaporação e a transpiração. O processo de evapotranspiração consiste na perda de água através da evaporação (passagem do estado líquido para o estado gasoso através de energia) na superfície do solo e da transpiração da água pelas plantas (liberação de vapor de água pelas plantas durante a fotossíntese). A transpiração acontece principalmente através das folhas, no entanto pode ocorrer em outras partes da planta que se encontrem acima do solo. [13]

Este processo possibilita o normal funcionamento do ciclo hidrológico e a regulação climática do planeta, pois permite que a água seja transportada da superfície terrestre para a atmosfera, formando nuvens e eventualmente precipitação, garantindo a continuidade dos ciclos de chuva e a disponibilidade de água doce. Este processo ajuda também na regulação da temperatura local e global, pois a mudança da água do estado líquido para gasoso requer energia, que é retirada do ambiente na forma de calor. [14]

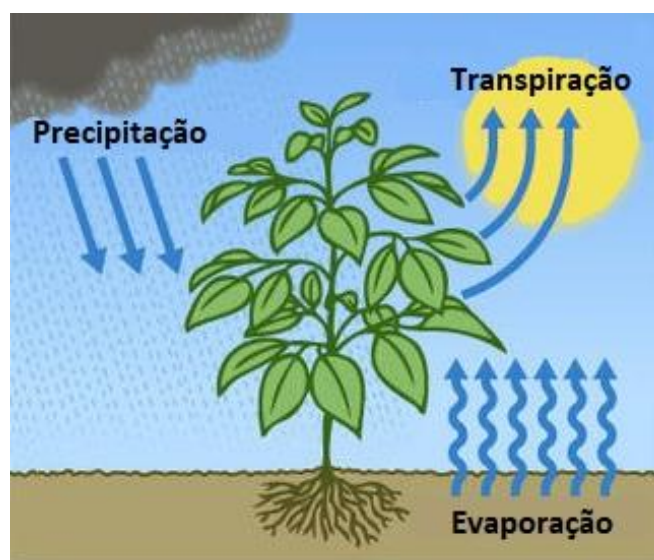


Figura 7 - Processo de evapotranspiração
[F7]

Existem vários fatores ambientais e biológicos que influenciam a evapotranspiração. Alguns desses fatores ambientais são a radiação solar, a temperatura do ar, a humidade relativa, o vento, a precipitação e a pressão atmosférica. Relativamente aos fatores biológicos que influenciam a evapotranspiração temos o tipo de vegetação, a fase de crescimento da planta e as diversas características de cada planta. [13,15]

Um dos fatores ambientais é a quantidade de radiação solar que atinge a superfície da terra, influenciando diretamente a quantidade de água que acaba por evaporar e ser transpirada pelas plantas. Em zonas em que existe uma maior intensidade de radiação solar, verifica-se uma taxa mais elevada de evapotranspiração devido ao aumento de

energia na conversão da água no estado líquido para o estado de vapor de água. A temperatura do ar é também um fator que afeta a humidade relativa, ou seja, quanto maior a temperatura do ar, menor a humidade relativa, aumentando o potencial de evapotranspiração. A existência de temperaturas altas acelera a evaporação da água e aumenta a transpiração das plantas. Em contrapartida, uma maior taxa de humidade relativa reduz a evapotranspiração. O vento influencia diretamente a evapotranspiração pois permite transportar rapidamente o vapor de água que se encontra na superfície e ao redor das plantas, permitindo que exista uma maior evaporação da água e transpiração das plantas. A precipitação é um fator que afeta a quantidade de água disponível para ser evapotranspirada, pelo que, existindo mais água disponível no solo e na superfície das plantas, mais elevada será a taxa de evapotranspiração. Uma pressão atmosférica menor, em maiores altitudes tende a ter um pequeno acréscimo na evapotranspiração devido à menor resistência ao movimento do vapor de água. [13,15,16,17]

A evapotranspiração, como referido anteriormente, é influenciada pelos diferentes tipos de plantas (vegetação). As plantas com folhas maiores geralmente têm uma taxa de transpiração superior a plantas mais pequenas e com folhas de tamanho mais reduzido, influenciando assim a evapotranspiração. Isto acontece porque essas plantas ao terem uma área foliar maior têm também uma maior superfície de transpiração. Em relação à fase de crescimento, as plantas têm tendência a transpirar mais quando estão em crescimento ativo, contrastando as fases de inércia e pós-colheita em que a transpiração e conseqüente evapotranspiração diminuem bastante. Cada planta apresenta características diferentes, como por exemplo o seu próprio sistema (radicular), dado que plantas com um sistema radicular profundo e denso permite o acesso à água em maior profundidade o que reflete uma maior transpiração mesmo em fase de maior seca. [16,17]

A evapotranspiração pode ser classificada em três conceitos diferentes, que embora relacionados possuem características e aplicações diferentes. O primeiro é a Evapotranspiração de Referência (ET_o), sendo um valor estimado para uma cultura de referência sob condições ideais. Ou seja, neste primeiro conceito considera-se um solo com plena disponibilidade de água, numa cultura que cobre completamente a superfície do solo e em desenvolvimento ativo. O segundo conceito é a Evapotranspiração cultural sem qualquer tipo de constrangimento ao desenvolvimento das plantas, nomeadamente o stress hídrico (ET_c), representando, num cenário de plena disponibilidade de água, o máximo volume de água que pode ser perdido através da evaporação do solo e da transpiração das plantas num determinado período.

Por fim, a Evapotranspiração cultural em condições da existência de qualquer tipo de stress, nomeadamente hídrico (ET_{cajus}), consiste na quantidade real de água que evapora do solo e transpira das plantas em determinado período de tempo. Este conceito, ao contrário dos anteriores, tem em consideração diversos tipos de constrangimentos ao desenvolvimento ótimo das plantas.

3.3 Cálculo da evapotranspiração

Para este projeto será necessário calcular a evapotranspiração de referência (ET_o) como valor central para o cálculo das necessidades de rega da cultura do nosso projeto. Optamos pela utilização da metodologia de cálculo de *Penman-Monteith* FAO, pois, segundo Allen et al. (1998), é a “fórmula mais fiável, uma vez que é um método com uma grande probabilidade de prever corretamente a ET_o numa grande variedade de locais e climas e pode ser aplicada em situações com poucos dados”. Este método consiste em calcular a evapotranspiração, admitindo um bom abastecimento de água.

Em 1948, Penman iniciou o desenvolvimento desta equação, combinando o balanço de energia com o método de transferência de massa. Mais tarde, em 1965, Monteith incorporou o termo aerodinâmico na equação anteriormente criada por Penman. [20]

Este método tem em consideração a temperatura do ar, a radiação diária, a humidade do ar, o vento, o calor médio do solo e a altitude. Para isso será então usada a fórmula 3.1:

$$ET_o = \frac{0.408 * \Delta * (R_n - G) + \frac{\gamma * 900 * U * (e_s - e_a)}{T + 273}}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 * U)} \quad (3.1)$$

Em que:

- ET_o - Evapotranspiração de referência (mm);
- Δ - Coeficiente psicrométrico (kPa/°C);
- R_n - Saldo de radiação diário (MJ/m².dia);
- G - Fluxo total diário de calor no solo (MJ/m².dia);
- γ - Declive da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (kPa/°C);
- U - Velocidade do vento medido a 2 metros de altura (m/s);
- e_s - Pressão de saturação de vapor (kPa);
- e_a - Pressão atual de vapor (kPa);
- T - Temperatura média do ar (°C).

Por norma, são usados valores de referência para R_n, G.

O parâmetro Δ (delta) é determinado através da variável de temperatura do ar e outros valores fixos. O valor Δ calcula-se da seguinte forma:

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0.6108 * \exp\left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3}\right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad (3.2)$$

Em que:

- T - Temperatura do ar.

O parâmetro γ (gamma) é determinado com base na pressão atmosférica, no calor latente de vaporização, no coeficiente de peso molecular de vapor de água por ar seco e pelo calor específico a pressão constante. Para isso, γ calcula-se da seguinte forma:

$$\gamma = \frac{cp * P}{\varepsilon * \lambda} \quad (3.3)$$

Em que:

- cp - Calor específico a pressão constante ($1.013 * 10^{-3}$ MJ/kg. °C).
- P - Pressão atmosférica (kPa).
- ε - Quociente de peso molecular de vapor de água por ar seco (0.622).
- λ - Calor latente de vaporização (2.45 MJ/kg).

Para calcular o valor da pressão atmosférica é necessário ter em consideração a altitude. Para isso, calcula-se da seguinte forma:

$$P = 101.3 * \left(\frac{293 - 0.0065 * Z}{293} \right)^{5.26}$$

Em que: (3.4)

- z - Altitude (m)

Assim resulta na seguinte fórmula 3.5 do cálculo de γ :

$$\gamma = \frac{c_p * P}{\varepsilon * \lambda} = \frac{(1.013 * 10^{-3}) * \left(101.3 * \left(\frac{293 - 0.0065 * z}{293}\right)^{5.26}\right)}{0.622 * 2.45 * 10^3} \quad (3.5)$$

O parâmetro “ es ” (pressão média de vapor de saturação) é determinado com base na média de temperatura de $e^o(T)$. Assim resulta a fórmula 3.6:

$$es = \frac{e^o(Tmax) + e^o(Tmin)}{2} \quad (3.6)$$

$$e^o(T) = 0.6108 * \exp\left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3}\right) \quad (3.7)$$

Em que:

- $Tmax$ – temperatura relativa máxima (%);
- $Tmin$ – temperatura relativa mínima (%);
- T - Temperatura do ar (°C);
- es – pressão média de vapor de saturação (kPa);
- $e^o(T)$ – pressão de saturação de vapor à temperatura do ar T (kPa);

O parâmetro “ ea ” (pressão real de vapor) é baseado nos valores da humidade relativa máxima, a humidade relativa mínima, a temperatura relativa máxima, a temperatura relativa mínima:

$$ea = \frac{e^o(T min) * \frac{HR max}{100} + e^o(T max) * \frac{HR min}{100}}{2} \quad (3.8)$$

Em que:

- ea – pressão real de vapor (kPa);
- $HRmax$ - humidade relativa máxima (%);

- HR_{min} – humidade relativa mínima (%);
- T_{max} – temperatura relativa máxima (%);
- T_{min} – temperatura relativa mínima (%);

Resultando na seguinte fórmula 3.9:

$$ea = \frac{es * HR}{100}$$

Em que:

(3.9)

- HR – humidade relativa (%)

4. Componentes de *Hardware* do Sistema

Neste capítulo serão explorados os componentes de *hardware* que constituirão o sistema deste projeto servindo de alavanca para entendimento do mesmo. A compreensão detalhada destes elementos é essencial para o sucesso da implementação. Cada componente será analisado destacando as suas funções, especificações técnicas e contribuições para o funcionamento global do projeto.

4.1 ESP32

Um microcontrolador (μC) é um circuito integrado (*microchip*) único, ou seja, semelhante a um computador muito pequeno, constituído por um núcleo de processador, memórias voláteis e não voláteis e periféricos de entrada e saída de dados que juntam o *Hardware* e o *Software*. [21] Com o aumento da automatização mundial é imprescindível a utilização de microcontroladores na área da eletrónica. Os μC nasceram da invenção de dois engenheiros da *Texas Instruments*, em 1971. [22] A partir daí foram muitos os μC criados pelas mais diversas empresas da área da eletrónica.

Para este projeto escolhemos trabalhar com a placa de desenvolvimento baseada no microcontrolador ESP-WROOM-32 com WI-FI e capacidade Bluetooth. Os μC ESPs são uma criação e produção da empresa *Espressif Systems* que lançou o seu primeiro modelo, ESP8266, em 2014. Devido ao seu sucesso a empresa chinesa, criou, em 2016 o ESP32 tornando-se o mais famoso da família ESPs. Neste μC destacam-se como pontos fortes a velocidade de processamento, a conectividade *WI-FI* e *Bluetooth Low Energy (BLE)*. Além disso é possível programar esta placa com as linguagens de programação *Lua*, *Python*, *JavaScript* ou *Arduíno IDE*. [23,24]



Figura 8 - ESP32
[F8]

O ESP32 apresenta um sistema dual core: o PRO_CPU para o protocolo e o APP_CPU para aplicação. A memória interna, memória externa e periféricos localizam-se no barramento de dados e/ou barramento de instruções. Projetado para trabalhar até 32-bit e frequências de *clock* de 80 a 240 MHz ajustáveis.

Apresenta um espaço de endereço para dados e barramento de instruções de 4 GB e uma RAM de 512 KB. Exibe memórias internas ROM de 448 KB, SRAM de 520 KB e duas memórias RTC de 8 KB. A memória externa suporta até quatro vezes *Flash* de 16 MB. [25]

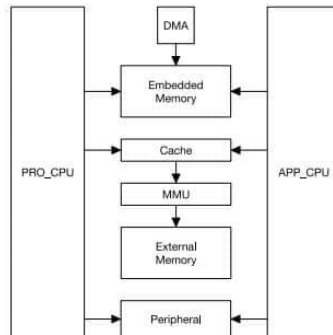


Figura 9 - Arquitetura do ESP32 [F9]

O ESP32 é um microcontrolador altamente versátil para projetos de Internet das Coisas (IoT), graças à sua ampla gama de periféricos e interfaces de comunicação, incluindo SPI, UART, I2C, IR, SDIO, CAN, *Ethernet*, DAC, sensores de toque e I2S. Além disso, possui *hardware* de criptografia embutido com suporte a SHA1 e AES, aumentando a segurança das comunicações. O ESP32 destaca-se pelo coprocessador de consumo ultrabaixo (ULP), que permite executar tarefas simples enquanto os processadores principais estão desligados, proporcionando modos de *sleep* mais avançados que o ESP8266. Em termos de conectividade, o ESP32 suporta Wi-Fi e Bluetooth 4.2 com BLE, ideal para dispositivos e aplicações que requerem baixo consumo de energia. A combinação dessas características torna o ESP32 uma excelente escolha para o desenvolvimento de IoT. [26]

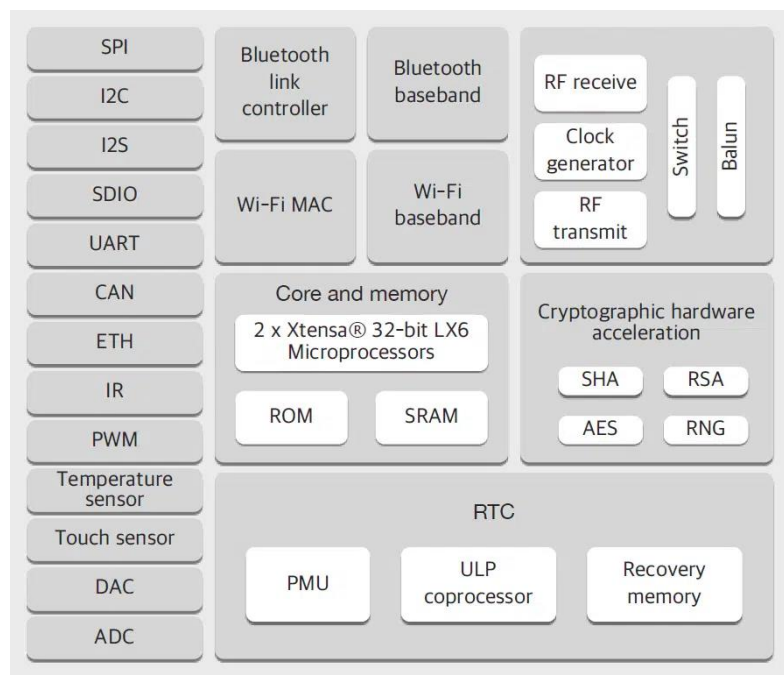


Figura 10 - Diagrama de blocos ESP32 [F10]

O ESP32 possui várias versões de pinos de saída (*pinout*), tendo sido escolhido para este projeto uma placa ESP32 DEVKIT V1 DOIT de 30 pinos e 3.3V. Esta placa é composta por um pino de saída de 3.3V, para alimentar periféricos externos, dois pinos de GND, um pino VIN que serve como alimentação externa e um pino EN (*enable*) usado para habilitar e desabilitar o chip.

Os pinos GPIO (*General Purpose Input/Output*) permitem ser configurados tanto como entrada ou saída de leituras digitais e emissão de sinais de controlo de dispositivos externos. Possui também pinos ADC (*Analog-to-Digital Converter*) que permitem a conversão de sinais analógicos para digitais, essencial para alguns sensores que emitem sinais analógicos, ao contrário dos pinos DAC (*Digital-to-Analog Converter*) que convertem os sinais digitais em analógicos. Os pinos UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) possibilitam uma comunicação série, bastante importante na programação e comunicação com outros dispositivos serial. Os pinos I2C (*Inter-Integrated Circuit*) são utilizados para a comunicação com periféricos (sensores, *displays*, ...) com protocolo I2C. Existe ainda pinos PWM (*Pulse Width Modulation*) capazes de controlar dispositivos como leds, modulando a largura de pulso dos sinais. [27,28]

O ESP32 é uma evolução significativa em relação ao ESP8266, disponibilizando melhorias e recursos adicionais. Já em relação ao *Arduíno*, podemos encontrar algumas semelhanças com o *Arduíno Uno*, visto que ambos são microcontroladores. No entanto o ESP32 apresenta uma grande vantagem ao possuir Wi-Fi e Bluetooth BLE em oposição ao ESP8266 que apenas possui Wi-Fi e ao *Arduíno* que não possui nenhuma dessas conectividades incorporadas.

