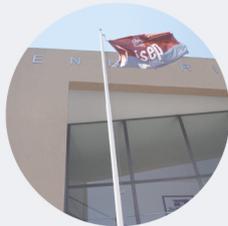


Implementação de Rede de Sensores Sem Fios para Monitorização e Controlo de Sistema de Aquaponia

FREDERICO ALCIDES MARQUES DOS SANTOS PEREIRA

Outubro de 2021



Implementação de Rede de Sensores Sem Fios para Monitorização e Controlo de Sistema de Aquaponia

FREDERICO ALCIDES MARQUES DOS SANTOS PEREIRA

Outubro de 2021



Implementação de Rede de Sensores Sem Fios para Monitorização e Controlo de Sistema de Aquaponia

Frederico Alcides Marques dos Santos Pereira

Licenciado em Anatomia Patológica, Citológica e Tanatológica pela Escola Superior de
Saúde do Vale do Sousa do Instituto Politécnico de Saúde do Norte

“Dissertação apresentada no Instituto Superior de Engenharia do Porto para a obtenção
de grau de Mestre em Engenharia Biomédica”

Orientador: Prof. Doutor Joaquim Alves, ISEP
Prof. Doutor Abel Duarte, ISEP

Outubro de 2021

“O importante é não parar de questionar. A curiosidade tem sua própria razão de existir.”

Albert Einstein

Agradecimentos

Em primeiro agradeço ao Professor Joaquim Alves, orientador da tese de mestrado, pelos conhecimentos partilhados sobre redes de sensores sem fios. A sua orientação, dedicação, disponibilidade, proporcionaram longas e agradáveis conversas, com discussão de ideias, para enriquecimento deste projeto.

Ao Professor Abel Duarte, coorientador, por permitir a instalação do sistema de monitorização e controlo no sistema de aquaponia e por conseguir os fundos monetários necessários, para a compra dos equipamentos, para este projeto. Ainda pela sua disponibilidade e auxílio na instalação dos equipamentos.

A todos os meus colegas, do local onde trabalho, que diretamente ou indiretamente me apoiaram neste projeto. Em especial á Maria, por ter ocupado o seu pouco tempo na revisão desta tese, e ao Filipe pelo apoio, incentivo e confiança.

Aos meus colegas do mestrado, pela ajuda e colaboração na compreensão das matérias dadas e na realização de trabalhos de grupo.

À Patrícia, pela amizade, paciência e pelas palavras de apoio e incentivo.

À minha afilhada Íris, pelos momentos de lazer e brincadeira, que me faz entrar num lugar especial onde todos os problemas desaparecem.

Aos meus avós maternos, por todo o carinho, amizade, paciência e reconhecimento.

Finalmente um agradecimento muito especial aos meus pais, que me sempre me estimularam a crescer em curiosidade e saber e a quem devo muito do que aprendi na vida. Não estaria aqui sem o apoio deles em todas as fazes da vida.

Resumo

A expansão e evolução das redes de sensores e a IoT (Internet of Things), verificada nos anos mais recentes, tornou esta tecnologia apelativa e aplicável para a monitorização e controlo em diferentes áreas, como a ambiental de interior ou exterior, da saúde e bem-estar e de equipamentos.

A monitorização e controlo da aquaponia e do meio onde esta se insere é essencial para o bom funcionamento do sistema. Neste sentido, este projeto descreve a implementação de uma rede de sensores sem fios para monitorização e controlo do sistema de aquaponia instalado no ISEP.

A pesquisa bibliográfica efetuada permitiu identificar as necessidades da aquaponia e os métodos usados para a monitorizar. Realizou-se o estudo das tecnologias de rede sem fios, plataformas de aquisição e visualização dos dados.

O levantamento de requisitos, definiu as grandezas físicas a ser monitorizadas, tendo a escolha dos sensores ido ao encontro dos requisitos colocados. Para integrar os sensores e criar a rede, foi necessário recorrer *hardware* e *software*, que permitiu o desenvolvimento do sistema de aquisição, comunicação e visualização. Neste projeto teve sempre consideração que o custo deveria ser o mais baixo possível, sem comprometer a sua funcionalidade.

O projeto culminou com o desenvolvimento de uma rede de sensores sem fios, baseada em Wi-Fi e ZigBee, com a utilização da plataforma Arduino para a aquisição dos dados, o armazenamento e visualização foi efetuado com recurso as plataformas da *Google* com um custo global inferior a 500 euros.

A rede de sensores sem fios, foram efetuados vários testes para aferir o funcionamento, robustez e fiabilidade da rede.

Palavras-chave: Aquaponia, Redes de Sensores Sem Fios, Arduino, *Google AppSheet*, ZigBee e Wi-Fi.

Abstract

The expansion and evolution of sensor networks and the Internet of Things (IoT), verified in recent years, has made this an appealing technology and applicable for monitoring and control in different areas, such as indoor or outdoor environmental, health and wellness and equipment.

Monitoring and control of aquaponics and the environment where it is part is essential for the proper functioning of the system. In this sense, this project describes the implementation of a wireless sensors network for monitoring and control of the aquaponics system installed in ISEP.

The bibliographic research made possible to identify the needs of aquaponics and the methods used to monitor it. The study of wireless network technologies, platforms for data acquisition and visualization was carried out.

The requirements gathering defined the physical quantities to be monitored, and the choice of sensors met the requirements. To integrate the sensors and create the network, it was necessary to use hardware and software, which allowed the development of the acquisition, communication, and visualization system. In this project he always considered that the cost should be as low as possible, without compromising its functionality.

The project culminated in the development of a wireless sensor network, based on Wi-Fi and ZigBee, with the use of the Arduino platform for data acquisition, storage and visualization was carried out using Google platforms at an overall cost of less than 500 euros.

The wireless sensor network has been carried out several tests to measure the operation, robustness, and reliability of the network.

Key words: Aquaponics, Wireless Sensor Networks, Arduino, Google AppSheet, ZigBee, and Wi-Fi.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE TABELAS.....	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS	XIX
1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	3
1.2. AQUAPONIA.....	3
1.2.1. <i>Nutrient Film Technique</i>	5
1.2.2. <i>Media-filled bed</i>	5
1.2.3. <i>Deep Water Culture</i>	5
1.3. SENSORES.....	5
1.4. REDES DE SENSORES	6
1.5. SISTEMA DE AQUAPONIA ISEP.....	7
1.6. OBJETIVO	8
1.7. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	8
2. MONITORIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUAPONIA.....	11
2.1. GRANDEZAS FÍSICAS MEDIDAS EM AQUAPONIA	11
2.1.1. <i>Medição da Temperatura</i>	12
2.1.1.1. Temperatura da Água	12
2.1.1.2. Temperatura do Ar	13
2.1.2. <i>Humidade Relativa</i>	13
2.1.3. <i>Nível</i>	14
2.1.4. <i>pH</i>	15
2.1.5. <i>Oxigénio Dissolvido</i>	16
2.1.6. <i>Condutividade Elétrica</i>	16
2.1.7. <i>Caudal</i>	16

2.1.8.	<i>Dióxido de Carbono</i>	17
2.1.9.	<i>Exposição á Luz</i>	17
2.2.	PLATAFORMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS	18
2.3.	TECNOLOGIAS DE REDES SEM FIOS	19
2.3.1.	<i>Wi-Fi</i>	21
2.3.1.1.	<i>Arquitetura de Rede</i>	22
2.3.1.2.	<i>Autenticação</i>	23
2.3.2.	<i>Bluetooth</i>	23
2.3.2.1.	<i>Arquitetura de Rede</i>	23
2.3.3.	<i>ZigBee</i>	24
2.3.3.1.	<i>Rede ZigBee</i>	24
2.3.3.2.	<i>Topologias de rede</i>	25
2.3.4.	<i>Qualidade do Sinal</i>	26
2.4.	COMUNICAÇÃO, ARMAZENAMENTO E VISUALIZAÇÃO DOS DADOS	26
2.4.1.	<i>Protocolos de Comunicação</i>	27
2.4.1.1.	<i>MQTT</i>	27
2.4.1.2.	<i>HTTP</i>	28
2.4.2.	<i>Base de Dados</i>	29
2.4.3.	<i>Aplicações para Visualização dos Dados</i>	29
2.4.3.1.	<i>Google AppSheet</i>	30
2.4.3.2.	<i>Microsoft PowerApps</i>	30
2.5.	ANÁLISE DOS REQUISITOS	31
2.5.1.	<i>Listagem de requisitos de monitorização e controlo</i>	31
2.5.2.	<i>Requisitos de comunicação</i>	31
2.5.3.	<i>Requisitos de armazenamento de dados</i>	31
2.5.4.	<i>Requisitos de instalação</i>	32
3.	SOLUÇÃO DESENVOLVIDA	35
3.1.	ARQUITETURA DO SISTEMA	35
3.2.	SENSORES	37
3.2.1.	<i>Temperatura e humidade</i>	37
3.2.2.	<i>Temperatura da água</i>	39
3.2.3.	<i>Luminosidade</i>	39
3.2.4.	<i>Caudal</i>	40
3.2.5.	<i>Nível de água</i>	41
3.1.	RELÉ	42
3.2.	AQUISIÇÃO DE DADOS	43