Em termos de processador, o ESP8266 possui um único núcleo de 32 bits, a uma frequência de até 160 MHz, enquanto o ESP32 tem um sistema *dual core* de 32 bits cada um e um *clock* ajustável de 80 a 240 MHz, proporcionando um melhor desempenho. Já o *Arduíno Uno* é composto por um microcontrolador ATmega328P com um núcleo de 8 bits a operar a 16MHz, resultando num desempenho muito inferior ao ESP32.

Relativamente à memória, o ESP8266 dispõe de uma RAM de 160 KB enquanto o ESP32 conta com 520KB de SRAM, 448 KB de ROM, duas memórias RTC de 8KB e suporte para memória externa de até 16MB de Flash e o *Arduíno* 2KB de SRAM e 32 KB de Flash.

O microcontrolador ESP32 apresenta uma vasta gama de periféricos, interfaces de comunicação e *hardware* de criptografia em relação ao seu antecessor. O *Arduíno Uno* apesar de apresentar algumas interfaces como UART, I2C, SPI e PWM, fica aquém da gama apresentada pelo ESP32.

Os microcontroladores da família ESP destacam-se também pelo suporte de múltiplas linguagens de programação ao contrário do *Arduíno* que é limitado ao *Arduíno IDE* e à linguagem baseada em C/C++. [29,30,31]

4.2 Sensor de Humidade do Solo (SEN0114)

Os sensores de humidade do solo são dispositivos que permitem medir a quantidade de humidade presente no solo. Neste trabalho recorreu-se a um sensor da “DFRobot” SEN0114 Resistivo e 3 sensores FC-28.

Estes sensores de humidade do solo apresentam duas sondas em níquel (metal) revestidas por *Immersion Gold* de forma a serem protegidas. Cada sensor faz passar a corrente de uma sonda para a outra sonda através do solo lendo a resistência para calcular o nível de humidade. Quanto mais água existir no solo menos resistividade, ou seja, maior será a condutividade entre as sondas, enquanto o solo seco há maior resistividade. Resumidamente este sensor utiliza as duas sondas para passar corrente através do solo e conforme a sua resistência emite um nível de humidade. A principal diferença entre este sensor sendo resistivo e os sensores capacitivos é a durabilidade tendo os sensores capacitivos maior durabilidade prevista. [32,33,34]

Nos sensores FC-28 foi necessário colocar um módulo conversor de sensor YL-38 LM393. Este conversor permite ao sensor funcionar tanto no modo analógico quanto no modo digital. [34]

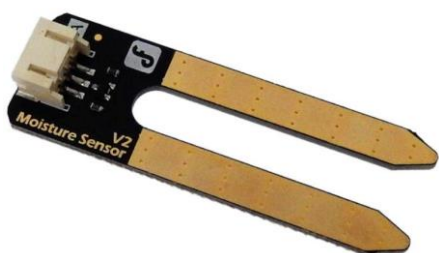


Figura 12 - Sensor de humidade do solo (SEN0114)
[F12]

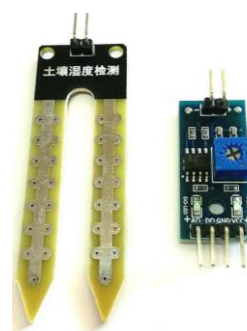


Figura 11 - Sensor de humidade do solo (FC-28) e conversor YL-38 LM393
[F11]

Especificação:

- Fonte de alimentação: 3,3 ou 5V;
- Sinal de tensão de saída: 0 a 4,2 V;
- Corrente: 35mA/15mA;
- Acabamento de superfície: ouro de imersão;
- Definição do pino: Saída analógica (fio azul) GND (fio preto) Alimentação (fio vermelho);
- Tamanho: 60 x 20 x 5 mm;
- Definição do pino: Alimentação (fio vermelho), GND (fio Preto) e Dados (fio amarelo).

4.3 Sensor de Temperatura (DS18B20)

Sensores de temperatura são dispositivos que permitem identificar e medir com precisão várias mudanças de temperatura. Para este trabalho recorreu-se a um sensor *One-Wire* (barramento de um fio apenas) fabricado pela *Dallas Semiconductor* DS18B20 para medir a temperatura da água.

Este sensor é um sensor digital que trabalha com o protocolo *One-Wire*, ou seja, toda a comunicação é feita por um único fio de dados (A), um fio para a VCC (V) e um fio de GND (Ve).

Cada sensor DS18B20 tem um código de série exclusivo de 64 bit, o que permite o funcionamento de até 127 sensores no mesmo barramento (no fio *One-Wire*) utilizando a biblioteca "*OneWire*" para fazer a comunicação através do protocolo I2C.

É possível encontrar este sensor em três modelos diferentes, do tipo TO92, DS18B20U (versão SMD) e por fim DS18B20 tipo sonda. Para este projeto, uma vez que vai ser utilizado para medir a temperatura da água, optou-se pelo tipo sonda. [35,36,37]



Figura 14 - DS18B20 tipo TO92
[F13]



Figura 13 - DS18B20 tipo SMD
[F13]



Figura 15 - DS18B20 tipo Sonda
[F13]

Especificação:

- Fonte de alimentação: 3,3 ou 5V;
- Corrente: 1mA;

- Intervalo de temperatura: -55°C a 125°C;
- Precisão: $\pm 0.5^\circ\text{C}$;
- Resolução: 9 a 12 bits;
- Definição do pino: Alimentação (fio vermelho), Dados (fio Amarelo) GND (fio Verde).

4.4 Sensor de Temperatura e Humidade (SHT1X)

Sensores de temperatura e humidade são dispositivos que permitem fazer leituras de temperatura e humidade. Para este trabalho recorreu-se a um sensor da “Sensirion” o SHT1X capaz de fornecer dados confiáveis e estáveis.

Este sensor é coberto por uma malha metálica para aumentar a resistência à temperatura, à pressão e ao desgaste, tornando-o um sensor robusto, preciso e antiferrugem. Foi concebido, graças a sua malha metálica, para trabalhar em ambientes agressivos e de fácil montagem em qualquer parede.

A sua interface *Série* de 2 fios permite um sistema fácil e rápido. O sensor não permite a utilização do protocolo I2C, no entanto pode ser conectado ao barramento I2C. Para isso, um dos fios entrada de relógio série - *Serial Clock* (SCL) será usado para sincronizar a comunicação entre o ESP32 e o sensor. O outro fio será o de dados - *Serial Data* (SDA), que funciona através de flancos ao longo do tempo, ou seja, cada vez que o SCL tiver um flanco de subida, os dados através do SDA serão enviados do sensor para o microcontrolador.

É recomendado usar uma resistência *pull-up* externa ($10\text{k}\Omega$), entre o VCC e os dados, de forma a impor, por defeito, nível um neste pino, assim como um condensador de 100nF para eliminar ruídos de alta frequência entre o VCC e a GND. [38,39,40]



Figura 16 - Sensor de temperatura e humidade (SHT1X)
[F16]

Especificação:

- Fonte de alimentação: 2,5 a 5V;
- Consumo de energia: 0,15mW (médio);
- Intervalo de humidade: 0% a 100%;
- Intervalo de temperatura: -10°C a 80°C;
- Precisão humidade: $\pm 0.5\%$;
- Precisão temperatura: $\pm 0.5^\circ\text{C}$;
- Interface serial digital de dois fios;
- Definição do pino: Alimentação (fio vermelho), GND (fio Azul), Dados (fio Preto) e Sinal de relógio (fio Amarelo).

4.5 Sensor de Detecção de Líquido (XKC-Y25-T12V)

Os sensores de deteção de líquido são sensores capazes de detetar a presença de vários tipos de líquidos transmitindo a presença ou não de líquido.

Para este projeto recorreu-se ao sensor da “DFRobot” SEN0204 utilizando o chip XKC-Y25-T12V capaz de detetar a presença de líquidos sem necessidade de contacto através de tecnologia avançada de processamento de sinal sendo uma mais-valia para ambientes perigosos, uma vez que não necessita de contacto.

Este sensor vem equipado como um adaptador de interface também da DFRobot “Gravity” com quatro níveis de sensibilidade a serem configurados no botão SET e conectado no pin 4 ADJ da figura 7, daí a informação vinda do sensor tem 4 pinos no adaptador e a saída para o microcontrolador ter apenas 3 pinos.

O sensor é de fácil instalação, apresentando um desempenho estável, alta durabilidade e capacidade para detetar líquidos através de plástico, vidro e cerâmica. Deve salientar-se que este sensor não tem capacidade de detetar líquidos que não conduzam eletricidade, como é o caso da gasolina e outros derivados do petróleo. [41,42]



Figura 17 - Sonda do sensor de líquido
[F17]

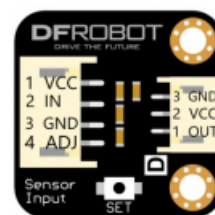


Figura 18 - Adaptador do Sensor de líquido
[F17]

Especificação:

- Chip: XKC-Y25-T12V;
- Fonte de alimentação: 5V a 24V;
- Material exterior: ABS;
- Corrente: 5mA;
- Tempo de resposta: 500ms;
- Proteção do sensor: IP67;
- Erro relativo: $\pm 3\%$;
- Definição do pino: Alimentação (fio vermelho), GND (fio Preto) e Dados (fio verde).

4.6 Sensor de Caudal (YF-S401-3507)

Um sensor de caudal é um sensor capaz de medir o caudal em litros por minuto que flui nele. Neste projeto optamos por colocar o sensor de caudal YF-S401 que consiste numa cápsula de plástico uma ventoinha e um sensor de Efeito Hall. Quando o líquido flui através do sensor a ventoinha gira acoplada com um imã, quanto maior fluxo mais a ventoinha irá rodar. Dentro do sensor existe um sensor de Efeito Hall que recebe pulsos de frequência através do imã da ventoinha [43,44,45,46]



Figura 20 - Sensor de Caudal (YF-S401)
[F20]

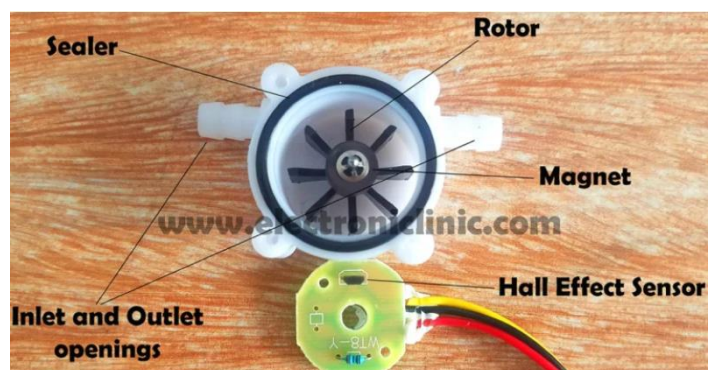


Figura 19 - Sensor de Caudal (YF-S401) internamente
[F19]

A partir desta frequência de pulsos é possível, através da equação 4.1 calcular o caudal de água:

$$Q = \frac{98}{F} \quad (4.1)$$

- Q – Caudal de líquido [$\frac{L}{min}$]
- F - Frequência de pulsos de saída [Hz]

Especificação:

- Fonte de alimentação: 5V a 12V;
- Pressão de água de prova: <0,8 MPa;
- Faixa de fluxo de água: 0,3-6 L/min;
- Corrente operacional: 15 mA (CC 5V);
- Resistência de isolamento: >100 MΩ;
- Precisão: ±5% (0,3-3L/min);
- Definição do pino: Alimentação (fio vermelho), GND (fio Preto) e Sinal (fio Amarelo).

4.7 Anemómetro (JL-FS2)

Um anemómetro ou sensor de velocidade do vento é um instrumento utilizado para medir a velocidade do vento. Para executar essa medição existem vários tipos de anemómetros entre os quais tipo concha, tipo sónico e tipo hélice. [47]

Para este projeto recorreu-se ao modelo JL-FS2 da empresa DFROBOT composto por três copos, um involucro durável ventosas e um módulo de circuito integrado. Possui ainda no seu interior um processador de microcomputador industrial e um gerador de corrente padrão. Foi concebido em liga de alumínio, possuindo uma alta resistência às intempéries e à corrosão.

Este sensor de vento/anemómetro caracteriza-se pela sua precisão e durabilidade “apresentando um alcance efetivo de 0-30m/s, uma resolução de 0,1m/s e alta adaptabilidade ambiental com uma temperatura de trabalho de -40°C~80°C, ideal para vários setores, da meteorologia à agricultura.” [48]



Figura 21 - Anemômetro

Especificação:

- Fonte de alimentação: 12V a 24V;
- Tensão de saída: 0-5V;
- Consumo de energia: max $\leq 0,3W$;
- Velocidade inicial do vento: 0,4-0,8 m/s;
- Faixa de medição eficaz: 0-30 m/s;
- Precisão: $\pm 3\%$;
- Definição do pino: Alimentação (fio vermelho), GND (fio Preto) e corrente (fio Amarelo).

4.8 Electroválvula 12 V $\frac{3}{4}$ "

Uma electroválvula é uma válvula mecânica para controlo da passagem de líquidos através de um tubo. Para este projeto iremos usar uma electroválvula 12VDC normalmente fechada (NC - *Normal Closed*) com um tubo de PVC $\frac{3}{4}$ ". A pressão mínima de atuação da electroválvula é cerca de 3L/min (3 PSI). A electroválvula, normalmente fechada, ao receber uma corrente de entrada abre permitindo a passagem de líquido. [49]

Para este projeto será necessário conectar a electroválvula ao microcontrolador ESP32. Para isso será essencial ligar um optoacoplador e um relé entre o ESP32 e a electroválvula. Quando, por decisão do microcontrolador, for necessário abrir a electroválvula, o ESP32 irá enviar para opto-acoplador um sinal que irá sair para o relé criando uma variação de corrente na bobine do relé. O relé, NC, ao receber essa variação de corrente irá mover a sua membrana para o normalmente aberto (NO-*Normal Open*) e assim ativar a electroválvula. [49,50]



Figura 23 - Eletroválvula 12V [F23]

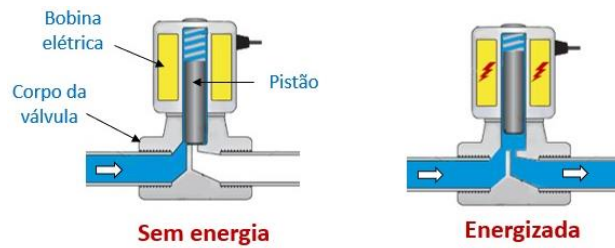


Figura 22 -Funcionamento electroválvula [F22]

Optoacoplador:

Um optoacoplador é um dispositivo eletrónico composto por um led e um fotodíodo (detetor de luz) encapsulados de forma a proporcionar um isolamento elétrico. Será usado o optoacoplador PC845 da “SHARP” que integra 4 PC815. O LED irá emitir luz infravermelha sempre que exista sinal elétrico e direcionada para o fotodíodo. O fotodíodo, sendo sensível à luz, passará a gerar uma corrente elétrica capaz de acionar e controlar um circuito na saída. Neste caso, o optoacoplador será utilizado para controlo do relé “permitindo o isolamento elétrico entre o circuito de controle e o circuito de potência do relé”. [51,52]

Neste projeto será necessário colocar uma resistência de cerca de 680Ω entre o microcontrolador ESP32 e a entrada do optoacoplador para evitar que a fonte entre em curto-circuito (CC). [52]



Figura 24 - Optoacoplador PC815 [F24]

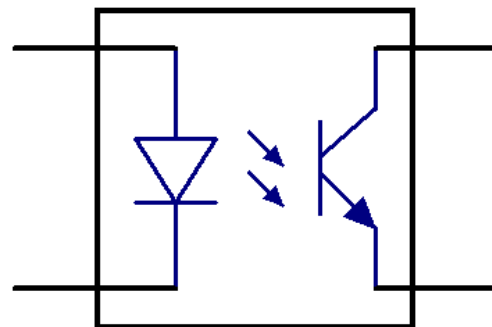


Figura 25 -Optoacoplador PC815 internamente [F25]

Especificação:

- Corrente de entrada (LED): 20mA;
- Tensão máxima de saída: 30VDC;
- Corrente máxima de saída: 50mA.