3.2.1.	<i>Arduino</i>	43
3.2.2.	<i>Código Arduino</i>	45
3.3.	TRANSMISSÃO DOS DADOS.....	45
3.3.1.	<i>NINA-W102</i>	46
3.3.1.	<i>XBee</i>	46
3.3.2.	<i>XBee Shield</i>	48
3.4.	IMPLEMENTAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA.....	48
3.4.1.	<i>Configuração do Módulo Wi-Fi</i>	49
3.4.2.	<i>Configuração dos Rádios XBee</i>	49
3.4.2.1.	Envio e Recepção de Dados.....	51
3.4.2.2.	Estrutura dos dados transmitidos.....	52
3.4.1.	<i>Nós Sensores</i>	53
3.4.1.	<i>Nó Agregador</i>	56
3.5.	TRATAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS DADOS.....	57
3.5.1.	<i>Google Apps Scripts</i>	58
3.6.	INTERFACE COM O SISTEMA.....	59
4.	TESTES E RESULTADOS.....	65
4.1.	LOCALIZAÇÃO DOS NÓS.....	65
4.2.	APLICAÇÃO DO SISTEMA.....	67
4.3.	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA REDE.....	70
4.3.1.	<i>Wi-Fi</i>	70
4.3.2.	<i>ZigBee</i>	71
4.3.2.1.	Medição do LQI.....	71
4.3.2.2.	Medição do RSSI.....	72
4.4.	INTERFACE DESENVOLVIDA.....	73
4.4.1.	<i>AppSheet</i>	74
4.5.	ANÁLISE DE CUSTOS.....	82
5.	CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO.....	87
5.1.	CONCLUSÃO.....	87
5.2.	TRABALHO FUTURO.....	89
	REFERÊNCIAS.....	91

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Interação entre os componentes biológicos de um sistema aquapónico [1].	4
Figura 1.2 – Modelo do sistema de aquaponia implementado no ISEP.	7
Figura 2.1 - Logótipos das tecnologias de rede sem fios.....	20
Figura 2.2 - Comparação entre ZigBee, Bluetooth e Wi-Fi [33].....	20
Figura 2.3 - Componentes da arquitetura da rede IEEE 802.11 [37].....	22
Figura 2.4 - Arquitetura <i>Master/Slave</i> [39].	23
Figura 2.5 - Tipos de Topologia de uma rede ZigBee.	26
Figura 2.6 - O diagrama mostra a conexão entre um publicador e dois subscritores conectados a um <i>broker</i> [44].	28
Figura 2.7 - Hyper Text Transfer Protocol (HTTP) [46].....	29
Figura 3.1 - Topologia e arquitetura do sistema.	36
Figura 3.2 - Sensor de temperatura e humidade <i>DHT22</i>	38
Figura 3.3 - Sensor de temperatura <i>DS18B20</i>	39
Figura 3.4 - Sensor de luz <i>TSL2561</i>	40
Figura 3.5 - Caudalímetro <i>YF-5B</i>	40
Figura 3.6 - Sensor de nível <i>EF16B0052BG</i>	41
Figura 3.7 - Sensor de ultrassom <i>HC-SR04</i>	42
Figura 3.8 - Relé para ligar/desligar motor.....	43
Figura 3.9 - Arduino Uno Rev3.....	43
Figura 3.10 - Arduino Uno Wifi Rev2.....	43
Figura 3.11 - Tipo de antenas módulos <i>XBee</i> : a) antena <i>whip</i> b) antena chip e c) conector RPSMA.....	47
Figura 3.12 - <i>XBee Shield DFR0015</i>	48
Figura 3.13 - Estrutura geral de uma <i>frame API</i> [41].	50
Figura 3.14 - Sequência de acontecimentos no envio de dados [41].....	52
Figura 3.15 - Exemplo da estrutura de pacote de dados.	52
Figura 3.16 - Fluxograma das tarefas do programa do nó sensores do sistema de hidroponia.....	53

Figura 3.17 - Esquema de ligação dos sensores aos nós do sistema de hidroponia.	54
Figura 3.18 - Fluxograma das tarefas do programa do nó sensor do sistema de aquacultura.....	55
Figura 3.19 - Esquema de ligação dos sensores e atuador ao nó do sistema de aquacultura.....	55
Figura 3.20 - Fluxograma das tarefas do programa do nó agregador.....	56
Figura 3.21 - Esquema de ligação dos sensores ao nó agregador.....	57
Figura 3.22 - Fluxograma geral dos <i>scripts</i> desenvolvidos.....	59
Figura 3.23 - Diagrama de casos de uso.....	61
Figura 4.1 -Localização dos Nós.....	66
Figura 4.2 - Nó sensor do piso 4.....	67
Figura 4.3 - Nó sensor do piso 5.....	67
Figura 4.4 - Nó agregador colocado no piso 3.....	68
Figura 4.5 - Suporte e caixa com respetivo equipamento.....	68
Figura 4.6 - Localização dos equipamentos no sistema de aquacultura (piso1). 69	
Figura 4.7 -Nó sensor do piso 1(à esquerda) e respetivos sensores (à direita)... 69	
Figura 4.8 – Topologia, relação e qualidade de comunicação entre os dispositivos.	72
Figura 4.9 - Critérios usados pelo <i>XCTU</i> para ilustrar a qualidade de comunicação.	72
Figura 4.10 – Dados registados na folha do <i>Google Sheets</i>	74
Figura 4.11 - Dados registados na folha do <i>Google Sheets</i> (continuação).....	74
Figura 4.12 - Diferentes ecrãs da interface de visualização.	75
Figura 4.13 - Modo de seleção do período de visualização dos dados.....	76
Figura 4.14 - Interface de visualização gráfica dos valores de temperatura ambiente.	77
Figura 4.15 - Interface de visualização gráfica dos valores da Humidade.	78
Figura 4.16 - Interface de visualização gráfica dos valores de temperatura da água.	79
Figura 4.17 - Interface de visualização gráfica dos valores de luminosidade. ...	80

Figura 4.18 - Interface de visualização gráfica dos valores do volume de água nos depósitos.	81
Figura 4.19 - Interface de visualização gráfica dos valores do Caudal.	82

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Sensores de temperatura da água identificados na literatura revista.	13
Tabela 2.2 - Sensores de temperatura do ar identificados na literatura revista. .	13
Tabela 2.3 - Sensores de humidade relativa descritos na literatura revista.	14
Tabela 2.4 - Sensores de nível de água descritos na literatura revista.....	14
Tabela 2.5 - Sensores de pH descritos na literatura revista.	15
Tabela 2.6 - Caudalímetros descritos na literatura revista.....	17
Tabela 2.7 - Sensores de dióxido de carbono descritos na literatura revista.	17
Tabela 2.8 - Sensores de luminosidade descritos na literatura revista.....	18
Tabela 2.9 - Plataformas de aquisição de dados descritos na literatura revista. .	19
Tabela 2.10 - Resumo Características das Tecnologias de Rede.	21
Tabela 2.11 - Sistemas de armazenamento e visualização dos dados identificados na literatura revista.	27
Tabela 3.1 - Características do sensor de temperatura e humidade <i>DHT22</i> [51].	38
Tabela 3.2 - Características do sensor de temperatura <i>DS18B20</i> [52].	39
Tabela 3.3 - Características sensor de luz <i>TSL2561</i> [53], [54].....	40
Tabela 3.4 - Características do caudalímetro <i>YF-5B</i> [55].....	41
Tabela 3.5 - Características do sensor de ultrassom <i>HC-SR04</i> [56].	42
Tabela 3.6 - Comparação entre <i>Arduino Uno Rev3</i> e um <i>Arduino Uno Wifi Rev2</i> [61], [62].	44
Tabela 3.7 - Comparação entre os módulos <i>XBee Series 1</i> , <i>Series 2</i> e <i>Series 2C</i> [64].	47
Tabela 3.8 - Configuração dos nós sensores.....	49
Tabela 3.9 - Resumo das configurações do <i>XBee</i>	51
Tabela 4.1 – Valores de RSSI óbitos.	70
Tabela 4.2 - Dados obtidos do nó agregado, do restabelecimento da ligação, dia 18-10-2021.	71
Tabela 4.3 – Nível de Sinal (RSSI) e qualidade da ligação.....	73
Tabela 4.4 - Custo final do sistema desenvolvido.	83

Lista de Abreviaturas

- ADC – *Analog-to-Digital converters*
- API – *Application Programming Interface*
- AT – *Transparent Mode*
- AVR – *Alf and Vegard's RISC processor*
- CCD – Dispositivo de carga acoplada (*charge-coupled device*)
- CMOS – *Complementary metal–oxide–semiconductor*
- CO₂ – Dióxido de Carbono
- EE – *Encryption Enable*
- fem – Força electro-motriz
- GND – Polo negativo (*Ground*)
- GSM – *Global System for Mobile*
- HTML – *HyperText Markup Language*
- I₂C – *Inter-Integrated Circuit*
- IDE – Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*Integrated Development Environment*)
- IEEE – Instituto de Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrónicos
- IoT – Internet das coisas (*Internet of Things*)
- IP – *Internet Protocol*
- IR – Infravermelhos
- ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto
- ISFET – Ion-Sensitive Field-Effect Transístor
- LDR – Foto-resistência (*Light Dependent Resistor*)
- LQI – *Link Quality Indication*

M2M – *Machine to Machine*

MQTT – *Message Queuing Telemetry Transport*

NFT – *Nutrient Film Technique*

NK – *Network Key*

NTC – *Coeficiente de temperatura Negativo (Negative Temperature Coefficient)*

OSI – *Open Systems Interconnection*

PAN ID *Personal Area Network Identifier*

PTC – *Coeficiente de temperatura positivo (Positive Temperature Coefficient)*

RAM – *Random Access Memory*

REST – *Representational State Transfer*

RF – *Radio Frequência*

RSSF – *Rede de sensores sem fios*

RSSI – *Received Signal Strength Indicator*

RTD – *Sensores de temperatura resistivos*

SI – *Sistema Internacional de Unidades*

SQL – *Structured Query Language*

SSID – *Service Set Identifier*

SSL – *Secure Sockets Layer*

TCP – *Transmission Control Protocol*

URL – *Uniform Resource Locator*

USB – *Universal Serial Bus*

UV – *Ultravioleta*

VCC – *Voltagem em Corrente Continua*

WEP – *Wired Equivalent Privacy*

- WPA – *Wi-Fi Protected Access*
- WSN – *Wireless sensor network*
- ZB – *ZigBee*
- ZC – *ZigBee Coordinator*
- ZED – *ZigBee End Device*
- ZR – *ZigBee Router*

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1. Introdução

Este capítulo inicia-se com a contextualização do tema da tese, onde são abordadas as definições de aquaponia, sensores e redes de sensores. É ainda/também esquematizado o sistema de aquaponia implementado no ISEP e identificado o objetivo. Por último, é apresentada uma breve abordagem à estrutura da tese.