Relé:

Um relé é um interruptor eletromecânico capaz de ligar e desligar dispositivos. Para este projeto será utilizado o relé da Omron G2R-2 5VDC. Cada vez que existe uma corrente elétrica a entrar no relé esta percorre a bobine criando um campo magnético que puxa a armadura em direção ao núcleo e altera o estado da alavanca de *NO* para *NC*. Quando o estado da alavanca altera passa a ter tensão e corrente na saída. Quando a corrente na bobine é desligada a armadura volta à sua posição inicial assim como a alavanca, deixando de haver corrente na saída. [53]



Figura 26 - Relé G2R-2 5VDC
[F26]

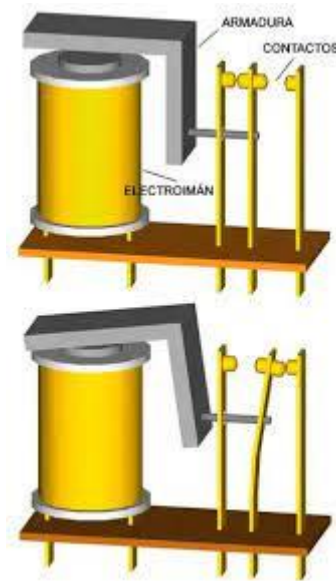


Figura 27 - Funcionamento Relé
[F27]

Especificação:

- Resistência da bobina: 47 Ω ;
- Tensão da bobina: 5 V;
- Corrente máxima de contato: 5 A;
- Tensão de contato VCA: 250 V;
- Tensão de contato VCC: 30 V.

5. *Software*

Enquanto os componentes de *hardware* formam a estrutura física o *software* comanda as operações do sistema. Após um bom conhecimento e compreensão da função de cada componente cabe ao *software* interligar, comandar e instruir cada elemento de *hardware*.

5.1 *Arduíno IDE*

O *Arduíno IDE (Integrated Development Environment)* é um *software* de código aberto para programar e executar projetos baseados nas placas *Arduíno* e outras placas de desenvolvimento, como é o caso do ESP32. O *Arduíno IDE* tem como linguagens de programação o C e C++ oferecendo uma interface de programação ideal tanto para iniciantes como para os mais experientes.

Este *software*, foi lançado pela primeira vez em 2005 com o objetivo de tornar a eletrónica e a programação acessíveis a uma maior audiência. Desta forma, passou a ser possível até mesmo a pessoas sem experiência criar projetos que combinassem *hardware* e *software*. As várias atualizações do *Arduíno IDE*, até à atual versão 2.0, permitem que hoje se tenha um *software* mais intuitivo, moderno, mais poderoso e com melhores suportes.

Algumas das suas funcionalidades permitem ter mais simplicidade e eficiência. Este *Software* permite escrever, editar e formatar o código C/C++, possibilita converter o código em linguagem de máquina para que a placa (*Arduíno*, Esp32,...) entenda. Além disso confere a oportunidade de monitorizar a comunicação serial entre a placa e o computador, admite a instalação e uso de bibliotecas já existentes, auxilia na identificação de erros no código. Algumas das vantagens do uso do *Arduíno IDE* são a possibilidade de funcionamento nos vários sistemas operacionais (*Windows, macOS e Linux*), a existência de código aberto que possibilita a cada utilizador adaptar às suas necessidades, um vasto compartilhamento de suporte e recursos online (fórum) e o facto de ser uma plataforma gratuita. [54,55]

6. Protocolos de Comunicação

Este capítulo fornece uma análise dos protocolos de comunicação utilizados no âmbito do projeto. Os protocolos de comunicação facilitam a troca de dados entre os vários componentes do sistema, garantindo a integridade e eficiência das comunicações. Cada protocolo será descrito em termos de funcionalidades e características e a forma como são inseridos no projeto.

6.1 *One-Wire*

O protocolo de comunicação *One-Wire* é um sistema de barramento desenhado e projetado pela *Dallas Semiconductor* em que é possível ter dados de baixa velocidade e sinalização num único fio de dados, mas de longa distância. Este protocolo permite realizar comunicações bidirecionais por uma linha de dados comum sem sinal de *clock*. Utiliza um condensador interno para guardar carga quando a linha de dados está no nível alto e em seguida usa essa carga para operações quando a linha está no nível baixo.

6.2 I2C

O protocolo de comunicação I2C destaca-se pela característica de possibilitar a comunicação de diversos dispositivos através de um barramento único de dois fios, sendo apenas necessário que cada dispositivo tenha um endereço diferente. O ESP32 possui suporte integrado para I2C fazendo deste um excelente μC para projetos que necessitem de comunicação entre sensores, displays, memórias e outros dispositivos I2C. [56,57]

7. Implementação do Sistema

Este capítulo apresenta os resultados obtidos durante a execução e finalização do projeto. A validação de resultados e aplicação permite-nos comprovar a eficácia de todos os elementos colocados em prática, identificar possíveis melhorias futuras e assegurar que os objetivos definidos foram alcançados.

7.1 Sensores

Como princípio à montagem do projeto, executou-se a programação e testes de cada sensor de forma individualizada. Cada sensor foi configurado e verificado separadamente para garantir o melhor desempenho ao projeto final com o objetivo de solucionar problemas encontrados.

```
-----  
Endereço IP: 192.168.0.100  
Percentagem de humidade media:68%  
Temperatura da água do depósito: 22.06 °C  
Temperatura do ar: 29.11°C  
Humidade do ar: 38.85 %  
Nível do depósito: Entre 10% e 50%  
Velocidade do Vento: 1 m/s  
Evapotranspiracao: 5.48 mm/seg  
Caudal:1.3 L/min  
Total liquido: 222 mL / 0.22 L  
Abrir Válvula - A regar  
-----
```

Figura 28 - "Output" Sensores

7.1.1 Humidade do Solo

Este é um sensor de fácil montagem e fácil programação. Para efetuar a montagem bastou ligar o fio vermelho à alimentação a 3.3V, o fio preto à GND e o fio amarelo ao pino desejado. Para o nosso projeto, de forma a obter uma melhor qualidade de resultados, optou-se por colocar 4 sensores de humidade do solo. Estes sensores foram ligados no ESP32 nos pinos 35,4,17 e 5, respetivamente. A figura 29 representa o esquema de ligações dos sensores de humidade do solo e a figura 30 mostra a fotografia do sensor no terreno de experimentação.

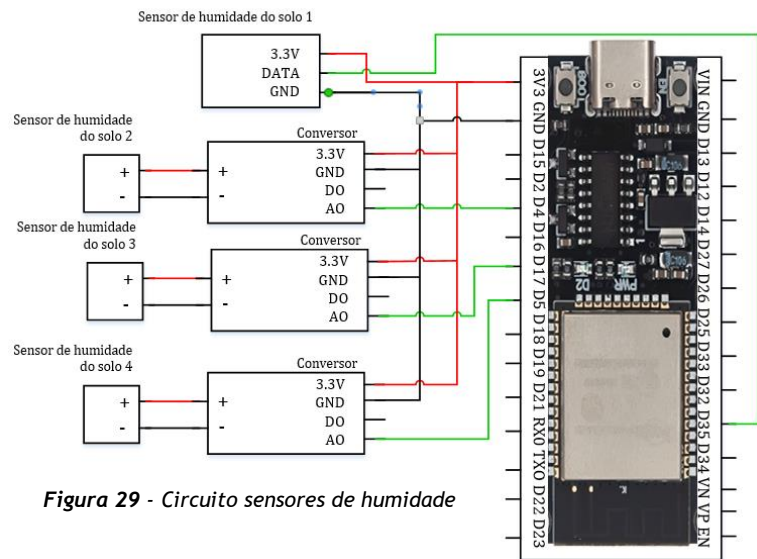


Figura 29 - Circuito sensores de humidade



Figura 30 - Implementação Sensor Humidade do Solo

A programação, consistiu em fazer a leitura de cada sensor apenas com o comando “*analogRead(x)*”, em que *x* é o número do pino do ESP32. De modo a obter um resultado em percentagem foi multiplicado por 100. Inicialmente surgiram valores abaixo do pretendido, tendo sido resolvidos com o cálculo entre os valores de saturação de saída e o valor da tensão de alimentação. Desta forma, conseguimos obter os valores desejados, tendo valores entre 0% e 100%, em que 0% corresponde ao solo seco e os 100% correspondem a um solo encharcado. Fazendo o teste entre dois solos com níveis de percentagem completamente diferentes obtivemos os valores da figura 31.

```

Output  Serial Monitor  x
Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32 DEVKIT V1')

11:07:20.796 -> Percentagem de humidade:0%
11:07:23.808 -> Percentagem de humidade:87%
11:07:26.802 -> Percentagem de humidade:82%
11:07:29.798 -> Percentagem de humidade:82%
11:07:32.786 -> Percentagem de humidade:82%
11:07:35.809 -> Percentagem de humidade:72%
11:07:38.811 -> Percentagem de humidade:0%
11:07:41.790 -> Percentagem de humidade:75%
11:07:44.769 -> Percentagem de humidade:0%
11:07:47.794 -> Percentagem de humidade:0%
11:07:50.800 -> Percentagem de humidade:0%
    
```

Figura 31 - "Output" percentagem humidade

7.1.2 Temperatura

Este sensor permite-nos saber a temperatura da água do depósito. Desta forma fez-se a seguinte ligação ao ESP32: para a alimentação a 3.3V ligou-se o fio vermelho, a GND o fio Verde e para os Dados o fio Amarelo. Este sensor requer uma atenção redobrada aquando da ligação dos fios, visto não ser habitual ter um fio verde para a GND.

Foi também colocada uma resistência de $4.7k\Omega$ entre a alimentação e os dados. A esta resistência chama-se resistência *pull-up* que permite o correto funcionamento do protocolo *One-Wire* utilizado por este sensor, assim como a garantia de que o barramento de dados mantém o estado de repouso adequado, permitindo comunicação bidirecional confiável e prevenindo interferências. A figura 32 representa o esquema de ligações do sensor de temperatura da água e a figura 33 mostra a fotografia do sensor no depósito.

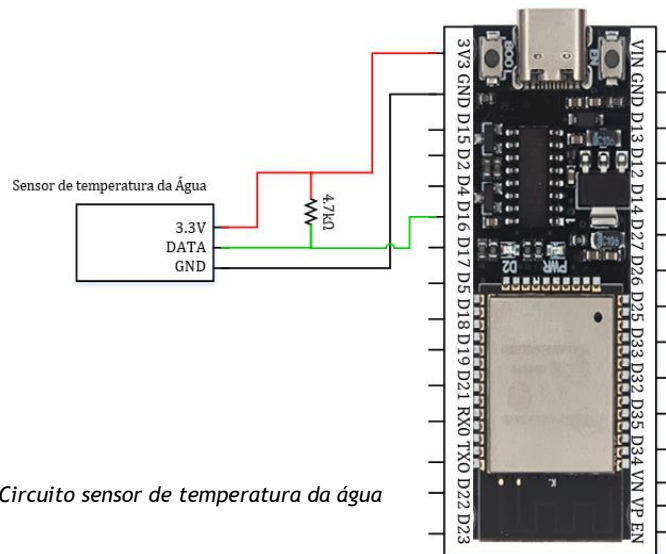


Figura 32 - Circuito sensor de temperatura da água



Figura 33 - Implementação Sensor Temperatura da água

A programação do sensor DS18B20 conectado ao pino 16 do ESP32, constituiu a criação de um objeto “*OneWire*” para fazer a gestão da comunicação no barramento 1-Wire. De seguida foi criado o objeto “sensor” da classe “*DallasTemperature*” com referência ao objeto “*OneWire*” criado anteriormente para interagir com o sensor DS18B20. Posteriormente, inseriu-se uma linha, “*sensor.requestTemperatures()*”, para iniciar o sensor a medir a temperatura e outra linha “*sensor.getTempCByIndex(0)*” para ler e retornar o valor da temperatura da água em graus Celsius no índice 0 do barramento. A figura 34 mostra-nos os valores da temperatura do depósito naquele momento.

```

Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32 DEVKIT V1' on 'COM7')
10:57:59.689 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:00.193 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:00.663 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:01.177 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:01.688 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:02.192 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:02.658 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:03.182 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:03.652 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:04.206 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:04.697 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:05.172 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:05.678 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:06.184 -> Temperatura da água do depósito: 17.69 °C
10:58:06.683 -> Temperatura da água do depósito: 17.75 °C
10:58:07.197 -> Temperatura da água do depósito: 17.81 °C
10:58:07.694 -> Temperatura da água do depósito: 17.87 °C

```

Figura 34 - "Output" da Temperatura da água do depósito

7.1.3 Temperatura e Humidade

O sensor de temperatura e humidade será usado para a avaliação destas variáveis meteorológicas do meio ambiente no local de cultivo. Este sensor tem 4 fios sendo eles: fio vermelho para a alimentação a 3.3V, o fio azul para a GND, o fio amarelo para o SCK e o fio preto para os dados. Existe o cuidado de não trocar os fios visto que a GND neste sensor é no fio azul. Embora o sensor não possa ser endereçado pelo protocolo I2C pode ser conectado ao barramento

Colocou-se uma resistência de 10kΩ entre a alimentação (VCC) e o pino de dados (DATA). A resistência de *pull-up* garante que a linha de dados esteja num estado lógico alto quando não existe nenhum dispositivo a impor um nível baixo, prevenindo flutuações de dados e leituras incorretas.

Além do referido, colocou-se um condensador entre a alimentação (Vcc) e a GND. Este condensador permite-nos filtrar os ruídos de alta frequência da alimentação, possibilitando uma alimentação estável. A figura 35 representa o esquema de ligações do sensor de temperatura e humidade do ar e a figura 36 mostra a fotografia do sensor no local de experimentação.

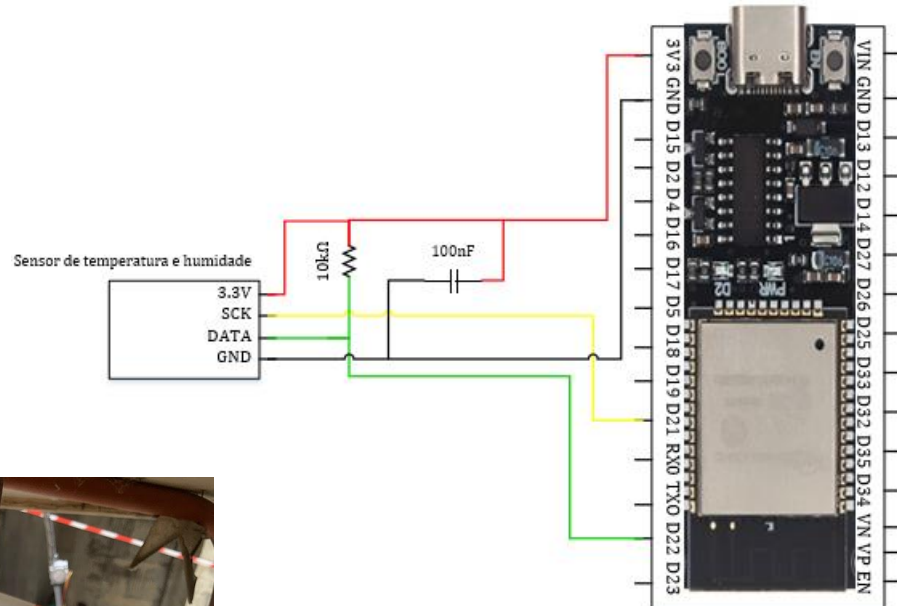


Figura 35 - Circuito sensor temperatura e humidade



Figura 36 - Implementação Sensor de Temperatura e Humidade

Para programar este sensor foi necessário criar um objeto nomeado sht1x da biblioteca SHT1x para inicializar a comunicação do sensor usando os pinos de dados e de relógio (SCK), respetivamente nos pinos 22 e 21. A biblioteca SHT1x fornece duas linhas capazes nos dar os valores da temperatura, em graus Celsius, e da humanidade sendo elas: “sht1x.readTemperatureC()”, para a temperatura e sht1x.readHumidity(), para a humidade.

```

Output  Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32 DEVKIT V1' on 'COM7')  New Line

11:09:49.435 -> Temperatura do ar: 18.09°C / Humidade do ar: 55.33 %
11:09:51.488 -> Temperatura do ar: 18.10°C / Humidade do ar: 55.05 %
11:09:53.522 -> Temperatura do ar: 18.10°C / Humidade do ar: 54.87 %
11:09:55.516 -> Temperatura do ar: 18.10°C / Humidade do ar: 54.74 %
11:09:57.554 -> Temperatura do ar: 18.10°C / Humidade do ar: 55.75 %
11:09:59.585 -> Temperatura do ar: 18.11°C / Humidade do ar: 58.17 %
11:10:01.648 -> Temperatura do ar: 18.14°C / Humidade do ar: 62.00 %
11:10:03.678 -> Temperatura do ar: 18.19°C / Humidade do ar: 66.02 %
11:10:05.696 -> Temperatura do ar: 18.24°C / Humidade do ar: 69.35 %
    
```

Figura 37 - "Output" da temperatura e humidade do ar

7.1.4 Detecção de Líquido

Para a deteção de líquido foram utilizados dois sensores de modo a obter informação relativamente ao nível de água no depósito. Colocou-se um sensor a junto ao fundo do depósito (10% de água) e outro sensor nos 50%. Desta forma, conseguimos ter perceção qual o nível aproximado de água no depósito.