1.1.Contextualização

As redes de sensores sem fios estão, atualmente, num crescimento exponencial. Os recorrentes avanços tecnológicos e de fabricação tornam esta tecnologia acessível, possibilitando a sua aplicação em diversas áreas.

Ao longo dos últimos anos, o aumento do consumo de água causado pelas atividades humanas, têm alertado as autoridades internacionais no abastecimento de água potável, visto que existem regiões com grande dificuldade de encontrar água potável para satisfazer as suas necessidades. A aquaponia é um sistema simbiótico que combina a produção de plantas sem solo e a produção de peixes. Sendo um sistema vivo é afetado pelas condições onde se encontra e pelas condições do ambiente circundante, sofrendo influência de grandezas físicas tais como temperatura, humidade, quantidade de luz, concentração de dióxido de carbono (CO₂), pH, oxigenação e condutividade elétrica. Existe a necessidade da monitorização destas grandezas físicas por forma a tornar a aquaponia num sistema viável para o crescimento e desenvolvimento de plantas e peixes, permitindo maior produtividade, qualidade e redução de custos, através da atenuação dos efeitos adversos que poderão ser provocadas pelos fenómenos físicos. Tendo em conta os avanços tecnológicos nas redes de sensores e IoT, a sua adoção torna-se numa solução para a monitorização das grandezas físicas envolvidas na aquaponia.

1.2.Aquaponia

A aquaponia é um método de cultivo que está em grande expansão e que pode surgir como uma boa alternativa aos problemas alimentares e ambientais das últimas décadas, uma vez que suporta uma combinação entre aquacultura (produção de peixes) e hidroponia (produção de plantas sem solo), sendo um sistema simbiótico, como

demonstrado na Figura 1.1. A aquaponia não é simplesmente um sistema que junta a aquacultura com hidroponia; é o controle de um ecossistema. O processo simbiótico é iniciado com a alimentação dos peixes, que após digestão da ração excretam amônia que, por sua vez, é convertida, através de bactérias, em nitritos e posteriormente em nitratos, tornando substâncias tóxicas, produzidas pelos peixes, em nutrientes para as plantas. As plantas, ao usar estes nutrientes, juntamente com as bactérias, criam um filtro biológico, que filtra a água para que esta possa ser adequada para o desenvolvimento dos peixes [1][2]. Podemos afirmar que um sistema aquapônico é dividido em três principais componentes: a aquacultura, a hidroponia e um sistema natural de filtragem.

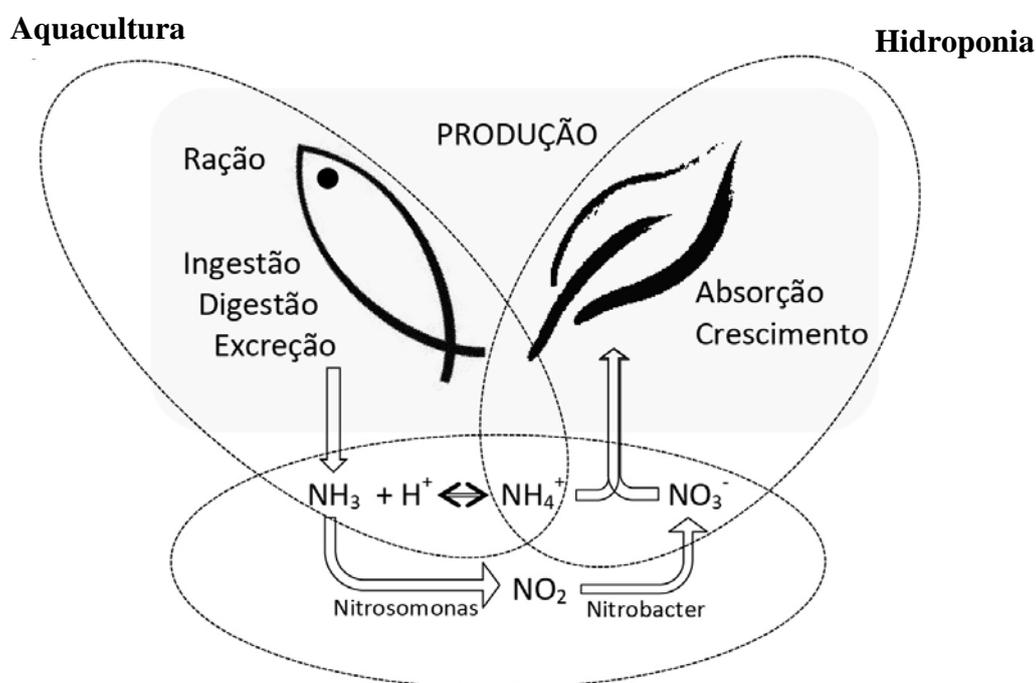


Figura 1.1 - Interação entre os componentes biológicos de um sistema aquapônico [1].

A aquaponia, como não faz uso de agrotóxicos e reduz o uso de fertilizantes, estes fatores aliados à alta eficiência no uso da água, tornam esta tecnologia verde e sustentável [3]. Verifica-se que existem várias doenças que podem ser evitadas através de uma alimentação saudável e livre de agrotóxicos, sendo o tema da alimentação saudável, referido como benefício físico fundamental [4].

Existem diversas técnicas para a implementação de um sistema de aquaponia, sendo as principais a *Nutrient Film Technique*, a *Media-filled bed* e a *Deep Water Culture* [5], que serão seguidamente descritas.

1.2.1. Nutrient Film Technique

É uma das técnicas mais usadas e eficazes em hidroponia e consiste num fluxo contínuo de nutrientes. Tem como vantagem ser um sistema com perda mínima de água e facilidade de colheita e plantação de vegetais. O sistema é constituído por um tanque que contém a solução nutritiva, que é bombeada de forma intervalada para tubos de plástico onde se encontram assentes as raízes das plantas. A água só cobre, assim, parcialmente as raízes[5].

1.2.2. Media-filled bed

É um ambiente de cultivo em substrato, onde os vegetais são plantados. O substrato habitualmente utilizado é argila expandida, pedra brita, seixos do leito do rio, areia grossa e rochas vulcânicas. Este substrato é colonizado bactérias nitrificantes, funcionando como um filtro biológico[1].

1.2.3. Deep Water Culture

A cultura de águas profundas utiliza uma técnica de cultivo em bandejas flutuantes, onde apenas as raízes ficam submersas numa solução rica em nutrientes e altamente oxigenada. Esta técnica é normalmente aplicada em sistemas de aquaponia de grande e média escala[1], [6].

1.3.Sensores

Um sensor é um dispositivo que recebe um sinal ou estímulo e responde a este na forma de um sinal elétrico [7], [8]. Os sinais de saída podem corresponder a um sinal elétrico, como corrente ou tensão, por outras palavras, o sensor é um dispositivo que recebe diferentes tipos de sinal, tais como sinais físicos, químicos ou biológicos e converte-os num sinal elétrico. Os sensores são habitualmente classificados com base na aplicação, sinal de entrada, mecanismo de conversão, material usado e nas características, tais como custo precisão e alcance [7]. Os sensores efetuam uma amostragem das variáveis e transformam-nas num sinal elétrico proporcional, não manipulando em nenhum momento os fenómenos para o qual foram projetados para medir [9].

1.4.Redes de sensores

As redes de sensores comunicavam, durante longos anos, através de fio, pois era esta a tecnologia existente no mercado. Porém, os avanços tecnológicos recentes permitiram o desenvolvimento de módulos de sensores sem fios, com um ou mais sensores, de tamanho reduzido, baixo custo, baixo consumo de energia, e que podem incluir capacidade de processamento, memória e comunicação, embora limitada. Estes permitem a medição de inúmeras de grandezas físicas como temperatura, distância, luz, humidade, movimento, composição química, entre outros [10], [11]. Ao contrário dos sensores tradicionais, o seu desenvolvimento tem de obedecer a determinadas restrições, como recursos limitados de energia, distância de comunicação, banda de comunicação limitada e limitada capacidade de processamento e armazenamento em cada nó [10].

As aplicações das redes de sensores sem fios podem ser divididas em duas categorias: monitorização e rastreamento. As aplicações de monitorização podem incluir: monitorização ambiental interior ou exterior, monitorização da saúde e bem-estar e monitorização de equipamentos. Assim sendo, as redes de sensores sem fios têm diversos contextos aplicativos, tais como hospitais, indústrias alimentares ou de processo, agricultura, entre outros [10].

Os nós sensores são habitualmente dispositivos autónomos, com capacidade de medição, processamento e comunicação [11]. Os dados recolhidos por estes sensores são utilizados para gerar alertas, controlar e automatizar sistemas, monitorizar e para apoio à decisão.

A rede de sensores sem fios é constituída por um determinado número de nós sensores, dependendo da aplicação, sendo de desenvolvimento fácil e baixo consumo de energia. Cada nó sensor é constituído por quatro principais unidades distintas: uma plataforma de aquisição de dados, unidade de memória e processamento, módulo de comunicação e módulo de energia [12].

1.5. Sistema de aquaponia ISEP

O sistema de aquaponia instalado nos últimos três pisos de acesso a elevador panorâmico do edifício G do ISEP e no exterior do piso 1 do edifício H, foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Química do ISEP para demonstrar o impacto e a importância da integração da natureza em ambiente urbano. O sistema de hidroponia apresenta uma conjugação das técnicas *Nutrient Film Technique* e *Media-filled bed*, com três floreiras e mais de 100 posições para cultivo de produtos hortícolas. Na Figura 1.2, representa esquematicamente o sistema existente.