Para conectar o sensor ao ESP32 colocou-se a alimentação a 3.3V com o fio vermelho, a GND com o fio preto e os dados (DATA) no fio verde. A figura 38 representa o esquema de ligações dos sensores de deteção de líquido e a figura 39 mostra a fotografia dos sensores no exterior do depósito.

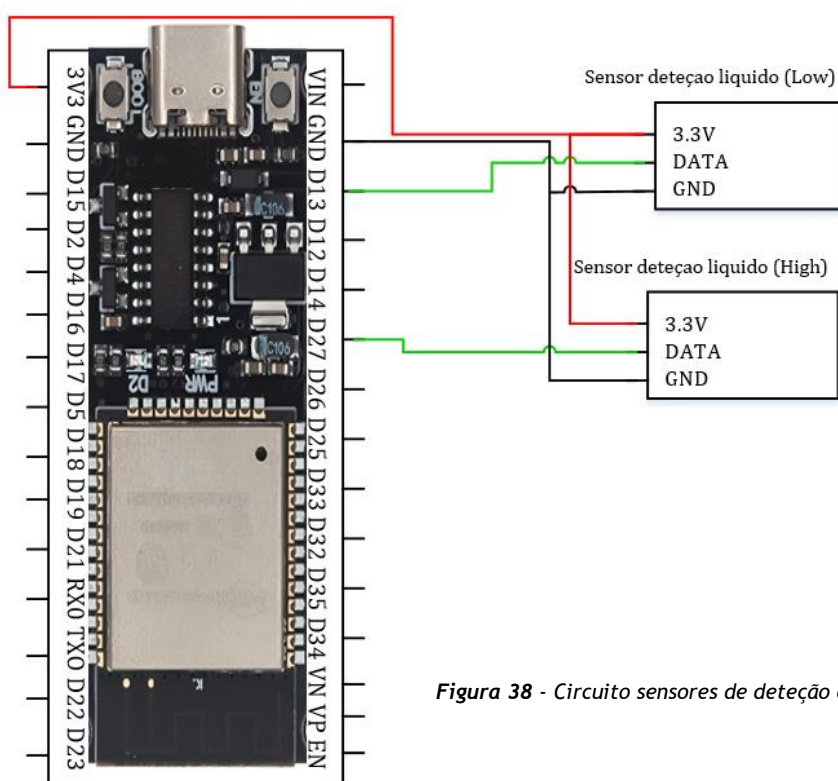


Figura 38 - Circuito sensores de deteção de líquido



Figura 39 - Implementação Sensores de deteção de líquido

Este sensor apenas necessita de detetar a presença do líquido, logo apenas foi necessário colocar o seguinte comando “*liquido_min=digitalRead(13)*” para um dos dois sensores e “*Liquido_max=digitalRead(27)*” para o outro sensor. Estes comandos detetam a presença ou não de líquido e devolvem 0 ou 1, respetivamente. Permite-nos assim saber se o nível da água esta abaixo de 10%, entre 10% e 50 %, acima de 50% ou se tem algum erro de leitura.

```

Output Serial Monitor x
Output
Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32

11:14:01.737 -> Agua abaixo de 10%
11:14:11.730 -> Agua entre 10% e 50%
11:14:21.782 -> Agua acima de 50%
11:14:31.705 -> ERRO

```

Figura 40 - "Output" do nível de água no depósito

7.1.5 Caudal

O sensor de caudal, capaz de nos devolver os volumes de água por minuto e o valor total de litros, foi colocado em funcionamento com a alimentação a 5V no fio vermelho, a GND no fio preto e os dados no fio Amarelo.

Tivemos de recorrer ao uso de um potenciómetro de 100kohm, garantindo compatibilidade entre os 5V do sensor e os 3.3V do microcontrolador evitando possíveis danos no ESP32. O potenciómetro consegue assim reduzir a tensão de saída a um nível que o ESP32 controle com segurança. A figura 41 representa o esquema de ligações do sensor de caudal e a figura 42 mostra a fotografia do sensor no terreno de experimentação.

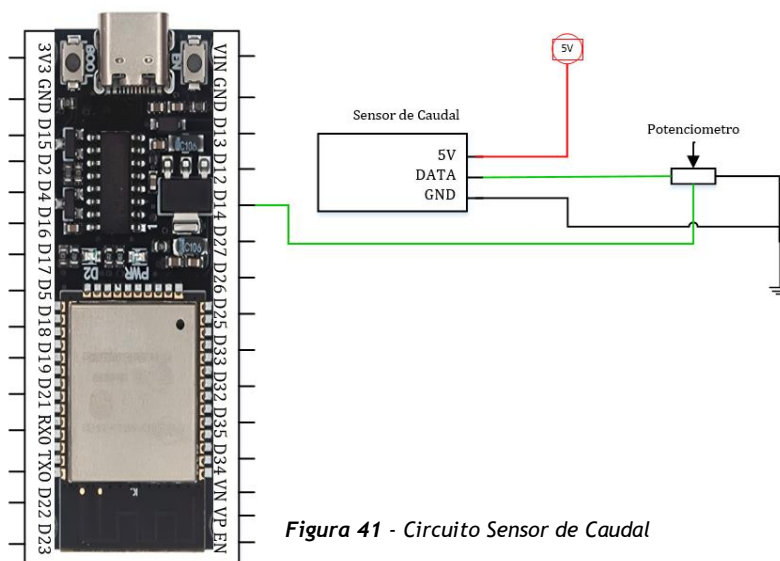


Figura 41 - Circuito Sensor de Caudal



Figura 42 - Implementação Sensor de Caudal

Para este sensor foi necessário criar uma função de interrupção, que é chamada sempre que o sensor deteta um pulso e incrementa a variável “*pulseCount*”. Configuramos então o comando “*attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), flowSensorISR, RISING)*” com o número do pino do microcontrolador e a função de interrupção sempre que existe uma borda de subida no pino do sensor.

Desta forma retiramos o número de pulsos e calculamos o caudal através da expressão referida anteriormente (capítulo 4.6), $Q = \frac{98}{F}$. O caudal permite-nos assim calcular também os litros de água utilizados em mililitros e em litros, tal como mostra a figura 43.

```

Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32 DEVKIT V1' on '
11:19:39.525 -> caudal:0.0 L/min
11:19:39.525 -> Total liquido: 694 mL / 0.69 L
11:19:40.546 ->
11:19:40.546 -> caudal:0.0 L/min
11:19:40.546 -> Total liquido: 694 mL / 0.69 L
11:19:41.529 ->
11:19:41.529 -> caudal:2.6 L/min
11:19:41.529 -> Total liquido: 736 mL / 0.74 L
11:19:42.507 ->
11:19:42.542 -> caudal:5.6 L/min
11:19:42.542 -> Total liquido: 828 mL / 0.83 L
11:19:43.528 ->
11:19:43.528 -> caudal:3.2 L/min
11:19:43.528 -> Total liquido: 882 mL / 0.88 L
11:19:44.539 ->
11:19:44.539 -> caudal:1.2 L/min
11:19:44.539 -> Total liquido: 902 mL / 0.90 L
11:19:45.532 ->
11:19:45.532 -> caudal:0.7 L/min
11:19:45.532 -> Total liquido: 912 mL / 0.91 L
11:19:46.526 ->
11:19:46.526 -> caudal:0.3 L/min
11:19:46.526 -> Total liquido: 916 mL / 0.92 L
11:19:47.524 ->
11:19:47.524 -> caudal:0.0 L/min
11:19:47.524 -> Total liquido: 916 mL / 0.92 L

```

Figura 43 - "Output" do caudal e água total

7.1.6 Anemómetro

O anemómetro, como peça fundamental neste projeto, foi colocado a mais de dois metros de altura de forma a conceder valores da velocidade do vento mais realistas ao nosso projeto. Este sensor de velocidade de vento foi colocado em funcionamento com uma alimentação de 12V (fio vermelho), a GND no fio preto e os dados com o fio amarelo no pino D25. A figura 44 representa o esquema de ligações do Anemómetro e a figura 45 mostra a fotografia do sensor no junto ao terreno de experimentação.

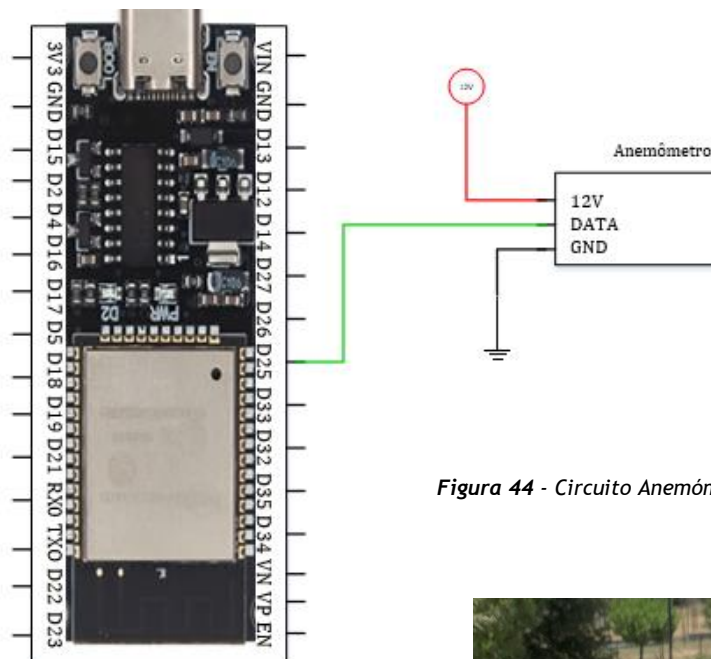


Figura 44 - Circuito Anemómetro



Figura 45 - Implementação Anemómetro

O sensor de vento foi programado através da leitura analógica no pino D25 (`analogRead(25)`). De seguida foi necessário converter a leitura analógica em tensão. As leituras analógicas variam entre 0 e 4095 (12 bits), no entanto foi necessário converter numa tensão de 0 a 5 volts (tensão máxima de saída do sensor). Para isso multiplicou-se o valor analógico por $(5.0 / 4095.0)$ resultando na tensão de *output*.

Para calcular a velocidade do vento utilizou-se a seguinte formula, $V=6*U$ (tensão de output).

```

Output  Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32 DEVKIT V1')
-----
11:21:51.160 ->
11:21:52.092 -> volts = 677outvoltage = 0.83V
11:21:52.092 -> Velocidade do Vento: 4 m/s
11:21:52.128 ->
11:21:53.096 -> volts = 582outvoltage = 0.71V
11:21:53.096 -> Velocidade do Vento: 4 m/s
11:21:53.142 ->
11:21:54.109 -> volts = 522outvoltage = 0.64V
11:21:54.109 -> Velocidade do Vento: 3 m/s
11:21:54.143 ->
11:21:55.107 -> volts = 438outvoltage = 0.53V
11:21:55.107 -> Velocidade do Vento: 3 m/s
11:21:55.145 ->
11:21:56.119 -> volts = 426outvoltage = 0.52V
11:21:56.119 -> Velocidade do Vento: 3 m/s
11:21:56.157 ->

```

Figura 46 - "Output" da velocidade do vento

7.1.7 Eletroválvula

O circuito da eletroválvula (electroválvula, optoacoplador e relé), como peça fundamental ao nosso projeto, permitiu-nos consoante as necessidades hídricas ter um tempo de rega automático. Este circuito facilitou-nos por não ser necessário ninguém estar junto do depósito a abrir uma torneira para realizar a rega. Desta forma, consistiu numa mais-valia, uma vez que ajudou a tornar este projeto de gestão de água mais inteligente. A figura 47 representa todo esquema de ligações do circuito da eletroválvula e a figura 48 mostra a fotografia da eletroválvula a saída do depósito.

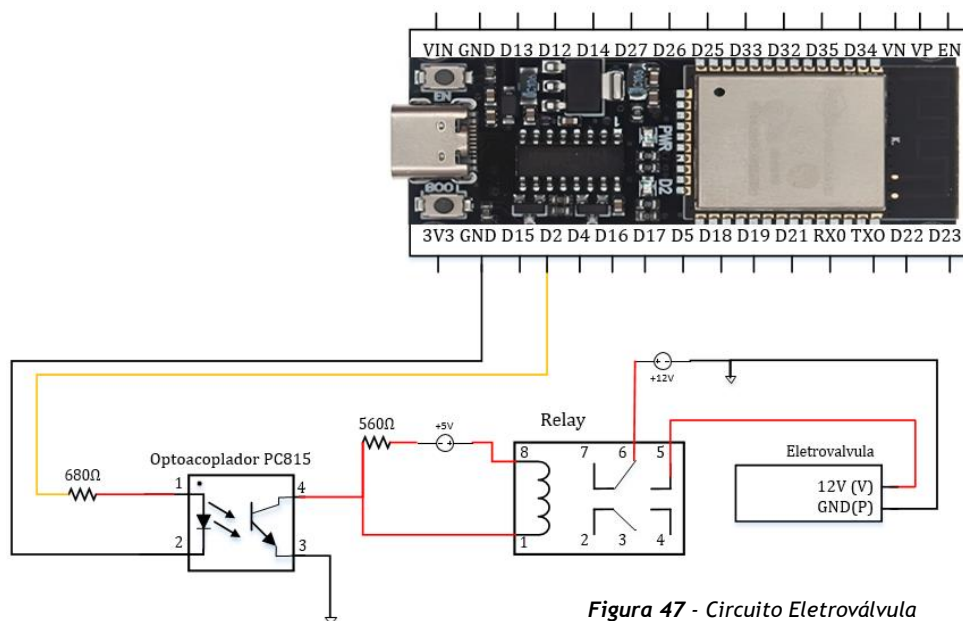


Figura 47 - Circuito Eletroválvula



Figura 48 - Implementação Eletroválvula

O acionamento da electroválvula é realizado com base no cálculo da evapotranspiração e da quantidade de água disponível no depósito. Desta forma, criámos 5 conjuntos de processos. O primeiro corresponde à evapotranspiração baixa, não necessitando assim de rega; o segundo, embora tenha uma evapotranspiração alta, não existe água suficiente no depósito o que resulta na impossibilidade de regar; o terceiro apresenta evapotranspiração alta, no entanto o depósito não se encontra completamente cheio, prevendo-se que a água no depósito acabe rapidamente; o quarto é semelhante ao anterior, no entanto o depósito encontra-se praticamente cheio; por fim o quinto corresponde a algum erro nos sensores o que impossibilita a rega durante um período de tempo até que seja detetado o erro e resolvido.

7.2 Montagem final (Esquema Elétrico)

Na figura 49 é apresentado o esquema elétrico de todo o sistema implementado.

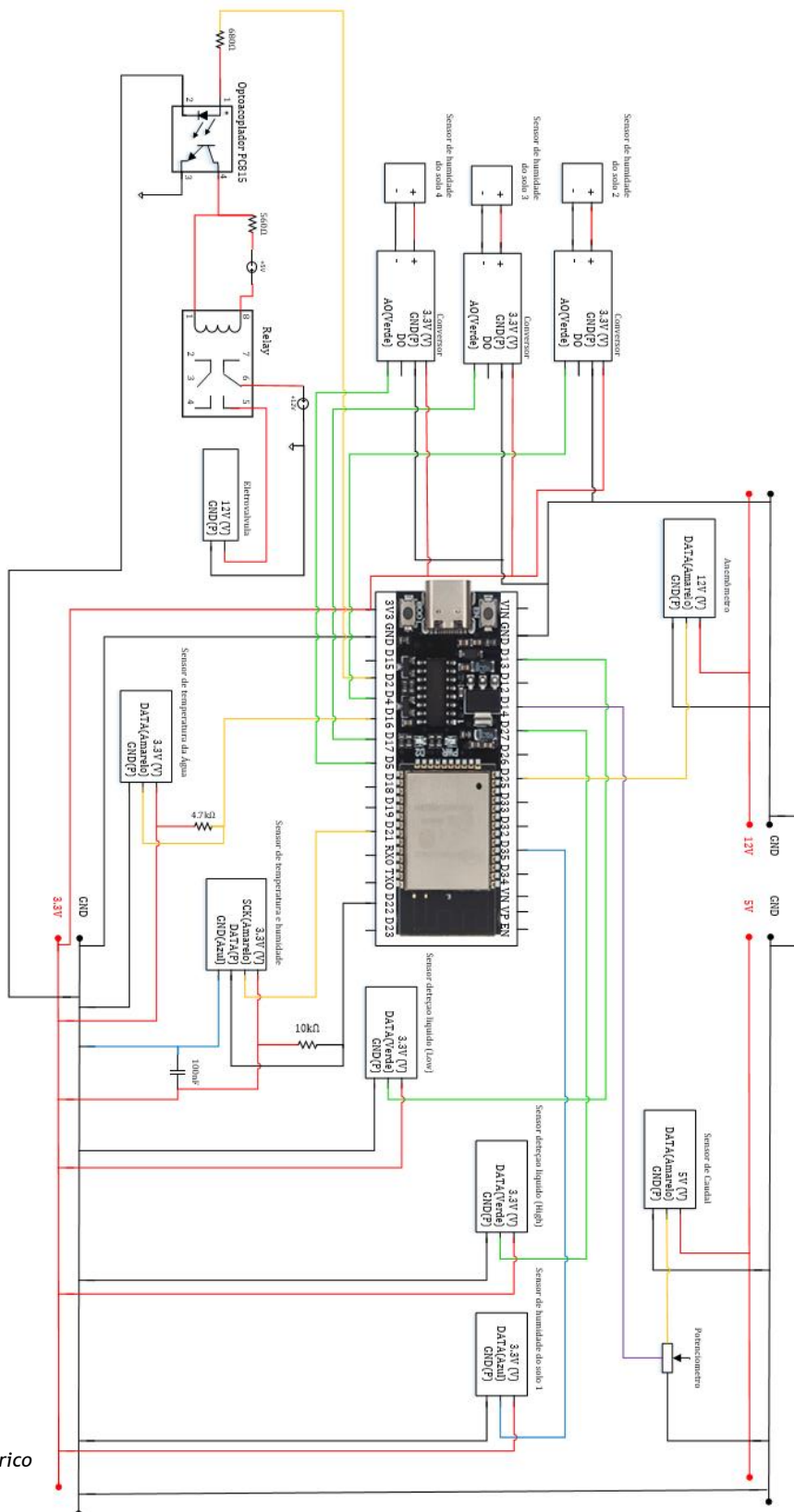


Figura 49 - Esquema Elétrico

7.3 Lista de Material

Neste subcapítulo é apresentado todo o material utilizado na construção e manutenção do projeto. Salientamos os empréstimos/doações de material, como por exemplo a mesa de apoio ao depósito da água assim como as ripas de madeira colocadas a volta da plantação. Na tabela 1, referimos ainda algum material que foi necessário comprar para a implementação do projeto, tais como o substrato de terra, o tubo de rega, os TE's, os cotovelos, as abraçadeiras, o fio de arame e a fita de sinalização.

Tabela 1 - Lista de Material

Quant.	Componente	Preço (€)	Distribuidor
1	ESP32	12,95	Botnroll
1	Sensor de Humidade SEN01114	2,51	Mouser Electronics
3	Sensor de Humidade FC-28	1,25	Mauser
1	Sensor de Temperatura DS18B20	4,65	Botnroll
1	Sensor de Temp. e humidade SHT1X	45,45	Mauser
2	Sensor Deteção de líquido SEN0204	11,07	Mouser Electronics
1	Sensor Caudal YF-S401-3507	4,00	TinyTronics
1	Anemómetro JF-FS2	83,20	Botnroll
1	Electroválvula 12 V 3/4"	4,97	SATKIT
1	Optoacoplador	0,30	Mauser
1	Relé Omron G2R-2 5VDC	8,24	Mauser
1	Cultura (alfaces)	1,12	Agriloja
1	Substrato de terra	7,98	Agriloja
1	Estrutura	Empréstimos	
1	14mts Tubo rega 8mm	9.30	Agriloja
3	TE 8mm	3.82	Agriloja
3	Cotovelos 8mm	2.16	Agriloja
1	30 Abraçadeiras plásticas	2.00	HiperBB
1	Fio Arame	3.15	HiperBB
1	50mts Fita Sinalização	2.10	HiperBB
Total		235,75	

7.4 Placa de Circuito Impresso (PCB)

As figuras 50, 51 e 52 representam a placa de circuito Impresso nos formatos 3D, esquema e trilhos, respetivamente.

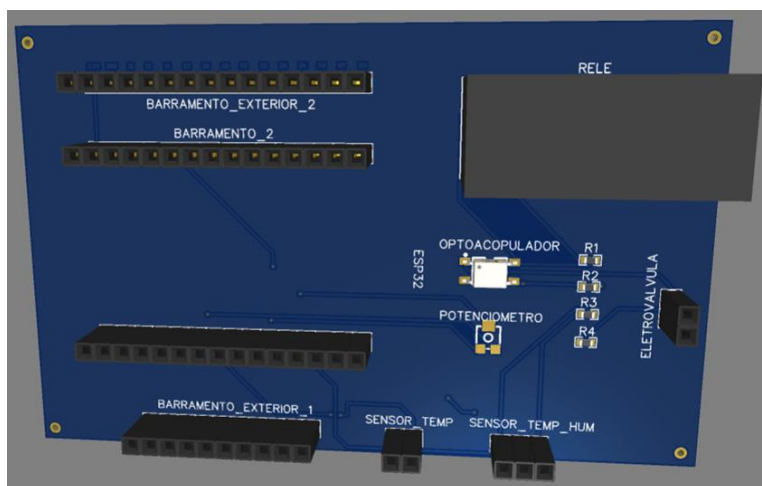


Figura 50 - Esquema da PCB em 3D

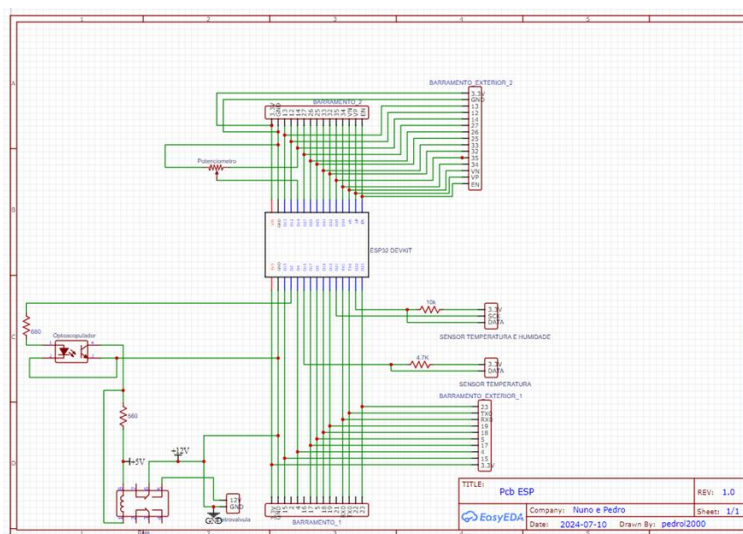


Figura 51 - Esquema Elétrico da PCB

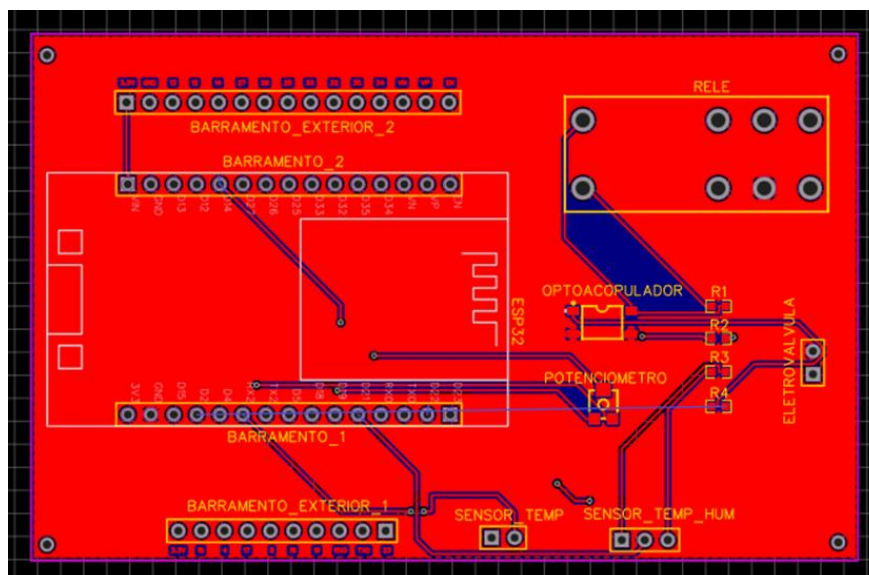


Figura 52 - Trilhos da PCB

7.5 Fluxograma

Na figura 53 é apresentado o fluxograma que descreve o funcionamento do programa no ESP32.

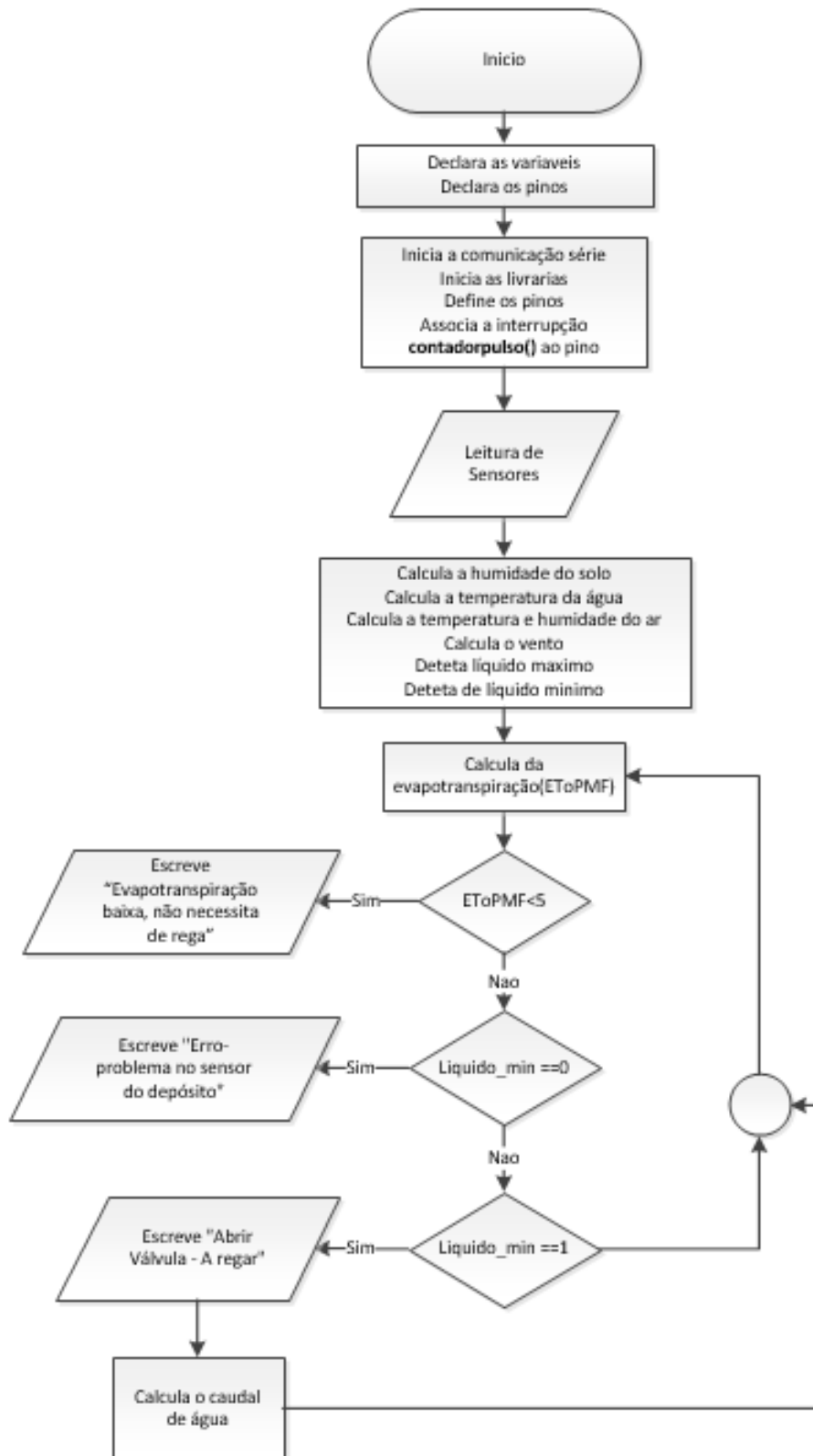


Figura 53 - Fluxograma

7.6 Análise de Resultados

Este capítulo tem como principal objetivo apresentar os resultados fundamentais e análise dos dados recolhidos neste projeto, com base na avaliação visual do crescimento das plantas e pelos dados recolhidos pelos vários sensores.

A plantação das alfaces foi realizada no dia 24 de junho de 2024 (dia 1 do ciclo), pelas 18h30min do lado de baixo (Oeste) do bloco D da Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco. Foi escolhido este horário mais tardio devido as temperaturas altas registadas na cidade de Castelo Branco nesse dia. Desta forma, a cultura de alfaces conseguiu, ao ser transplantada para o local de plantação aguentar melhor a humidade da noite que se aproximou e ter uma melhor transplantação. Foram plantadas duas espécies diferentes, alface roxa e alface crespa.

Ao contrário do desejado, não foi colocado o sistema (sensores, μC e atuador) no terreno esta semana devido ao mau tempo previsto, segundo o IPMA, para o fim desta primeira semana de testes (dia 4 e dia 5 do ciclo). No entanto, o sistema encontrou-se em funcionamento em local protegido dando a oportunidade de se conseguir recolher dados aproximados. O único dado que poderá não ser tão real será o da humidade do solo, já os restantes acreditamos que sejam muito semelhantes, uma vez que foram recolhidos num local muito próximo ao local da plantação.



Figura 54 - Dia 1 (plantação)

Tal como previsto anteriormente, os dias 27, 28, 29 e 30 de junho de 2024 (dias 4, 5, 6 e 7 do ciclo da cultura) ficaram marcados por trovoadas acompanhadas por longos períodos de chuva por vezes intensa nos dois primeiros dias e os restantes dois dias chuva moderada.

No dia 1 de julho de 2024 (dia 8 do ciclo), após uma semana da plantação das alfaces, foi observado e analisado o crescimento das plantas. As alfaces apresentaram um crescimento inicial com bom desenvolvimento, com um estabelecimento firme ao

solo e um aumento de tamanho. As mesmas apresentam sinais de adaptação positiva ao novo ambiente, sem sinais aparentes de doenças ou pragas.

A alface roxa aparentou ter um crescimento ligeiramente mais rápido em comparação com a alface crespa, possivelmente devido à diferença nas características genéticas de cada espécie.



Figura 55 - Dia 8 (plantação)

Neste oitavo dia após a plantação, procedeu-se finalmente à instalação do sistema, que esteve condicionado anteriormente pela chuva no final da semana anterior. A implementação decorreu normalmente, tendo apenas o anemómetro causado alguma preocupação ao enviar dados errados. No entanto, esse problema foi prontamente resolvido, detetando-se a origem desse problema num dos fios do sensor. Excetuando esta situação, apenas tivemos pequenos ajustes já previsíveis e normais na implantação deste tipo de projetos.



- 1- Anemómetro;
- 2- Sensores deteção de líquido;
- 3- Sensor temperatura e humidade do ar;
- 4- Sensores de humidade do solo;

Figura 56 - Implementação do projeto

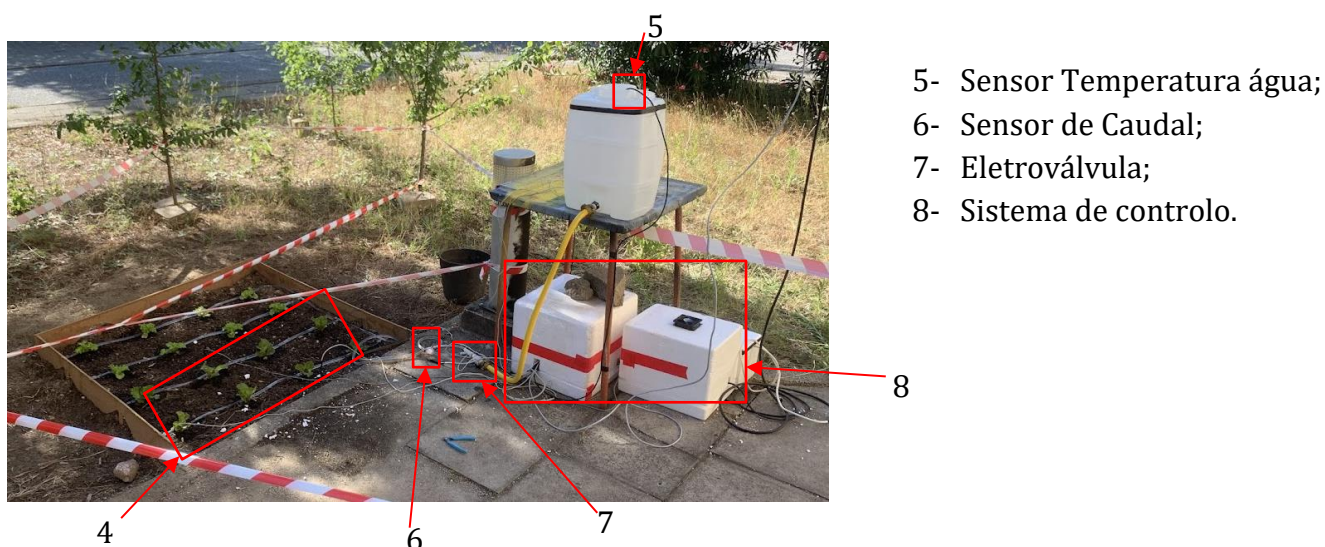


Figura 57 - Projeto Implementado

No dia seguinte (dia 9 do ciclo) pela manhã, fez-se uma análise ao comportamento do sistema durante as últimas horas, resultando em pontos positivos uma vez que todas as condições avaliadas evoluíram no sentido previsto. Esta avaliação manteve-se positiva ao longo da semana, mesmo com temperaturas elevadas, exceto na madrugada do dia 5 de julho (dia 12 do ciclo) em que o sistema teve uma baixa, prontamente resolvida pelas 8 horas da manhã. No entanto, esta situação não afetou negativamente o desenvolvimento das alfaces, uma vez que aconteceu durante a madrugada mantendo o solo na humidade ideal.