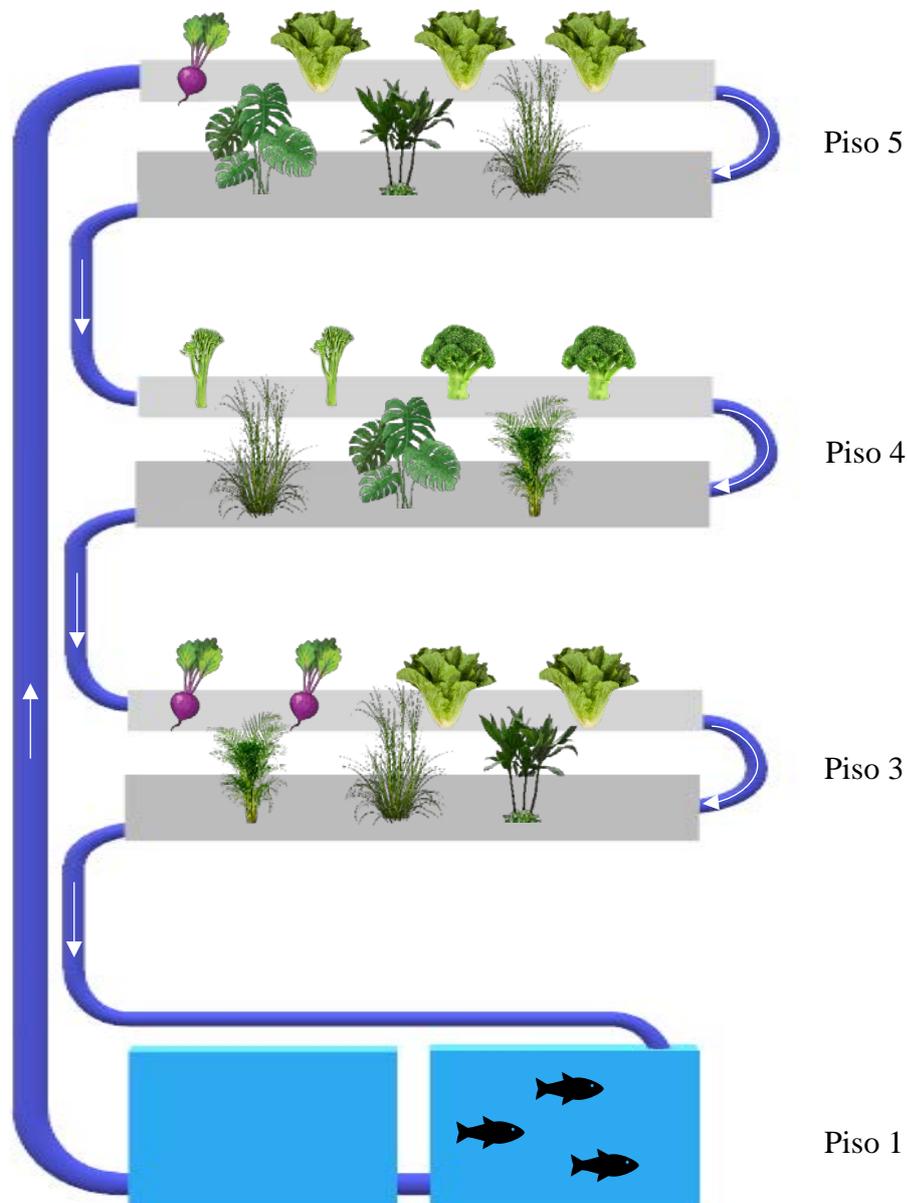


Figura 1.2 – Modelo do sistema de aquaponia implementado no ISEP.

1.6. Objetivo

Este projeto tem como objetivo desenvolver um sistema de monitorização e controlo do sistema de aquaponia implementado no edifício G do ISEP, monitorizando as variáveis físicas relevantes para a cultura aquapónica. Pretende-se, assim, desenvolver uma rede de sensores que englobe os sistemas de hidroponia e aquacultura. A rede de sensores deverá aplicar os princípios de fiabilidade, robustez, facilidade de utilização e baixo custo. Será efetuado um levantamento do estado da arte da monitorização em aquaponia.

1.7. Organização do Relatório

Este trabalho é constituído por seis capítulos, tendo início na presente introdução (Capítulo 1). No capítulo 2, é apresentado o estado da arte da monitorização em aquaponia, onde é efetuado o estudo das grandezas físicas relevantes em aquaponia e a identificação dos sensores utilizados para medir essas grandezas físicas. Neste capítulo é ainda abordado o conceito de plataformas de aquisição, tecnologias de rede sem fios e diferentes abordagens para comunicar, armazenar e visualizar os dados. No capítulo 3, é apresentado o sistema desenvolvido, apresentando a arquitetura sugerida assim como a justificação para a escolha de determinados componentes em detrimento de outros. No capítulo 4, são demonstrados os resultados obtidos na implementação do sistema. Para terminar, o capítulo 5 conclui o trabalho, indicando os desafios encontrados e as perspetivas futuras.

CAPÍTULO 2 - MONITORIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUAPONIA

2. Monitorização de Sistemas de Aquaponia

Neste capítulo é apresentado a revisão do estado da arte que detalha os principais conceitos que auxiliam à compreensão do tema, relacionando a aquaponia com as possibilidades de monitorização. Serão abordadas as tecnologias mais relevantes existentes para adquirir, transmitir, armazenar e visualizar os dados monitorizados.

A introdução da automação, estratégias inteligentes e conectividade na indústria agrícola, abriu novas possibilidades para a melhoria dos sistemas de aquaponia [3]. A adoção de mecanismos de monitorização e controlo do sistema e do meio circundante, através de tecnologia inteligente, permite garantir o ótimo crescimento das plantas e dos peixes [13]. A monitorização é efetuada através do uso de recursos que incluem sensores, *hardware* de aquisição de sinal e *software* para programação e interface.

Recentemente, tem surgido a introdução de sistemas automatizados e semi-automatizados em sistemas de aquaponia de pequena escala. Atualmente um sistema automático de monitorização e controlo pode ser desenvolvido usando a IoT, sensores *wireless* ou outra tecnologia [13].

2.1. Grandezas Físicas Medidas em Aquaponia

As grandezas a medir e os métodos de medição são muito dependentes do tipo de sistema de monitorização pretendido. Há sistemas que são totalmente dependentes do operador, até outros que utilizam sensores autónomos, capazes de transmitir informações, com ou sem fio, para um controlador [3], [13].

Na monitorização do sistema de aquaponia as grandezas mais comumente avaliados são o pH, a temperatura da água e o nível de água. No meio circundante é habitualmente avaliada a temperatura do ar, a humidade relativa e a quantidade de luz. Contudo existem inúmeras grandezas que podem ser avaliadas no sistema e no meio em que este se insere tais como: condutividade elétrica, oxigénio dissolvido, nitrificação, sólidos totais dissolvidos, salinidade, caudal de água, CO₂, nitritos, nitratos e peso [3].

A monitorização das grandezas físicas é efetuada através de sensores, que permitem que estas sejam convertidas em sinais elétricos, para que sejam processados e analisados em sistemas computacionais [14].

Na escolha dos sensores é importante ter em consideração determinadas características tais como tipo de elemento sensor, função de transferência, faixa de entrada e saída, sensibilidade, precisão, exatidão, calibração, não linearidade, resolução, saturação, repetibilidade, características dinâmicas, formato de saída, sensibilidade a fatores ambientais, confiabilidade, características de aplicação e incertezas [8], [7].

Em seguida será abordado o estado da arte destes sistemas de monitorização em aquaponia, nomeadamente pela forma como alguns autores efetuaram a medição destas grandezas.

2.1.1. Medição da Temperatura

A temperatura é um parâmetro de grande influência nos processos fisiológicos.

Na cultura por aquaponia assim como na cultura tradicional, a monitorização e controlo da temperatura previne danos ou até mesmo a morte. A temperatura tem influência nos processos metabólicos.

A medição da temperatura pode ser efetuada a partir de termopares, termístores, resistências dependentes de temperatura e semicondutores[7], [8].

2.1.1.1. Temperatura da Água

A temperatura da água está relacionada com as restantes grandezas físicas do sistema de aquaponia. Para que o processo de nitrificação ocorra, a temperatura deve encontrar-se entre os 17 °C e 34 °C. Se a temperatura diminuir abaixo desse valor a produtividade das bactérias tenderá a reduzir e o processo de nitrificação pode não ocorrer. Para a cultura hidropónica, a temperatura adequada é de 18 °C a 30 °C [15]. Manter a temperatura correta diminui a probabilidade de doenças nos peixes. A gama de temperaturas varia de acordo com a espécie [15]. Como para se obter valores corretos de temperatura da água o sensor tem que se encontrar submersos, estes precisam de conter uma camada de proteção à prova de água. Em seguida, serão apresentados os sensores de

temperatura utilizados no desenvolvimento de sistemas de monitorização da temperatura da água em aquaponia.

Tabela 2.1 - Sensores de temperatura da água identificados na literatura revista.

<i>Referência</i>	<i>Tipo</i>	<i>Referências bibliográficas</i>
<i>DS1820</i>	Semicondutor	[16]–[18]
<i>LM35</i>	Semicondutor	[19]
<i>DS18B20</i>	Semicondutor	[20]–[22]

2.1.1.2. Temperatura do Ar

A temperatura do ar atua no processo de crescimento e nos processos metabólicos das plantas (fotossíntese, respiração, transpiração, queda de sementes, síntese de proteínas). Por exemplo, quando a temperatura é elevada, ocorre o amadurecimento precoce das plantas [3]. Na Tabela 2.2, podemos observar alguns dos sensores de temperatura do ar identificados na literatura.

Tabela 2.2 - Sensores de temperatura do ar identificados na literatura revista.