No dia 8 de julho de 2024 (dia 15 do ciclo), procedeu-se a uma nova avaliação geral do projeto, mantendo-se os parâmetros em valores normais. As alfaces mantiveram um crescimento uniforme, uma vez que, à semelhança da semana anterior, a alface roxa apresentou um maior crescimento, indicando que o sistema e a monitorização estavam a funcionar corretamente.



Figura 58 - Dia 15 (Plantação)

Em retrospectiva à semana anterior, e com base na inspeção realizada no dia 15 depois da plantação, verificou-se o bom funcionamento de todos os sensores com a garantia de dados precisos e consistentes. O projeto apresentou uma boa adaptação, mesmo com as variações climáticas que se registaram desde o dia da plantação, exibe garantias de eficiência pelo bom desenvolvimento das alfaces.

Ao fim de 22 dias de plantação, dia 15 de julho, após uma última semana positiva ao desenvolvimento das alfaces devido à estabilização dos valores das temperaturas, humidade do ar e humidade do solo é possível concluir pontos bastante positivos no crescimento das alfaces sem pragas e/ou doenças. Ambas as espécies mantiveram um crescimento contínuo, no entanto, a alface roxa apresentou sempre um desenvolvimento maior.



Figura 59 - Dia 22 (plantação)

ETo

Nesta secção são apresentadas os dados relativos à Evapotranspiração, cujos valores estão representados na Tabela 2 e no gráfico 1, para o período de análise de resultados.

Tabela 2 - ETo diário

	Data	ETo (IPMA)
1	24 junho	7.37
2	25 junho	6.17
3	26 junho	5.67
4	27 junho	3.71
5	28 junho	0.8
6	29 junho	2.99
7	30 junho	4.33
8	1 julho	6.11
9	2 julho	7.18
10	3 julho	7.05
11	4 julho	7.44
12	5 julho	7.69
13	6 julho	6.91
14	7 julho	6.45
15	8 julho	6.32
16	9 julho	5.18
17	10 julho	6.26
18	11 julho	6.71
19	12 julho	6.89
20	13 julho	7.02
21	14 julho	6.15
22	15 julho	6.36

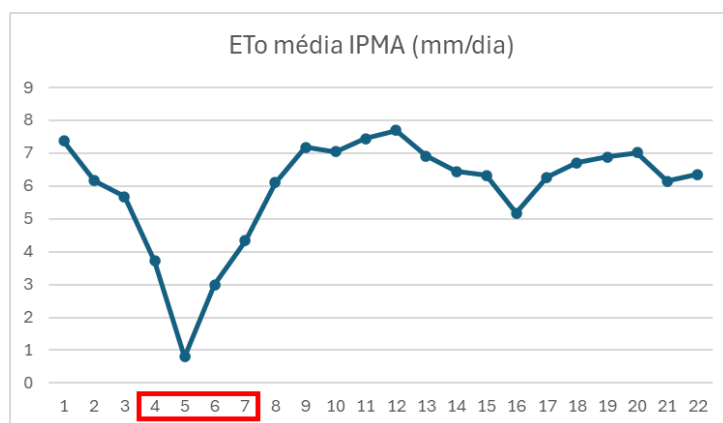


Gráfico 1 - ETo média diária

Dias de chuva

Os primeiros dias de plantação apresentaram valores de Evapotranspiração acima de 5 mm/dia, indicando condições mais secas, devido a temperaturas mais altas e níveis de humidade do ar mais baixos. No entanto, a partir do dia 27 de junho (dia 4 do ciclo) a situação mudou drasticamente devido às chuvas intensas que tiveram início no final do anterior (dia 3 do ciclo), levando a uma queda acentuada do valor da ETo até um limite de 0.8mm no dia 28 de junho. Esta redução da ETo está diretamente relacionada com o aumento da humidade do ar (tabela 5) e à menor taxa de evapotranspiração das plantas devido às condições meteorológicas. Com a redução da precipitação, os valores da ETo voltaram a apresentar uma ligeira subida a partir do dia 29 de junho (dia 6 do ciclo) ainda que para valores relativamente baixos, indicando que embora a chuva tivesse diminuído a atmosfera continuava com valores elevados de humidade relativa.

A segunda semana, após a plantação das alfaces, ficou marcada por uma alteração das condições meteorológicas, com o aumento das temperaturas e a diminuição da humidade do ar (tabela 5) afetando diretamente a ETo. Contudo, o fim-de-semana trouxe temperaturas mais amenas, baixando um pouco os valores da ETo.

A terceira e última semana de recolha de dados apresenta uma estabilização em todos os parâmetros recolhidos, como é o caso da evapotranspiração. Esta estabilização é um fator positivo ao cultivo da nossa plantação, ao contrário das flutuações dos valores registados nas semanas anteriores.

Consumo de Água

Nesta secção são apresentadas os dados relativos ao consumo de água diários, cujos valores estão representados na Tabela 3 e no gráfico 2, para o período de análise.

Tabela 3 - Consumo de Água diário

Dia	Data	Consumo de Água (L)
1	24 junho	20
2	25 junho	5
3	26 junho	2
4	27 junho	0
5	28 junho	0
6	29 junho	0
7	30 junho	0
8	1 julho	4
9	2 julho	12
10	3 julho	10
11	4 julho	18
12	5 julho	14
13	6 julho	10
14	7 julho	10
15	8 julho	15
16	9 julho	13
17	10 julho	14
18	11 julho	13
19	12 julho	14
20	13 julho	10
21	14 julho	10
22	15 julho	13

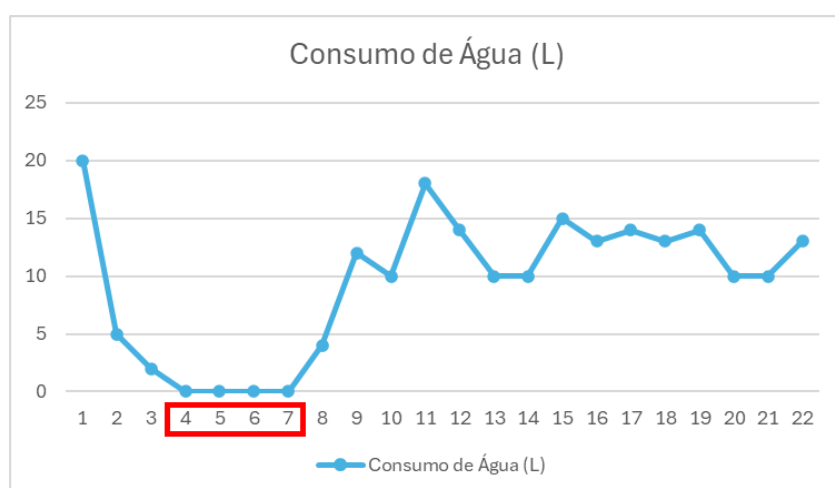


Gráfico 2 - Consumo de água diário

Dias de chuva

No dia 24 de junho (dia 1 do ciclo), o volume de água de rega para regar a plantação de alfaces foi mais elevado (20L), uma vez que o dia se encontrava com temperaturas altas (tabela 5) e as plantas foram mudadas de ambiente ao serem transplantadas. No dia seguinte, reduziu-se a quantidade de água (5L) uma vez que as plantas apresentavam uma boa adaptação ao terreno, e, apesar das temperaturas altas, o solo apresentava humidade ideal para a cultura. No dia 3 do ciclo da cultura realizou-se apenas uma pequena rega de manhã (2L), devido à previsão de chuva para os dias seguintes a ter início no final do próprio dia, como se veio a verificar. Com a ocorrência de chuva, o consumo de água reduziu para zero litros durante os dias 27, 28, 29 e 30 de junho (dias 4, 5, 6 e 7 do ciclo).

Na segunda semana, já com o sistema instalado, foi possível compreender que o projeto evidenciava um adequado desenvolvimento, pois os consumos de água revelavam-se apropriados ao desenvolvimento das alfaces. Como resultado das temperaturas altas, humidade do ar baixa (tabela 5) e consequentemente ETo alta (tabela 2), foi necessária uma boa gestão de água no depósito. Apesar do depósito colocado no projeto ser de pequenas dimensões (cerca de 20L), e a ETo ser alta, foi possível através do Sistema de Rega e Gestão de Água Inteligente ter uma gestão da rega adequada ao desenvolvimento das alfaces e com a quantidade de água do depósito a ser suficiente para 1 a 2 dias. No dia 03 de julho (dia 10 do ciclo), apesar do valor da ETo ser maior o consumo de água foi ligeiramente menor. Já no dia seguinte (dia 11 do ciclo), com temperaturas mais altas, o consumo de água foi bastante superior devido à conjugação favorável das variáveis meteorológicas como temperatura do ar alta e humidade do ar baixa. No dia 5 de julho (dia 12 do ciclo), apesar das temperaturas altas semelhantes ao dia anterior, o consumo de água diminuiu devido à baixa do sistema nessa madrugada. Nos últimos dois dias desta segunda semana, que correspondem ao fim de semana, o consumo total de água foi dividido igualmente entre os dois dias, devido à impossibilidade de obter dados reais.

O consumo de água, nesta terceira semana, reflete a estabilização de todos os parâmetros sensoriais, mas também a correta execução do sistema implementado. Face à baixa invariabilidade dos vários dados registados ao longo da semana é espelhada essa situação no consumo de água permanecendo praticamente fixo dia a dia. Estes valores de consumo de água são também a representação de que o sistema se encontra a funcionar corretamente e com as leituras e cálculos ajustados aos parâmetros envolventes. Tal como na semana anterior, durante o fim de semana (dias 20 e 21), dividiu-se o consumo total dos dois dias correspondentes, repartindo 10 litros para cada dia.

Humidade do Solo Média

Nesta secção são apresentadas os dados relativos à Humidade do solo média, cujos valores estão representados na Tabela 4 e no gráfico 3, para o período de análise.

Tabela 4 - Humidade do solo média diária

Dia	Data	Humidade solo média (%)
1	24 junho	90*
2	25 junho	82*
3	26 junho	72*
4	27 junho	82*
5	28 junho	96*
6	29 junho	94*
7	30 junho	94*
8	1 julho	79
9	2 julho	70
10	3 julho	66
11	4 julho	64
12	5 julho	61
13	6 julho	66
14	7 julho	64
15	8 julho	66
16	9 julho	67
17	10 julho	69
18	11 julho	68
19	12 julho	68
20	13 julho	65
21	14 julho	61
22	15 julho	68

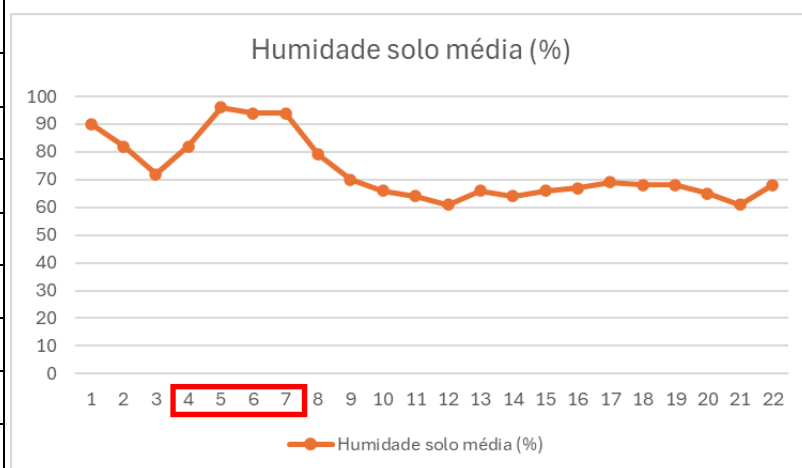


Gráfico 3 - Humidade do solo média diária

Dias de chuva

Analisando os valores da humidade do solo durante a primeira semana de plantação, podemos observar uma relação entre a precipitação e a humidade do solo. Nos primeiros três dias de plantação, a humidade do solo apresentou uma tendência decrescente, com valores de 90%, 82% e 72%, respetivamente. Podemos relacionar

esta redução dos valores da humidade do solo com a diminuição de água utilizada para regar nestes dias (20L, 5L e 2L respetivamente) e com as temperaturas altas. Durante os dias de precipitação, os valores da humidade do solo apresentaram uma mudança significativa invertendo a tendência dos dias anteriores e apresentando um aumento dos valores. Esta primeira semana, os valores da humidade do solo são aproximados, com base nos registos do IPMA, uma vez que devido à precipitação não foi possível colocar os sensores no terreno.

Na segunda semana, já houve a possibilidade de captar valores com os vários sensores, inclusive os sensores de humidade do solo. Desta forma, com o acompanhar do aumento das temperaturas, mas no sentido inverso, os valores da humidade do solo iniciaram uma tendência inversa à evolução dos valores de temperatura e consequente evaporação de água do solo. No entanto, devido ao SRGAI foi possível estabilizar esses valores em níveis ideais ao desenvolvimento das alfaves (acima de 60%), mesmo com as temperaturas altas e consequente evaporação da água do solo.

A última semana de recolha de dados acompanha a estabilização dos valores da semana anterior. Este equilíbrio deve-se principalmente aos resultados positivos do sistema implementado, mas também à estabilização dos valores registados pelos sensores, tais como humidade do ar e temperatura do ar (tabela 5).

Temperatura e Humidade do Ar

Nesta secção são apresentadas os dados relativos à Temperatura do ar máxima e mínima diária e à humidade do ar média diária, cujos valores estão representados na Tabela 5 e no gráfico 4 e 5, para o período de análise de resultados.

Tabela 5 - Temperatura e Humidade do Ar diárias

Dia	Data	Temperatura ar (°C)		Humidade do ar (°C)
		Min	Max	Média
1	24 junho	18	33	62*
2	25 junho	17	31	63*
3	26 junho	13	29	63*
4	27 junho	15	26	65*
5	28 junho	17	25	70*
6	29 junho	14	24	72*
7	30 junho	13	24	71*
8	1 julho	14	30	66
9	2 julho	20	33	65
10	3 julho	21	35	62

11	4 julho	21	38	58
12	5 julho	22	38	57
13	6 julho	16	29	66
14	7 julho	13	30	67
15	8 julho	14	31	68
16	9 julho	15	28	71
17	10 julho	18	32	69
18	11 julho	18	31	69
19	12 julho	16	33	68
20	13 julho	16	32	67
21	14 julho	13	31	69
22	15 julho	17	29	67

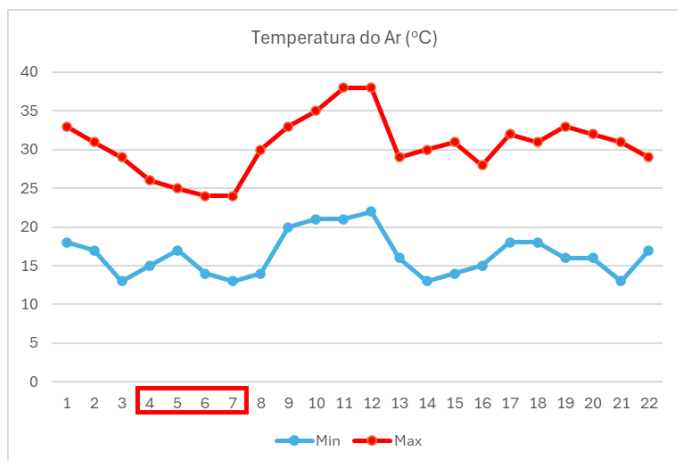


Gráfico 5 - Temperaturas do ar diárias

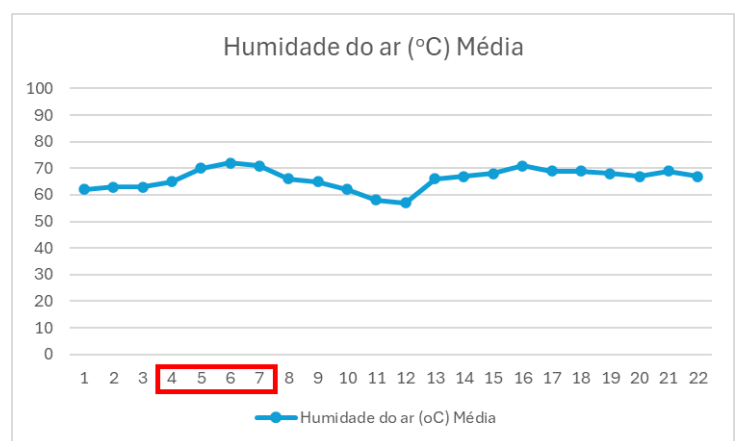


Gráfico 4 - Humidade do ar média diária

Dias de chuva

Analisando as temperaturas do ar, verificamos que a primeira semana iniciou com temperaturas altas, estando no dia da plantação (dia 1 do ciclo) uma temperatura mínima de 18°C e uma temperatura máxima de 33°C. Até ao dia 30 de junho (dia 7 do ciclo), as temperaturas mínimas e máximas seguiram uma tendência decrescente, atingindo valores de 14°C de mínima e 24°C de máxima. Em relação à relativa da atmosfera, apurámos um aumento já previsível durante os dias de precipitação. Tirando esses dias de precipitação, os restantes dias apresentaram valores mais baixos, na ordem dos 60%.

Os primeiros dias da segunda semana, ficam marcados pela inversão da tendência dos valores das temperaturas mínimas e máximas, com o aumento da temperatura mínima para 20 °C e a temperatura máxima para 33 °C no dia 02 de julho (dia 9 do ciclo). Com o decorrer da semana, as temperaturas mantiveram a tendência de subida atingindo no dia 05 de julho (dia 12 do ciclo), 22 °C de mínima e 38 °C de máxima. Relativamente à humidade relativa média, é possível concluir que existiu uma grande diminuição, paralelamente à subida das temperaturas. Esta semana colocou-nos alguma preocupação em relação ao desenvolvimento das alfaces, devido às temperaturas bastante altas e à humidade do ar que desceu abaixo de 60%, ao contrário do ideal que seria entre 60% e 80%.

Na terceira semana, a níveis de temperatura do ar e humidade do ar, foi para nós a menos preocupante, ao contrário das anteriores que trouxeram alguns dias de temperaturas extremas e dias até de chuva intensa. Estas temperaturas pouco variáveis permitiu-nos ter um melhor conforto a nível de preocupações com o sistema, mas também menos preocupações com possíveis pragas ou doenças que são mais propensas quando existem instabilidade climática.

Análise Final

As alfaces apresentaram um crescimento natural e saudável, evidenciando que as condições de cultivo foram adequadas e que não houve necessidade de intervenções químicas para estimular o seu desenvolvimento. Este resultado sugere que após o acrescento do substrato de terra, o solo proporcionou os nutrientes necessários para o crescimento das plantas. Além disso, fatores como as dotações de rega adequadas e a exposição ao sol, contribuíram para esse desenvolvimento. A ausência de doenças e de sinais de stress nas plantas reforça a qualidade do ambiente de cultivo, resultando numa produção agrícola de qualidade, sustentável e ecológica. No entanto, devemos realçar os fatores climáticos adversos, como chuvas e trovoadas na primeira semana e temperaturas elevadas na segunda semana, que nos causaram alguma preocupação.

O sistema de rega inteligente alcançou os objetivos propostos, garantindo uma rega precisa, adequada e eficiente às características da cultura. Este sistema adaptou as condições climáticas à cultura de alfaces, regulando a quantidade de água necessária às necessidades hídricas em cada momento. É possível visualizar, por exemplo a adaptação do sistema às temperaturas altas (tabela 5 - dia 11 e 12) com o aumento da quantidade de água gasta nesses dias, principalmente no dia 11 de plantação.

A implementação deste sistema de rega inteligente resultou numa economia de água significativa promovendo o crescimento saudável das plantas. Durante este período de análise (22 dias de ciclo), foram gastos cerca de 200 litros de água. Os dados coletados e analisados durante este período demonstram a viabilidade e os benefícios deste tipo de tecnologias inovadoras ao serviço da atividade agrícola.

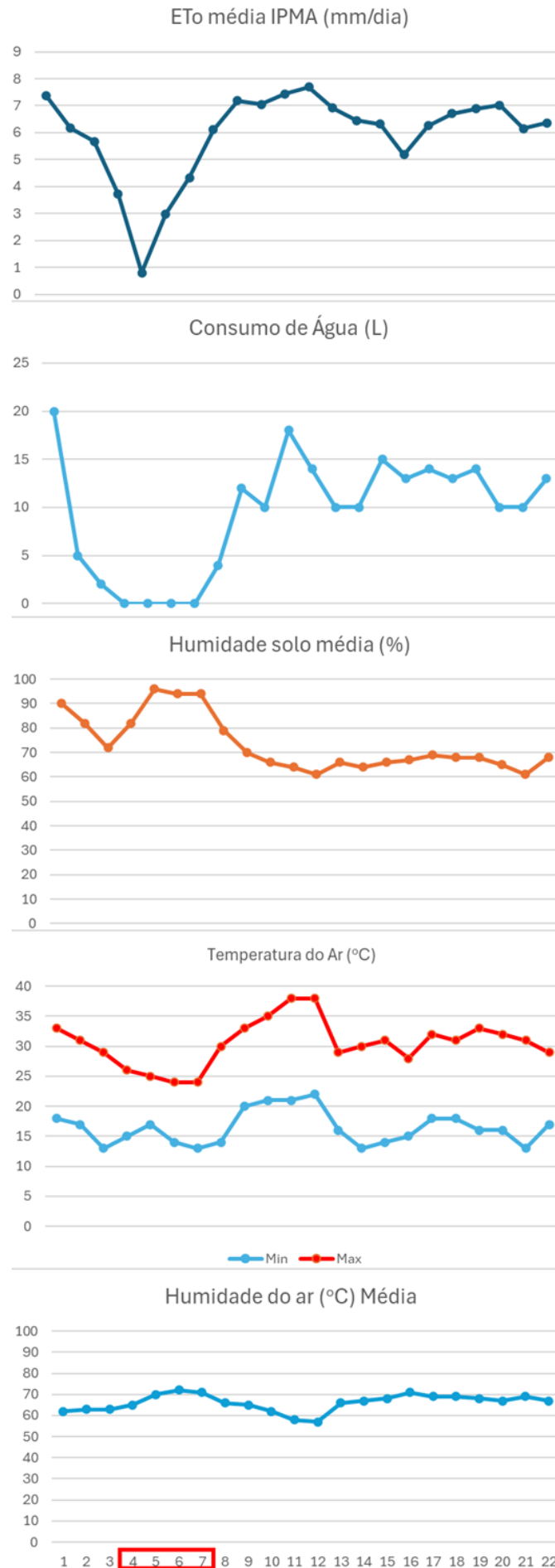


Gráfico 6 - Análise gráficos todos

8. Página WEB (Dashboard)

O microcontrolador ESP32 sendo um equipamento integrado com conectividade Wi-Fi e Bluetooth permite assim a criação de um servidor web. Com base na biblioteca “WiFi.h” e “ESPAsyncWebServer.h” conseguimos ter controle e monitorizar dispositivos presentes numa interface Web própria. Ao usar estas bibliotecas é solicitado um pedido de dados de acesso de rede Wi-Fi, iniciando a conexão com o SSID (*service set identifier*) e senha de acesso. Durante o decorrer do estabelecimento de conexão é exibida a mensagem do estado de ligação “Conectando ao “Wifi” e após o estabelecimento da ligação é apresentado o IP obtido da rede “Endereço de IP:”.

Com a finalidade de apresentar e analisar os resultados dos sensores de uma forma mais harmoniosa recorreu-se então à criação de uma página HTML, que ao autenticar-se com o ESP32 numa rede privada permite a visualização de uma interface Web (*Dashboard*) com os valores emitidos pelos sensores.

A página Web foi criada com base na combinação de três linguagens de programação, “HTML”, “CSS” e “JavaScript”, capazes de criar uma experiência visualmente criativa e interativa com o utilizador.

O HTML (*HyperText Markup Language*) é a linguagem base de uma página Web e define a estrutura e o conteúdo. O CSS (*Cascading Style Sheets*) é usado para aprimorar a página Web, dando estilo, forma e definindo os elementos que a constituem. Por fim, o JavaScript é a linguagem que permite deixar uma página Web interativa com a criação de botões e ações dentro de si própria.

A combinação destes três tipos de linguagem permitiu-nos criar uma *dashboard*, bastante completa e interativa que apresenta a leitura dos vários sensores, um botão de “ON/OFF” para ligar e desligar a Electroválvula manualmente e algumas informações sobre o microcontrolador ESP3

Para configurar o servidor Web recorreu-se a função “server.on” que contém o endpoint “readings” responsável por atualizar os valores das variáveis dos sensores e enviar os dados para o servidor. Inclui também o endpoint “toggleLED” que inverte o estado do led e consecutivamente ativa/desativa a electroválvula.



Figura 60 - Dashboard

CSS

Das três linguagens que constituem a estrutura da página *Web*, referidas anteriormente, iremos inicialmente descrever o CSS. O CSS, tal como referido anteriormente, desempenha um papel fundamental na aparência e estrutura dos elementos para página. Assim iremos detalhar cada função CSS utilizada na construção da nossa página:

Função “body”: Esta função estabelece a fonte principal da página como “Arial” e outras duas fontes como *backup*, garantindo a consistência tipográfica, mesmo no caso de a fonte principal não estar disponível. Desta forma, é assegurado que o texto seja uniforme em termos de fonte.

Função “topnav”: É essencial na configuração da barra de navegação, definindo a cor de fundo, a cor do texto, o alinhamento e o espaçamento, proporcionando uma interface visual mais elegante e funcional.

Função “contente”: Responsável por adicionar espaçamento interno ao conteúdo da página, garantindo uma organização dos elementos e contribuindo para uma clareza visual e de fácil leitura.

Função “card-grid”: Responsável pela criação e estruturação do *layout*. Esta função cria cartões, permitindo alterar a disposição dos elementos na interface *Web*.

Função “card”: Complementa a função anterior, definindo o fundo, sombra e o alinhamento da interface criada para mostrar os valores das variáveis, concedendo uma aparência mais elegante e profissional;

Função “card-content”: Adiciona espaçamento entre os valores das variáveis exibidas dentro dos cartões, assegurando uma apresentação dos dados mais clara e de fácil leitura e compreensão.

Função “divider”: Criada para dividir os cartões com os valores das variáveis apresentadas em dois, organizando a informação e a estrutura dos dados;

Função “icon”: Define o tamanho dos ícones da página, garantindo um equilíbrio proporcional visual e gráfico da página;

Função “card-title”: Aperfeiçoa os títulos das interfaces criadas, dando estilo e especificando o tamanho, peso e cor. Desta forma é possível conceder um maior destaque aos títulos.

Função “reading”: Define o tamanho e cor dos valores das variáveis;

Função “footer”: Estabiliza o rodapé dando-lhe cor de fundo, cor de texto, espaçamento e fixação de posição no fundo da página.

Função “contente-wrapper”: Em conjunto com a função anterior, evita sobreposição de informação com o rodapé. Garantimos assim que o rodapé permanece numa posição constante e definida sem interferir com o conteúdo principal;

Função “botao-eleto”: Esta função é responsável pelo espaçamento, cor de fundo, cor de texto, tamanho de fonte, cursor e centralização do botão criado para ligar e desligar a electroválvula.

Função “btnVoltarMenu”: Responsável por aperfeiçoar o botão “Voltar ao Menu”, dando-lhe uma posição fixa sempre abaixo de toda a informação apresentada nas várias opções do menu. Desta forma o utilizador tem sempre a capacidade de voltar ao ponto inicial de navegação de forma fácil e acessível.

Cada função CSS contribui para uma experiência mais consistente e intuitiva, em paralelo com uma apresentação de dados de forma mais clara e elegante. Desta forma o utilizador consegue ter uma experiência funcional, mas também detalhada a nível de design.

HTML

A construção da página *web* foi realizada com base na linguagem HTML. Desta forma, foi possível criar um cabeçalho, um menu com opções e um rodapé.

O **cabeçalho (Header)** foi criado com a classe “topnav”, servindo como barra de navegação principal e intitulado por “ESP Leitura do Sistema de Rega Inteligente”.

O **Menu** inicial foi criado com a inclusão de três botões de opção (“Informação sobre Variáveis”, “Controlo de Rega” e “Informações sobre o ESP32”). Para isso foram criadas, para cada botão de opção funções diferentes em JavaScript (“showCards()”, “showCharts()” e “showInfo”).

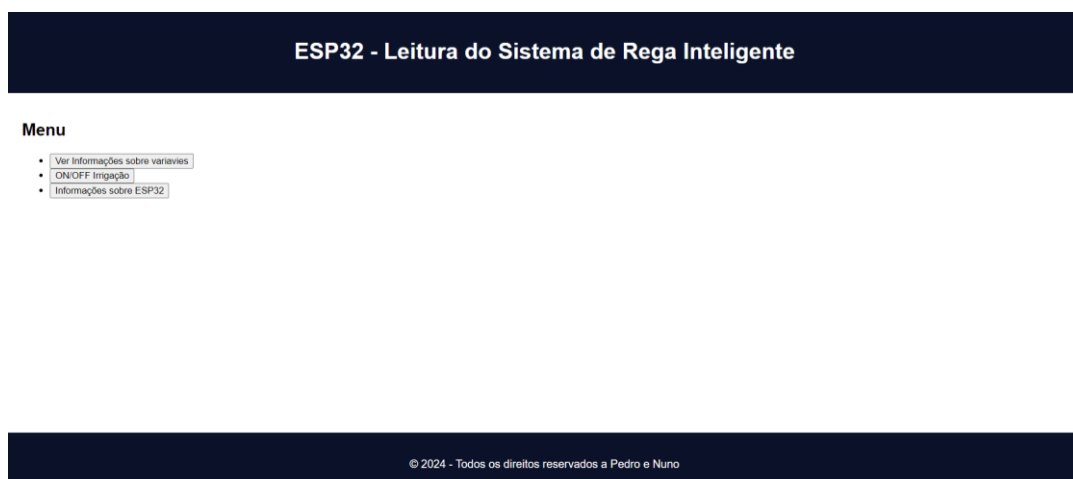


Figura 61 - Menu Opções (Dashboard)

1º opção do menu (“Informação sobre variáveis”): Esta é a principal opção do menu, projetada para exibir nas interfaces criadas os valores das variáveis de cada sensor do nosso projeto. Esta opção do menu foi enriquecida pelos estilos criados anteriormente em CSS. No final da página é apresentado o botão “Voltar ao Menu”.



Figura 62 - 1ª Opção do Menu (Dashboard)

2º opção do menu (“controle de rega”): Esta segunda opção permite o controlo remoto, através de qualquer dispositivo ligado ao sistema, da irrigação do terreno mesmo com a evapotranspiração baixa. Neste menu é apresentado um botão de “ON/OFF”, capaz de ligar e desligar a electroválvula que rega o terreno. É também apresentada a mensagem de informação indicando se o terreno está sendo regado nesse momento. Tal como na primeira opção, também nesta opção é apresentado o botão “Voltar ao Menu”.



Figura 63 - 2ª Opção do Menu (Dashboard)

3ª opção do menu (“informação sobre o ESP32”): A terceira opção do menu dirige o utilizador para a exibição de algumas informações pertinentes sobre o microcontrolador ESP32, utilizado neste projeto. Esta secção do menu serve apenas para dar informação a quem aceda a página e queira saber alguma informação geral sobre o microcontrolador usado.

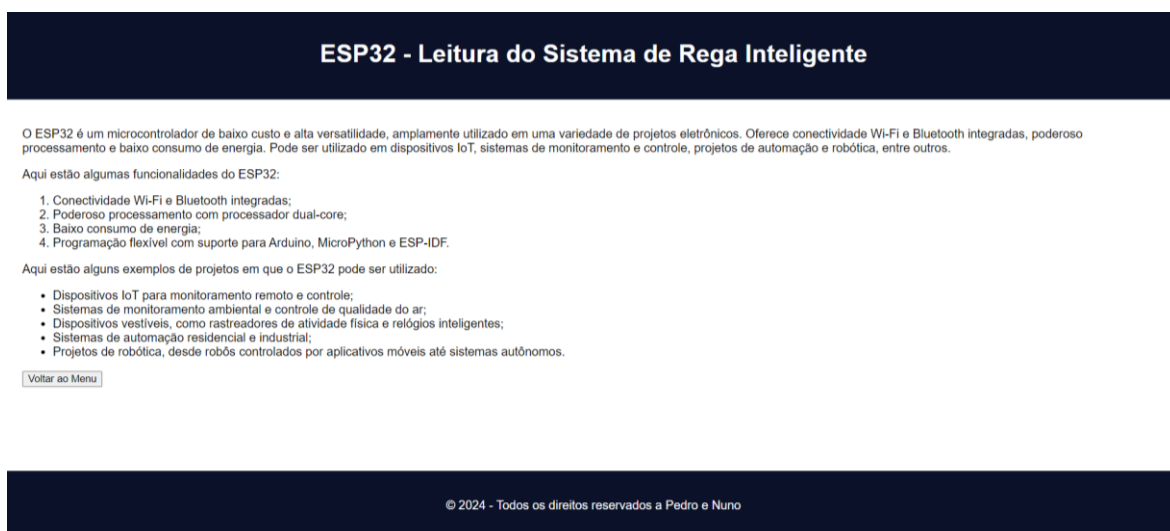


Figura 64 - 3ª Opção do Menu (Dashboard)

O **rodapé (Footer)** foi criado com base no estilo “footer” em CSS, tal como descrito anteriormente. É apresentada uma breve mensagem sobre os direitos reservados aos criadores do projeto e da *Dashboard*.