<i>Referência</i>	<i>Tipo</i>	<i>Referências bibliográficas</i>
<i>DTH11</i>	Semicondutor	[18], [20], [23]
<i>DTH22</i>	Semicondutor	[24]
<i>LM35</i>	Semicondutor	[6]

2.1.2. Humidade Relativa

A humidade relativa é a relação em percentagem (%) entre a quantidade de vapor de água contida no ar (humidade absoluta) e a que existiria se à mesma temperatura o ar estivesse saturado [25]. A temperatura tem influência na capacidade de retenção de água, sendo que o ar quente tem maior capacidade de retenção que o ar frio. O valor ideal de humidade relativa varia com o tipo de cultura e com o seu estado de desenvolvimento. Embora dependa da temperatura, o valor padrão é de 50 % a 80 %. Valores de humidade relativa elevados interferem na transpiração das plantas e restringem o fornecimento de água às folhas pelas raízes e caules. No sentido de medir diretamente a humidade, utiliza-se o higrómetro. Contudo, como a humidade é uma grandeza não elétrica, existe a

necessidade, então, de ser convertida numa grandeza elétrica. Os sensores de humidade podem ser de cinco tipos básicos: higrómetro capacitativo, higrómetro resistivo, refratómetro de micro-ondas, higrómetro de óxido de alumínio e higrómetro de cristal [7], [8]. Na Tabela 2.3, estão sumariados os sensores encontrados na literatura revista para a medição da humidade relativa.

Tabela 2.3 - Sensores de humidade relativa descritos na literatura revista.

<i>Referência</i>	<i>Tipo</i>	<i>Referências bibliográficas</i>
<i>DTH11</i>	Capacitativo	[18], [20], [23]
<i>DTH22</i>	Capacitativo	[24]
<i>HIH-4010</i>	Resistivo	[6]

2.1.3. Nível

O nível da água pode ser medido manualmente, através de boias, ou da visualização direta, no caso de recipientes transparentes, mas são diversos os dispositivos disponíveis para a sua medição automática. Estes, podem simplesmente detetar quando a água está no nível correto ou medir a quantidade total de água nos tanques [3]. A obtenção do nível de líquidos nos reservatórios ou em tanques pode ainda funcionar como comando, por exemplo, para ligar uma bomba ou para emitir um sinal de alarme. Os sensores mais avançados para a medição de fluidos são ultrassónicos, radares e os sensores baseados em *laser* [7], [8]. Após revista alguma literatura sobre aquaponia, foram verificados o uso dos sensores referidos na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Sensores de nível de água descritos na literatura revista.

<i>Referência</i>	<i>Tipo</i>	<i>Referências bibliográficas</i>
<i>K8AK-LS1</i>	Relé nível	[26]
<i>519-242</i>	Magnético	[6]
<i>HC-SR04</i>	Ultrassónico	[21]
<i>JSN-SR04TO</i>	Ultrassónico	[22]

2.1.4. pH

O pH, habitualmente conhecido como uma indicação do nível de acidez ou alcalinidade, é uma medição da concentração de iões de hidrogénio (H^+). O pH da água altera a obtenção de nutrientes pelas plantas e também a taxa de nitrificação [27]. O valor de pH fora da faixa adequada altera o equilíbrio do sistema de aquaponia. Em ambientes ligeiramente ácidos, a taxa de reprodução dos peixes diminui [28]. Para se efetuar a medição do pH, podemos usar três abordagens diferentes: tiras de teste, sondas eletrónicas manuais e sondas automáticas em controladores. As sondas eletrónicas utilizam normalmente uma ponta de prova que está conectada a um controlador que recebe mudanças na saída do medidor de pH (mV, mA). Nos medidores de pH existe a necessidade de correlacionar, regularmente, os dados recebidos pelo controlador com um pH, efetuando assim uma calibração através do uso de uma solução em que o pH já é conhecido. Da literatura revista durante o levantamento do estado da arte foram identificados os sensores da Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Sensores de pH descritos na literatura revista.

<i>Referencia</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Tipo</i>	<i>Referências Bibliográficas</i>
<i>SZ 109</i>	B&C Electronics	Eléctrodo com membrana	[26]
<i>EZO</i>	Atlas	ISFET	[17]
<i>PHE-45P</i>	OMEGA	Eléctrodo com membrana	[19]
<i>Orion 3 Star meter</i>	Thermo Fisher Scientific	Eléctrodo com membrana	[27]
<i>Black</i>	Jumo Instruments	Eléctrodo com membrana	[6]
<i>WIPSK-S</i>	Winsense	ISFET	[20]
<i>E-201-C</i>	Grove	Eléctrodo com membrana	[23]
<i>PH0-14</i>	-	Eléctrodo com membrana	[22]

2.1.5. Oxigénio Dissolvido

Juntamente com o volume de água, a quantidade de oxigénio dissolvido na água determina a viabilidade para suportar vida aquática. A quantidade de oxigénio dissolvido é importante para os peixes, as bactérias e as plantas [29]. Os sistemas de medição da concentração de oxigénio dissolvido têm um custo elevado, daí serem pouco aplicados [3]. Da pesquisa bibliográfica realizada, apenas foi encontrado o uso de um sensor eletroquímico - *Atlas DO*, em Mandap et al [17].

2.1.6. Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica mede a capacidade que uma solução tem de conduzir corrente. Com o circular da água pelas raízes das plantas, os nutrientes vão sendo absorvidos e, conseqüentemente, a condutividade elétrica vai modificando. A condutividade elétrica apenas permite saber a quantidade total de sólidos, nutrientes ou salinidade de forma indireta, não sendo possível distinguir a quantidade de cada sólido dissolvido [6], [3]. Na literatura pesquisada, apenas em um projeto foi descrito o uso do sensor de condutividade elétrica - *IST - LFS1K0.155.6W.B.010-6* [6].

2.1.7. Caudal

O caudal de água permite estimar a capacidade de filtração (sólidos) e biofiltração (nitrificação) e ainda determinar a disponibilidade de nutrientes para as plantas. O caudal deve manter-se contante de modo a evitar o *stress* nos peixes e não provocar deficiências de nutrientes nas plantas. O caudal necessário varia de acordo com o sistema adotado. Em sistemas baseados em NFT (*Nutrient Film Technique*), um maior caudal de água garante que as raízes recebam maior quantidade de oxigénio e nutrientes [3]. De modo a efetuar a medição do caudal, é utilizado um caudalímetro, isto é, um dispositivo capaz de medir a quantidade de água que passa por um tubo. Basicamente existem quatro tipos de medidores de caudal: mecânico, vórtice, ultrassónico e magnético [3]. Os sensores mais básicos são constituídos por uma turbina com um *íman* para gerar o efeito de *Hall*. O sensor de efeito de *Hall* é um transdutor que, quando sob a aplicação de um campo magnético, responde com uma variação na sua tensão de saída [30]. Após revisão bibliográfica, encontram-se descritos na Tabela 2.6 o uso dos sensores.

Tabela 2.6 - Caudalímetros descritos na literatura revista.

<i>Referência</i>	<i>Tipo</i>	<i>Referências bibliográficas</i>
<i>PTR001426</i>	sensor de efeito <i>Hall</i>	[21]
<i>YF-S201</i>	sensor de efeito <i>Hall</i>	[22]

2.1.8. Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono (CO₂) está presente no ar que respiramos e é um componente essencial para a fotossíntese [3]. Em determinadas condições, o aumento de CO₂ no ar ajuda ao maior desenvolvimento das plantas [6]. Os sensores de CO₂ comercialmente disponíveis podem ser sensores de infravermelhos (NDIR) ou sensores eletroquímicos de gás [8]. O levantamento do estado da arte na literatura encontrada, permitiu a síntese dos sensores descritos na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Sensores de dióxido de carbono descritos na literatura revista.

<i>Sensor</i>	<i>Tipo</i>	<i>Referências bibliográficas</i>
<i>MG811</i>	NDIR	[31]
<i>TGS4161</i>	Eletroquímico	[6]

2.1.9. Exposição à Luz

A exposição à luz solar é crítica para as plantas e pode ser ainda mais limitada no interior de edifícios. O crescimento e desenvolvimento das plantas é afetado pelo fotoperíodo e quantidade de luz. Além da quantidade de luz, as plantas são também sensíveis ao comprimento de onda da luz que recebem [6].

Para o correto desenvolvimento das plantas a cultura deve receber em média 1,4 MJ/m². Assim, valores inferiores provocam o subdesenvolvimento das plantas, da mesma forma que locais com radiação solar intensa podem tornar necessário o recurso a métodos de sombreamento [3], [6] Aquando da escolha do local para a instalação do sistema, deve-se então ter em conta o nível de radiação oferecido.

A medição da luminosidade é efetuada através de sensores que indicam o fluxo luminoso por unidade de área. Um sensor fotoelétrico é um sensor de luz passivo, que

transforma a energia da luz num sinal elétrico de saída [7]. Existem diferentes tipos de sensores de luz, tais como como foto-resistências, foto-díodos, células fotovoltaicas, fototubos, fotomultiplicadores, foto-transístores e dispositivos de carga acoplados (CCD). Os sensores mais comuns são as foto-resistências e os foto-díodos [7], [8]. Na literatura revista foram descritos os sensores de luminosidade (Tabela 2.8).

Tabela 2.8 - Sensores de luminosidade descritos na literatura revista.

<i>Sensor</i>	<i>Tipo</i>	<i>Referências bibliográficas</i>
<i>NORPS12</i>	LDR	[6]
<i>BH1750FVI</i>	LDR	[20]

2.2. Plataformas de Aquisição de Dados

Os sensores podem ser definidos como dispositivos que convertem os estímulos das grandezas físicas, transformando-os numa grandeza física, que pode ser medida ou monitorizada. Para a aquisição de sinal é imprescindível a existência de um *hardware* que recolha os dados, os processe e analise. Por fim, para integrar todo o sistema torna-se necessário uma linguagem de programação que permita a comunicação entre os componentes [14].

As plataformas de aquisição de dados, tal como os sensores, atualmente não têm um custo elevado, permitindo o desenvolvimento fácil de redes de sensores com baixo custo. Microcontroladores e pequenas plataformas de computação são cada vez mais populares, criando a oportunidade de surgirem novas soluções para atender a necessidades de cada projeto, e, por sua vez, reduzindo o uso de *kits* comerciais que poderiam não satisfazer todas as necessidades. Estas plataformas permitem o desenvolvimento de dispositivos capazes de interagir com o ambiente.

Um microcontrolador consiste num pequeno processador com um conjunto de instruções, memória e circuitos de entrada e saída programáveis, contidos num único *chip*. Estes estão habitualmente integrados numa plataforma constituída por uma placa de circuito impresso, com circuitos de suporte e conexões. Têm a capacidade de correr pequenos programas de *software*, que podem ser ajustados para monitorizar e controlar dispositivos [9]. A plataforma contém normalmente conexões de entrada, para a ligação

de sensores, tais como sensores de temperatura, luz e humidade relativa e conexões de saída para atuadores, como motores e *displays*. Permitem, caso não possuam integrado na mesma placa, a agregação de módulos de comunicação [30], [32]. Contudo, estes têm uma limitada capacidade de memória, de comandos, de conexões e, por vezes, usam linguagem de programação específica. No mercado existem diversos microcontroladores disponíveis, desde um simples *Inter-Integrated Circuit* (I₂C) com *firmware Alf and Vegard's RISC processor* (AVR) instalado até plataformas baseadas em microcontroladores que suportam o carregamento de programas e que permitem a expansão das funcionalidades usando *hardware* disponível no mercado [30].

Duas das plataformas mais populares para a aquisição e processamento de dados na aquaponia são a Raspberry Pi e a Arduino, descritas na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 - Plataformas de aquisição de dados descritos na literatura revista.

<i>Plataforma</i>	<i>Referências bibliográficas</i>	
<i>Arduino</i>	UNO	[16]–[18], [21], [22]
<i>Arduino</i>	Mega	[24]
<i>Raspberry Pi</i>		[17], [20], [21], [23]
<i>Lumisense</i>	IoT	[19]
<i>NI LabVIEW</i>		[31]
<i>Microchip</i>	PIC 16F1784	[6]

2.3. Tecnologias de Redes Sem Fios

Nos sistemas de monitorização surgem frequentemente dificuldades devido à localização e acesso dos nós sensores. Assim, é conveniente que estes sejam o mais autónomos possível, sendo necessário implementar um equipamento que transmita o valor das variáveis medidas de um nó para outro até um ponto central na rede. Redes de sensores sem fios são as habitualmente usadas, devido à sua versatilidade e diversidade, que permitem diversos cenários, devendo adequar-se o tipo de rede ao projeto a

desenvolver [9]. Na Figura 2.1, são apresentados os logótipos das três tecnologias de rede sem fios mais conhecidas.



Figura 2.1 - Logótipos das tecnologias de rede sem fios.

As tecnologias de comunicação, nos seus inícios, estavam dirigidas principalmente para a transmissão de dados e voz, tendo elevados débitos de dados, usando protocolos como o Wi-Fi e o *Bluetooth*. No entanto, nestes protocolos os equipamentos eram complexos e de elevado custo, não sendo apropriados para aplicações com menos exigência em termos de transmissão de dados. O protocolo ZigBee surgiu para suprir estas necessidades específicas como, por exemplo, sensores, atuadores e sistemas de controlo [33]. A Figura 2.2, ilustra a relação entre a taxa de transferência e o seu consumo, custo e complexidade.

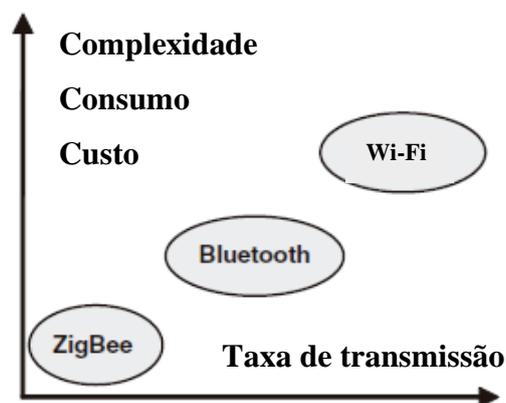


Figura 2.2 - Comparação entre ZigBee, Bluetooth e Wi-Fi [33].

Estas três tecnologias apresentam vantagens e desvantagens. Na Tabela 2.10, estão resumidas algumas características técnicas, sendo apresentadas ainda as suas aplicações gerais, vantagens e desvantagens.

Tabela 2.10 - Resumo Características das Tecnologias de Rede.

	<i>Wi-Fi</i>	<i>Bluetooth</i>	<i>ZigBee</i>
<i>Protocolo</i>	802.11 a,b,g,n	802.15.1	802.15.4
<i>Banda</i>	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
<i>Aplicações</i>	Transferência de dados, Internet	Telemóveis, Periféricos de PC	Sensores, automação e controlo.
<i>Taxa transmissão</i>	>54 Mbps	1 Mbps	250 kbps
<i>Alcance</i>	100 m	10 m	>100 m
<i>Eficiência energética</i>	Baixa	Média	Alta
<i>Dimensão da rede</i>	32	8	65.535
<i>Complexidade</i>	Média	Alta	Simple
<i>Latência</i>	Alta	Alta	Baixa
<i>Topologias de Rede</i>	Estrela e <i>peer-to-peer</i>	Estrela	Estrela/Arvore/Malha
<i>Vantagens</i>	Taxa de transmissão e flexibilidade.	Custo	Fiabilidade performance e custo

2.3.1. Wi-Fi

Quando no início da década surgiram os primeiros produtos para as redes locais sem fios, utilizando tecnologia proprietária, foi necessário o desenvolvimento de normas. Em 1997 o Instituto de Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrónicos (IEEE) aprovou a primeira versão das normas IEEE 802.11 [34].

O Wi-Fi é baseado na norma IEEE 802.11, tecnologia de rede de área local sem fios, opera nas frequências de radio de 2,5 GHz e 5 GHz, com um alcance limitado. É

uma marca limitada da *Wi-Fi Alliance*, esta certifica os produtos que utilizam este protocolo [35].

Os dispositivos designados Wi-Fi, tem a capacidade de se ligar à internet, quando disponível um ponto de acesso sem fios onde se possam ligar. A norma IEEE 802.11 inclui vários protocolos com velocidades e frequências diferentes de transferência de dados, os mais habituais atualmente são 802.11b, 802.11g e 802.11n [36].

2.3.1.1. Arquitetura de Rede

A norma IEEE 802.11 define uma arquitetura para as redes sem fios. Segundo esta norma, um grupo de duas ou mais estações sob o controlo direto de uma mesma função de coordenação formam um conjunto básico de serviço (*Basic Service Set - BSS*). A área abrangida por um BSS é designada por área básica de serviço (*Basic Service Area - BSA*) [37].

Na Figura 2.3, podemos observar os diferentes elementos que compõem a rede na configuração baseada em infraestrutura. Neste modo é necessário a presença de uma estação especial no BSS, denominada ponto de acesso (*Access Point - AP*), que funciona com intermediário entre o BSS e o sistema de distribuição (*Distribution System – DS*), permitindo a comunicação entre estações (STA) do BSS e entidades externas. O DS é o responsável por interligar múltiplos BSS, formando o conjunto estendido de serviço (*Extended Service Set - ESS*).

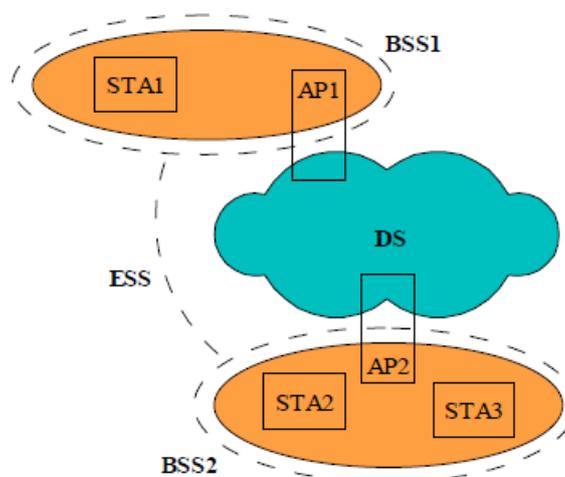


Figura 2.3 - Componentes da arquitetura da rede IEEE 802.11 [37].

2.3.1.2. Autenticação

O *Service Set IDentification (SSID)* identifica o ponto de acesso. Na implementação destas redes devem ser utilizados protocolos de segurança para impedir o acesso não autorizado. Os dados transferidos por utilizadores autenticados são encriptados, de modo a impossibilitar a sua interceção por outros utilizadores da rede. Existem para estas redes vários protocolos de segurança, com métodos diferentes de encriptação, sendo os mais comuns o WEP, WPA e WPA2 [38].

2.3.2. Bluetooth

Foi originalmente desenvolvido pela *Ericsson* com o objetivo de permitir a comunicação sem fios entre vários dispositivos próximos. O Bluetooth atua no padrão IEEE 802.15.1. A ideia consistiu no desenvolvimento de um circuito integrado para ser implementado em larga escala, com baixo consumo de energia e baixo custo. O primeiro mercado a adotar esta tecnologia foram os telefones móveis, por serem *chips* fáceis de adicionar, mas posteriormente o seu uso foi expandido a outros equipamentos [39].

2.3.2.1. Arquitetura de Rede

A comunicação Bluetooth inicia-se em dois passos: primeiro, procurar dispositivos na sua distância de comunicação e, segundo, existir um circuito de comunicação pré-estabelecido. Esta comunicação baseia-se no princípio de *master-slave*, ou seja, o dispositivo principal é capaz de se ligar a seis, porém, os dispositivos *slave* não são capazes de comunicar entre si [39], com mostra a Figura 2.4.

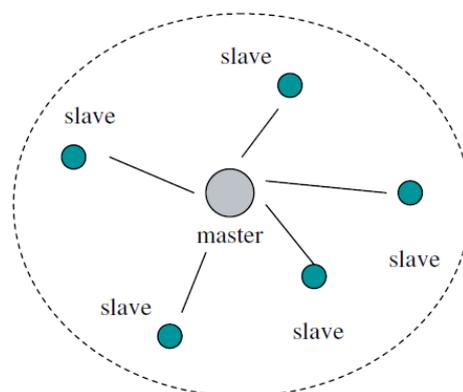


Figura 2.4 - Arquitetura *Master/Slave* [39].