O código HTML permitiu-nos criar uma interface intuitiva ao utilizador, permitindo uma navegação simples e acessível às informações desejadas

JavaScript

A linguagem JavaScript é essencial para a vertente interativa da *Dashboard*, Este código trabalha com a obtenção e atualização dos valores de leitura dos sensores. Desta forma, iremos discriminar cada função JavaScript utilizada na construção da nossa página:

Função “getReadings”: É a função responsável pela leitura dos dados dos vários sensores do sistema. É feita uma requisição para obter as leituras atualizadas, são processadas e exibidas na interface.

Função “updateValues”: Esta função atualiza os elementos HTML com os dados das variáveis recebidas. Desta forma os valores são exibidos na interface de forma atualizada e com uma precisão de duas casas decimais.

Função “showMenu”: Tem como missão controlar a exibição das diferentes opções de menu. Ao selecionar uma opção do menu, a função correspondente é ativada e é apresentada apenas a informação relacionada com aquela opção.

Função “DOMContentLoaded”: Função responsável por garantir que o código será executado apenas após a página HTML estar totalmente carregada. Assim é possível evitar erros que possam ocorrer, assegurando que todos os elementos da página estão disponíveis para consulta e interação.

Função “toggleLEDButton”: Esta função controla a funcionalidade do botão “ON/OFF” de acionamento da electroválvula. O utilizador, ao clicar no botão envia um sinal de inversão de estado (se estiver “ON” passa para “OFF” e vice-versa).

De forma a resolver a ligação fraca do WiFi existente no local, recorreremos à colocação de um router, em “modo Router” de forma a ampliar a rede fornecida pela escola. Este modo, permite-nos ligar o nosso router à rede interna da escola e criar uma rede local (LAN) associada ao nosso router. Para isso, foi dado ao nosso router o nome “Lab-Proj24” e password “labproj24”. Desta forma, passamos a ter boa conectividade no local de implementação do projeto e acesso à *dashboard*.



Figura 66 - Aplicação do Router



Figura 65 - Router

9. Conclusão e Trabalhos Futuros

9.1 Conclusão

Este projeto representa uma amostra da evolução do *IoT - Internet of Things*, atraindo possíveis interessados, desde agricultores de pequena e grande escala, empresas de paisagismo e manutenção de jardins, câmaras municipais e outros órgãos públicos, empresas de sustentabilidade e tecnologia agrícola, indústrias de agricultura de precisão, instituições de pesquisa e gestores de campos de desportos. Os potenciais interessados podem economizar água e custos operacionais, mas também adquirir práticas sustentáveis na produção e promover a qualidade dos seus territórios.

O nosso projeto mostra a importância e relevância de uma gestão eficiente dos recursos hídricos em culturas agrícolas, com foco na cultura de alfaces num pequeno espaço exterior da Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco, junto ao bloco D. O desenvolvimento e implementação deste Sistema de Rega e Gestão de Água Inteligente (SRGAI), baseando em dados sensoriais em tempo real, permite-nos, através do fornecimento adequado de água às plantas, otimizar a quantidade e qualidade das culturas, servindo como base a projetos maiores capazes de mitigar os efeitos das secas que têm afetado Portugal nos últimos anos. As figuras 67 e 68 representam a implementação do sistema de controlo no terreno e a vista aérea do local da implementação.

O SRGAI integra tecnologias avançadas, como sensores de humidade do solo, humidade do ar, temperatura do ar, vento, o microcontrolador ESP32 e a plataforma *Arduíno IDE*, representando um avanço significativo na agricultura de precisão e promovendo a sustentabilidade e a conservação dos recursos hídricos. Ao monitorizar constantemente as condições do solo e do ambiente, o sistema pode ajustar automaticamente os níveis de rega, garantindo que as plantas recebam a quantidade de água necessária para um desenvolvimento saudável. Esta precisão não só melhora a eficiência da produção agrícola, como também contribui para a sustentabilidade, ao evitar o desperdício de água.

Além disso, o SRGAI promove a conservação dos recursos hídricos ao utilizar dados em tempo real para tomar decisões informadas sobre a irrigação prática da rega. A capacidade de ajustar a rega com base nas condições do tempo, assim como no estado das culturas, é crucial para a gestão sustentável da água. Este tipo de tecnologia é particularmente relevante em contexto de mudanças climáticas, onde a variação e a imprevisibilidade das condições meteorológicas podem afetar gravemente a agricultura.

Durante o desenvolvimento deste projeto decidimos associar uma página *Web (Dashboard)* ao restante sistema, um acréscimo importante que permitiu escalar para outro patamar do *IoT*. Desta forma, criamos uma interface intuitiva que permite aos utilizadores visualizar os dados dos sensores em tempo real e com a opção de tomada de decisão sobre o acionamento da electroválvula associada.

Este projeto serve como exemplo do compromisso com a inovação tecnológica e a gestão ambiental responsável abrindo a possibilidade para que outros projetos semelhantes sejam desenvolvidos em diferentes contextos e escalas, amplificando o impacto positivo na conservação dos recursos hídricos e na eficiência agrícola.

Este projeto é, portanto, uma contribuição valiosa para um futuro mais sustentável e consciente em termos ambientais. Em termos pessoais, este projeto representa o culminar da aquisição de conhecimentos durante os últimos anos, consolidando as competências e experiências adquiridas ao longo da nossa formação académica.

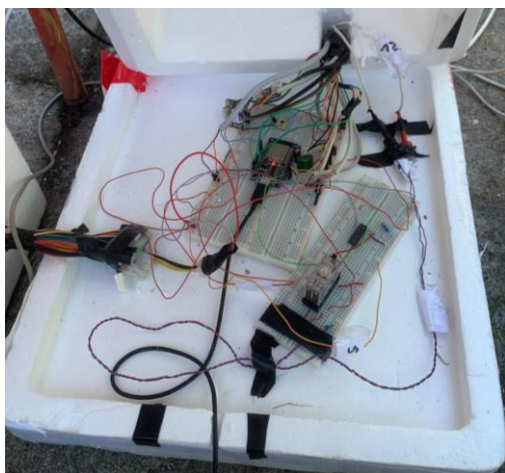


Figura 68 - Sistema elétrico no terreno



Figura 67 - Vista aérea da implementação

9.2 Trabalhos futuros

Em termos de trabalhos futuros existem diversas vertentes que podem ser exploradas e aprimoradas com base neste projeto e nos resultados obtidos, quer em termos de *hardware* quer de *software*.

Alguns exemplos de trabalhos futuros são a expansão para outras culturas agrícolas, podendo adaptar-se este projeto a outras culturas ajustando os parâmetros de rega e gestão hídrica a cada tipo de planta.

Outro exemplo é a ampliação da conectividade e automação do sistema, recorrendo a gestão remota (por exemplo LoRa), à integração de análise de dados em nuvem, à utilização de inteligência artificial, à alimentação do sistema por painel solar e baterias, entre muitas outras melhorias ao nível do IoT.

Neste tipo de projetos, futuramente, pode-se adicionar sensores de monitorização e controlo de nutrientes das plantas, assim como estudos sobre o impacto ambiental comparativamente ao método tradicional, bem como a sua viabilidade económica.

Em relação à *Dashboard* é exequível o melhoramento da interface, tornando-a mais intuitiva para os utilizadores, permitindo que os próprios executem, monitorizem e controlem o sistema de rega através de aplicativos móveis ou plataformas web.

Referências Bibliográficas

- [1] https://pt.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Castelo_Branco
(consultado a 8 abril 2024)
- [2] <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/castelo-branco/castelo-branco-4315/>(consultado a 8 abril 2024)
- [3] https://esdac.jrc.ec.europa.eu/images/Eudasm/PT/port_x17.jpg
(consultado a 8 abril 2024)
- [4] Machado, Beatriz (2018). A Conservação de Solos em Portugal Continental. Lisboa: Dissertação de Mestrado em Gestão do Território. Obt: https://run.unl.pt/bitstream/10362/58342/1/Beatriz_Machado_n%C2%BA_37608_%28Vers%C3%A3o_Corrigida%29%5B1%5D.pdf (consultado a 17 jun 2024)
- [5] <https://www.biodiversity4all.org/taxa/122976-Lactuca-sativa> (consultado a 24 jun. 2024)
- [6] Almeida, Domingos (2006). Manual de Culturas Horticolas – Volume 1. (consultado a 24 jun. 2024)
- [7] Rodrigues, Sonia (2015). Cultura da Alface em Semi-Hidroponia. Beja: Dissertação de Mestrado em Agronomia. Obt: <https://repositorio.ipbeja.pt/entities/publication/1df4f87d-ee24-4d5d-9ae8-c1d4b02e4016> (consultado a 24 jun. 2024)
- [8] <https://eos.com/pt/blog/umidade-do-solo/> (consultado a 13 jun 2024)
- [9] Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). The Nature and Properties of Soils. (consultado a 17 jun 2024)
- [10] Hillel, D. (2004). Introduction to Environmental Soil Physics. Academic Press. (consultado a 17 jun 2024)
- [11] Blum, A. (2011). Plant Breeding for Water-Limited Environments. (consultado a 17 jun 2024)
- [12] <https://www.webambiente.cnptia.embrapa.br/webambiente/wiki/doku.php?id=webambiente:textura>(consultado a 17 jun 2024)
- [13] <https://terramagna.com.br/blog/evapotranspiracao/> (consultado a 17 jun 2024)
- [14] <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/ciclo-agua.htm> (consultado a 19 jun 2024)
- [15] <https://2engenheiros.com/2020/04/21/evapotranspiracao-calculo-r/>
(consultado a 19 jun 2024)
- [16] <https://eos.com/pt/blog/evapotranspiracao/> (consultado a 19 jun 2024)
- [17] Ferreira, Ana (2007). Microclima e desenvolvimento do girassol em condições semi-áridas mediterrâneas . Lisboa: Tese de Doutoramento Engenharia Agronómica. Obt: <https://www.repositorio.utl.pt>

- /bitstream/10400.5/1156/1/Tese_Ana%20Mafalda%20Ferreira.pdf
(consultado a 19 jun 2024)
- [18] <https://www.biologianet.com/ecologia/evapotranspiracao.htm> (consultado a 19 jun 2024)
- [19] <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/evapotranspiracao.htm>
(consultado a 19 jun 2024)
- [20] Vicente, Sara (2015). Projecto de um sistema de rega para uma exploração agrícola na Beira Interior . Lisboa: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Obt:
<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/6059/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf> (consultado a 19 jun 2024)
- [21] <https://edu.ieee.org/br-ufcgras/o-que-e-um-microcontrolador/> (consultado a 13 jun 2024)
- [22] <https://www.robopatos.cafe/post/o-que-%C3%A9-um-microcontrolador>
(consultado a 13 jun 2024)
- [23] <https://3eunicamp.com/microcontroladores-esp/> (consultado a 13 jun 2024)
- [24] <https://blog.arduinoomega.com/ebooks/Arduino-Omega-Iot-Iniciantes-Esp32.pdf> (consultado a 13 jun 2024)
- [25] <https://ieeexplore.ieee.org/document/8101926/citations#citations>
(consultado a 13 jun 2024)
- [26] <https://www.makehero.com/blog/esp32-um-grande-aliado-para-o-maker-iot/> (consultado a 13 jun 2024)
- [27] <https://blog.arduinoomega.com/ebooks/Arduino-Omega-Iot-Iniciantes-Esp32.pdf> (consultado a 26 jun 2024)
- [28] <https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios/>
(consultado a 26 jun 2024)
- [29] <https://lobodarobotica.com/blog/arduino-ou-esp-descubra-a-melhor-opcao/> (consultado a 26 jun 2024)
- [30] <https://makeradvisor.com/esp32-vs-esp8266/>(consultado a 26 jun 2024)
- [31] <https://www.elprocus.com/difference-between-esp32-vs-arduino/>
(consultado a 26 jun 2024)
- [32] <https://www.geeksforgeeks.org/soil-moisture-measurement-using-arduino-and-soil-moisture-sensor/> (consultado a 22 Nov 2023)
- [33] <https://datasheetspdf.com/datasheet/SEN0114.html> (consultado a 22 Nov 2023)
- [34] <https://einstronic.com/product/soil-moisture-level-sensor-module/>
(consultado a 10 jun 2024)
- [35] <https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/como-utilizar-os-ds18b20> (consultado a 26 Nov 2023)

- [36] <https://lastminuteengineers.com/ds18b20-arduino-tutorial/> (consultado a 26 Nov 2023)
- [37] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf> (consultado a 26 Nov 2023)
- [38] <https://www.esp32learning.com/code/esp32-and-sht11-digital-humidity-sensor-example.php> (consultado a 28 Nov 2023)
- [39] https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-0276 (consultado a 28 Nov 2023)
- [40] <https://www.datasheet.es/PDF/779944/SHT10-pdf.html> (consultado a 28 Nov 2023)
- [41] <https://www.hadex.cz/spec/m530e.pdf> (consultado a 29 Nov 2023)
- [42] <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-nivel-de-liquido-sem-contato-xkc-y25-pnp> (consultado a 29 Nov 2023)
- [43] <https://www.dfrobot.com/product-1531.html> (consultado a 26 Dez 2023)
- [44] <https://www.electronicclinic.com/water-flow-sensor-arduino-water-flow-rate-volume-measurement/> (consultado a 26 Dez 2023)
- [45] <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/05/11/how-to-use-water-flow-sensor-with-arduino/> (consultado a 26 Dez 2023)
- [46] https://naylampmechatronics.com/blog/47_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html (consultado a 4 Jan 2024)
- [47] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Anem%C3%B4metro> (consultado a 12 fev 2024)
- [48] <https://www.dfrobot.com/product-1114.html> (consultado a 12 fev 2024)
- [49] <https://es.wikipedia.org/wiki/Electrov%C3%A1lvula> (consultado a 11 Jan 2024)
- [50] <https://www.jefferson.ind.br/conteudo/valvula-solenoide.html> (consultado a 11 Jan 2024)
- [51] <https://polaridad.es/pt/que-es-un-optoacoplador/> (consultado a 11 Jan 2024)
- [52] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/119592/SHARP/PC815.html> (consultado a 11 Jan 2024)
- [53] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9> (consultado a 11 Jan 2024)
- [54] <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (consultado a 20 Jun 2024)
- [55] <https://forum.arduino.cc/> (consultado a 20 Jun 2024)
- [56] <https://www.usinainfo.com.br/blog/multiplexador-i2c-com-bmp280-controle-ate-64-sensores-atraves-do-esp32/> (consultado a 28 fev 2023)
- [57] <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/i2c.html> (consultado a 28 fev 2023)

Fontes Imagens

- [F2] https://www.123rf.com/photo_29600994_map-of-castelo-branco-portugal-3d.html,
- [F2] <https://www.flickr.com/photos/9480263@N02/3731650800>
- [F3] https://esdac.jrc.ec.europa.eu/images/Eudasm/PT/port_x17.jpg
- [F5] *Martins, Nuno (2016). Gestão e Monitorização da rega em produção agrícola com base em Autómatos Programáveis*
- [F6] <https://www.webambiente.cnptia.embrapa.br/webambiente/wiki/doku.php?id=webambiente:textura>
- [F7] <https://www.saberatualizadonews.com/2021/06/evapotranspiracao-global-esta.html>
- [F8] <https://www.icstation.com/esp32-type-wifi-bluetooth-compatible-wroom-development-board-p-16231.html>
- [F9] <https://embarcados.com.br/esp32-lidando-com-multiprocessamento-parte-i/>
- [F10] https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [F11] <https://einstronic.com/product/soil-moisture-level-sensor-module/>
- [F12] <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen0114/>
- [F13] <https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/como-utilizar-ods18b20>
- [F16] <https://www.electrofun.pt/sensores-arduino/sensor-temperatura-humidade-sht10-digital-sonda-aco-inoxidavel>
- [F17] <https://www.hadex.cz/spec/m530e.pdf>
- [F19] <https://www.electronicclinic.com/water-flow-sensor-arduino-water-flow-rate-volume-measurement/>
- [F20] <https://www.amazon.co.uk/YF-S401-0-3-6L-effect-control-DC5-24V/dp/B084KPPYNC>
- [F22] <https://www.mtibrasil.com.br/artigos/valvula-solenoides.php>
- [F23] <https://www.kuantokusta.pt/p/4572704/satkit-12v-dc-electrovalvula-solenoides-para-liquidos-normalmente-fechada-aquarios-hidroponicos-arduino>
- [F24] <https://sgemx.com/pc815-circuito-integrado-opto-acoplador-fototransistor-darlington>
- [F25] <https://pt.fmuser.net/content/?21060.html>
- [F26] <https://www.amazon.co.uk/G2R-2-5VDC-G2R-2-12VDC-G2R-2-24V-relays-Replacement/dp/BOCN8MM2LR>
- [F27] <https://mundoprojetado.com.br/rele-o-que-e-e-como-funciona/>