2.3.3. ZigBee

O padrão ZigBee foi criado pela *ZigBee Alliance*, uma organização sem fins lucrativos que surgiu em 2002, livre para todos os que quisessem colaborar com o projeto. Foi adotada a padronização IEEE 802.15.4, os seus protocolos de camadas físicas e de controlo de acesso [40]. As camadas de rede baseiam-se no modelo de referência do *Open System Interconnection* (OSI). O padrão IEEE 802.14.5 define as camadas física e de controlo de acesso ao meio, o padrão ZigBee define as camadas de ordem superior, como camada de rede, de aplicação e de segurança.

Este padrão, devido à sua baixa taxa de transferência, não é adequado na implementação de redes sem fio para acesso a *internet* ou outras aplicações que exigem grandes quantidades de dados. No entanto, nos casos dos sensores, o intuito é a aquisição de dados e comandos simples, pelo que, nestes casos, o ZigBee apresenta melhor custo benefício quando comparado ao Bluetooth e ao Wi-Fi [33].

2.3.3.1. Rede ZigBee

Nesta rede, existem três tipos possíveis de dispositivos: coordenador, *router* e dispositivo final. De seguida, vai ser descrita a função de cada um em detalhe, iniciando-se no mais complexo [9][41]:

- **Coordenador:** inicia e administra a rede, permitindo que se juntem à rede outros dispositivos. No coordenador é selecionado o *Personal Area Network Identifier* (PAN ID), que vai identificar a rede. Excetuando esta importante função, ele atua como um *router* normal. Cada rede tem apenas um coordenador.
- **Router:** junta-se à rede criada pelo coordenador e reencaminha os pacotes de dados para os restantes membros da rede, criando a rede em malha. Para poder manter constantemente as funções de *router*, este dispositivo não pode entrar em *sleep mode*.
- **Dispositivo final:** tem funções limitadas, não sendo capaz de reencaminhar mensagens, o que lhe permite poupar energia e entrar em *sleep mode* quando não tem que enviar dados.

2.3.3.2. Topologias de rede

A estrutura de rede ZigBee pode apresentar diferentes topologias. Essa versatilidade permite escolher a estrutura de rede que melhor se enquadra com o projeto a desenvolver. A topologia indica a forma como os módulos rádio podem comunicar entre si. Esta rede pode ser organizada em três topologias [42]:

- **Estrela:** o coordenador é o centro da rede, estando rodeado de dispositivos finais. Toda a informação passa pelo coordenador, que reencaminha para os outros dispositivos caso seja necessário. Os dispositivos finais não são capazes de comunicar entre eles diretamente. Este tipo de organização de rede pode ser considerado um dos mais simples.
- **Malha:** nesta configuração são acrescentados módulos *router* à rede. Como já referido, estes permitem a passagem de mensagens de dispositivos final, sendo também capazes de comunicar com os seus pares. Podem ter agregados a si vários dispositivos finais. Este tipo de rede é estável e confiável, uma vez que no caso de falha de um dispositivo os restantes são capazes de comunicar entre si.
- **Árvore:** é similar à topologia em malha, sendo que os *routers* agregam informação dos dispositivos finais e enviam-na para o coordenador. Os módulos *router* nesta topologia não comunicam entre si por estarem demasiado distantes fora do raio de comunicação. Esta topologia é utilizada quando se pretende cobrir uma grande área.

Na Figura 2.5, são demonstradas as diferentes topologias que a rede ZigBee pode adotar.

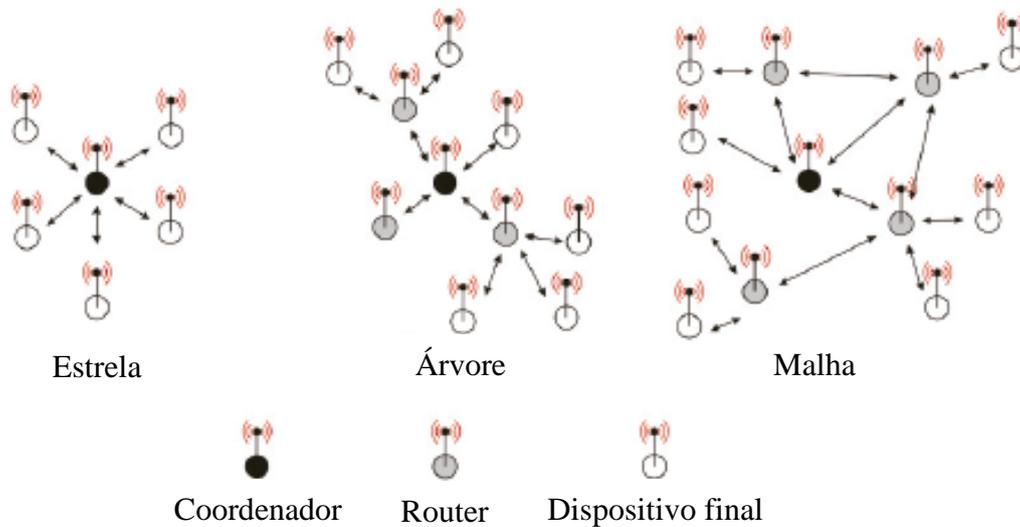


Figura 2.5 - Tipos de Topologia de uma rede ZigBee.

2.3.4. Qualidade do Sinal

O *Received signal strength indicator* (RSSI) é uma medida que indica a intensidade do sinal recebido, mas refere-se apenas à energia do sinal e não à qualidade deste. É uma métrica que está presente nos recetores de rádio, tendo grande relevância para os utilizadores de tecnologias de rede sem fios, permitindo relacionar intensidade do sinal com a qualidade de ligação.

O valor da intensidade de sinal obtido é sempre relativo ao último pacote recebido pelo dispositivo e é expresso em dBm, O objetivo desta indicação é representar o decaimento da potência do sinal à medida que a distância entre dispositivos vai aumentando [43].

O *Link Quality Indication* (LQI) é utilizado no protocolo de comunicação ZigBee e funciona como um indicador da qualidade dos pacotes recebidos pelo recetor. Esta medição é efetuada a cada pacote recebido [33].

2.4. Comunicação, Armazenamento e Visualização dos Dados

Podemos encontrar bastantes plataformas IoT disponíveis, mas poucas se adequam às redes de sensores. Muitas destas plataformas agregam a funcionalidade de recolha de dados, que usam normalmente o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), armazenamento e interface para visualização dos dados. Na Tabela

2.11, podemos observar algumas das plataformas adotadas no desenvolvimento de sistema de monitorização em aquaponia. Para melhor entendimento as diferentes funcionalidades serão abordadas em separado.

Tabela 2.11 - Sistemas de armazenamento e visualização dos dados identificados na literatura revista.

<i>Plataforma</i>	<i>Tipo</i>	<i>Referências bibliográficas</i>
<i>THIN SPEAK</i>	MQTT	[16]
<i>mySQL</i>	Base de Dados	[17], [21], [23]
<i>LumisenseIoT</i>	MQTT	[19]
<i>NI LabVIEW software</i>		[31]
<i>Microsoft Excel</i>		[31]
<i>TinyWebDB</i>		[20]
<i>Ubidots</i>	MQTT	[22]
<i>FIWARE platform</i>	MQTT	[26]

2.4.1. Protocolos de Comunicação

Para unificar a comunicação de dados em dispositivos IoT, existem sistemas proprietários e de código aberto. Contudo, existem duas que se destacam, sendo estas as abordadas.

2.4.1.1. MQTT

O protocolo MQTT é usado por diversas plataformas, tais como *Thin Speak*, *Mosquitto*, *Beebotte*, *Adafruit IoT*, entre outras. Foi especialmente desenhado para ser mais leve que o *Hyper Text Transfer Protocol 1.1* (HTTP 1,1), necessitando de menos largura de banda, podendo ser utilizado em redes com menor fiabilidade. É um protocolo de conectividade máquina a máquina (M2M) e para a *internet* das coisas (IoT). Funciona num mecanismo de publicação/subscrição baseado num intermediário/servidor (*broker*) que é executado no topo do protocolo TCP/IP. O cliente que envia as mensagens através

do *broker* é denominado *publisher*. O *broker* é responsável por receber as mensagens, filtrar e distribuí-las pelos interessados em receber aquele tipo de mensagens. Os clientes que se registem para receber determinado tipo de mensagem, são denominados *subscribers*. Tanto o *publisher* como os *subscribers* estabelecem comunicação com o *broker* [44], [45]. Podemos observar no diagrama da Figura 2.6 o funcionamento deste protocolo.

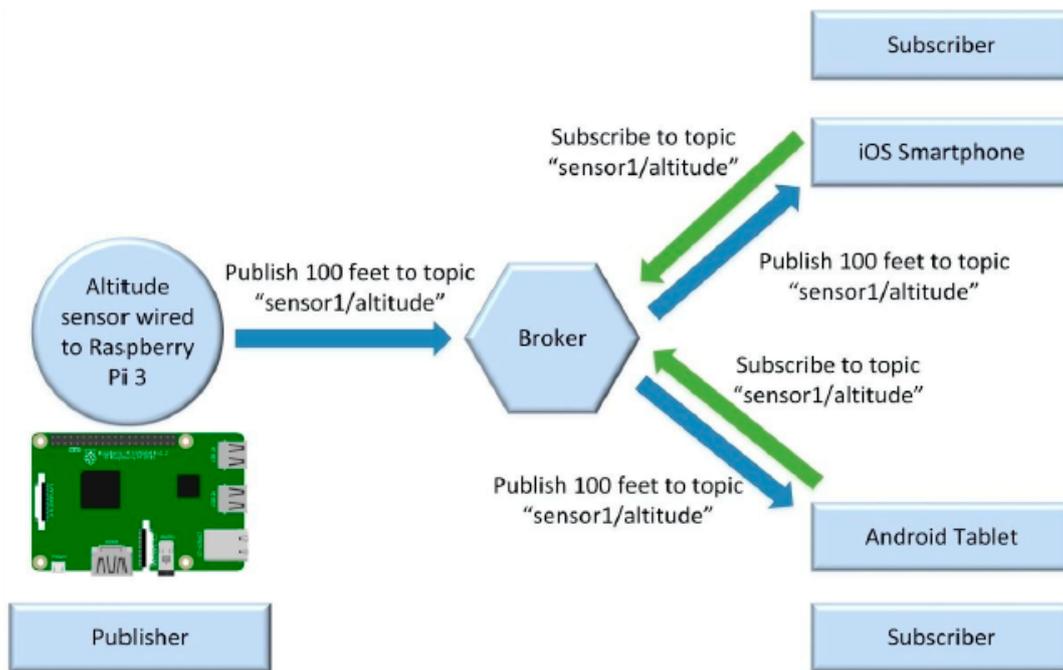


Figura 2.6 - O diagrama mostra a conexão entre um publicador e dois subscritores conectados a um *broker* [44].

2.4.1.2. HTTP

O protocolo HTTP é um protocolo de comunicação usado em sistemas de informação, não sendo o mais adequado para aplicações IoT, tendo sido originalmente desenvolvido para que um navegador solicitasse uma página *Web* [41], [46]. Atualmente, o HTTP/REST, é usado para permitir que dispositivos enviem e solicitem dados, de e para servidores. Utilizando o HTTP pode-se ainda desenvolver uma *Web Application Programming Interface (API)*, para um servidor ou *web browser* [41].

Quando usado no modelo cliente-servidor, funciona como um protocolo de requisição de resposta, efetuando a intermediação dos elementos da rede para melhorar ou habilitar comunicações. Suporta múltiplos métodos de transmissão de dados, sendo os

dois métodos mais populares nos dispositivos IoT, o GET e o POST. Os métodos GET e POST variam no formato de solicitação. O GET está limitado na quantidade de dados que podem transmitir em comparação com o POST [46]. Na Figura 2.7, podemos observar uma ilustração da comunicação entre um dispositivo e um servidor HTTP.

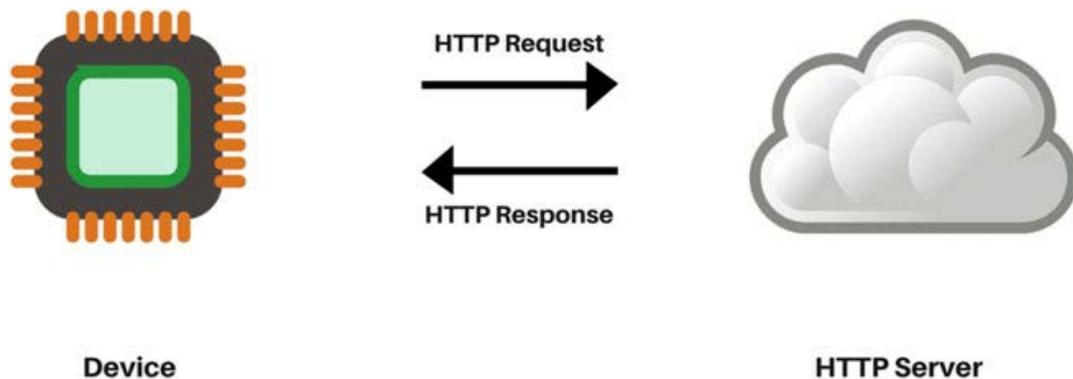


Figura 2.7 - Hyper Text Transfer Protocol (HTTP) [46].

2.4.2. Base de Dados

Existem variadas plataformas que permitem o armazenamento de dados tanto a nível local como em servidores [9]. As alternativas para armazenar dados podem variar desde o armazenamento dos dados no próprio nó, num servidor local, ou numa nuvem. Existem, porém, plataformas desenvolvidas especialmente para a recolha de dados de sensores. Cada uma destas possui diferentes recursos, complexidade e custo.

O *MySQL* é um sistema livre de gestão de base de dados relacional, sendo a escolha mais popular dos desenvolvedores de sistemas [47]. Oferece uma vasta gama de funcionalidades de uma base de dados, necessitando de poucos recursos, podendo praticamente funcionar em qualquer computador [30].

2.4.3. Aplicações para Visualização dos Dados

O acesso e visualização dos dados é uma área sensível e que deve ser tida em consideração. Como referido, existem plataformas que já incluem na sua oferta a plataforma de visualização, no entanto, estas são desenvolvidas para uso geral e podem ser limitativas em relação ao que oferecem. Uma alternativa é a criação de uma aplicação customizada, para responder ao projeto a ser desenvolvido, sendo para isso necessários conhecimentos avançados de programação. Recentemente, surgiram duas alternativas que

permitem o desenvolvimento de aplicações multiplataforma para a visualização sem que sejam necessários conhecimentos avançados de programação.

2.4.3.1. Google AppSheet

AppSheet é uma plataforma *online* para desenvolvimento de aplicações móveis multiplataforma e para a *Web*. O uso desta ferramenta é gratuito para uso pessoal e desenvolvimento de protótipos, permitindo a sua distribuição, na versão gratuita, a dez utilizadores. Esta plataforma permite a integração com diversas bases de dados em nuvem (*Google Sheets* e bases de dados SQL) e fornece uma interface gráfica simples e intuitiva para o desenho e desenvolvimento de aplicações, não sendo necessária experiência em programação [48].

O objetivo da *Google* ao permitir o acesso a estas tecnologias é acelerar o desenvolvimento de aplicações móveis sem ser necessário conhecimentos avançados de código, oferecendo interfaces de utilizador avançadas, visualização de dados e recursos de inteligência artificial [49].

2.4.3.2. Microsoft PowerApps

As *PowerApps* são um serviço de subscrição para o desenvolvimento de aplicações para utilizadores sem grandes conhecimentos de programação. As aplicações são desenvolvidas especialmente para *smartphone* e *tablet*, mas podem ser visualizadas no *web browser*, podendo ainda incluir uma interface para visualizar e editar dados. Permitem ser conectadas a diferentes fontes de dados, como o *OneDrive*, *DropBox*, *Google Drive* ou servidor SQL e podem inclusivamente utilizar como base de dados uma simples folha do *Excel*. Para desenvolvimento de aplicações que não sejam suportadas nativamente, já são necessários conhecimentos de programação avançados [50].

Sendo um serviço de subscrição, tem um custo, podendo ser subscrito apenas este serviço ou estar incluído na subscrição de outros produtos, tais como o *Office 365*.

2.5. Análise dos requisitos

O levantamento dos requisitos para o sistema a implementar foi realizado em conjunto com o responsável pela instalação do sistema de aquaponia.

2.5.1. Listagem de requisitos de monitorização e controlo

O sistema de monitorização e controlo do sistema de aquaponia deverá ser capaz de adquirir valores sobre as seguintes grandezas físicas:

- Hidroponia - Monitorização
 - Temperatura ambiente e da água
 - Humidade relativa
 - Luminosidade
 - Nível da água
 - Temperatura água (apenas piso 3)
- Tanque exterior de aquacultura – Monitorização
 - Temperatura água
 - Nível da água
 - Caudal

2.5.2. Requisitos de comunicação

O sistema de monitorização deverá fazer a aquisição dos dados através de uma rede de sensores sem fios, que deve estar acessível através de um computador e poderá incluir um sistema de alertas para os níveis de água.

2.5.3. Requisitos de armazenamento de dados

Os dados adquiridos pelos sensores devem ficar registados numa base de dados num computador central ou nuvem. Deve ser possível visualizar a evolução, ao longo do tempo, das variáveis medidas pelo sistema de monitorização.

2.5.4. Requisitos de instalação

Os módulos desenvolvidos devem estar contidos no interior de uma caixa, com os sensores nas proximidades, que deve ser de fácil remoção caso exista necessidade. Não deve ser de fácil acesso a qualquer transeunte.

CAPÍTULO 3 - SOLUÇÃO DESENVOLVIDA

3. Solução Desenvolvida

Existem diversos projetos, acadêmicos e com fins comerciais, onde são desenvolvidos sistemas para a monitorização da aquaponia. Estes sistemas aplicam inúmeros diferentes sensores, sistemas de aquisição de dados, transmissão e armazenamento. O sistema desenvolvido teve que obedecer a requisitos fundamentais a cumprir, nos parâmetros a ser monitorizados, tipo de sensores a ser utilizados e meio de comunicação. Neste capítulo é apresentada arquitetura do sistema, os sensores utilizados, as plataformas de aquisição, os módulos de comunicação, sendo efetuado um resumo da metodologia de funcionamento e configurações utilizadas. Por fim tem-se a interligação de todo o sistema á plataforma de visualização dos dados.

3.1.Arquitetura do Sistema

O sistema desenvolvido consiste, de uma forma geral, em dois grupos: o *hardware* e o *software*.

No *hardware*, inclui-se os sensores, sistemas de aquisição e módulos de comunicação. No *software* utilizado neste projeto estão os programas utilizados para desenvolver, compilar e carregar os códigos de programação para o *Arduino* e para configurar os módulos de comunicação.

Como já referido, o sistema de aquaponia é constituído pelo sistema de hidroponia (produção de plantas sem solo) e pelo sistema de aquacultura (produção de peixes). Ambos estão interligados, dependendo um do outro, porem têm necessidades diferentes de monitorização. O sistema de hidroponia do ISEP instalado em três pisos do edifício G e o de aquacultura está no piso 1 junto ao edifício H.

O trabalho desenvolvido neste projeto, incidiu principalmente no desenvolvimento de uma rede de sensores sem fios utilizando ZigBee e Wi-Fi. O sistema de monitorização e controlo é constituído por quatro nós: três nós sensores e um nó agregador. A topologia usada para formar a rede ZigBee é do tipo malha, sendo todos os nós do tipo router/sensor.

Na Figura 3.1, é apresentada a topologia e arquitetura do sistema desenvolvido.

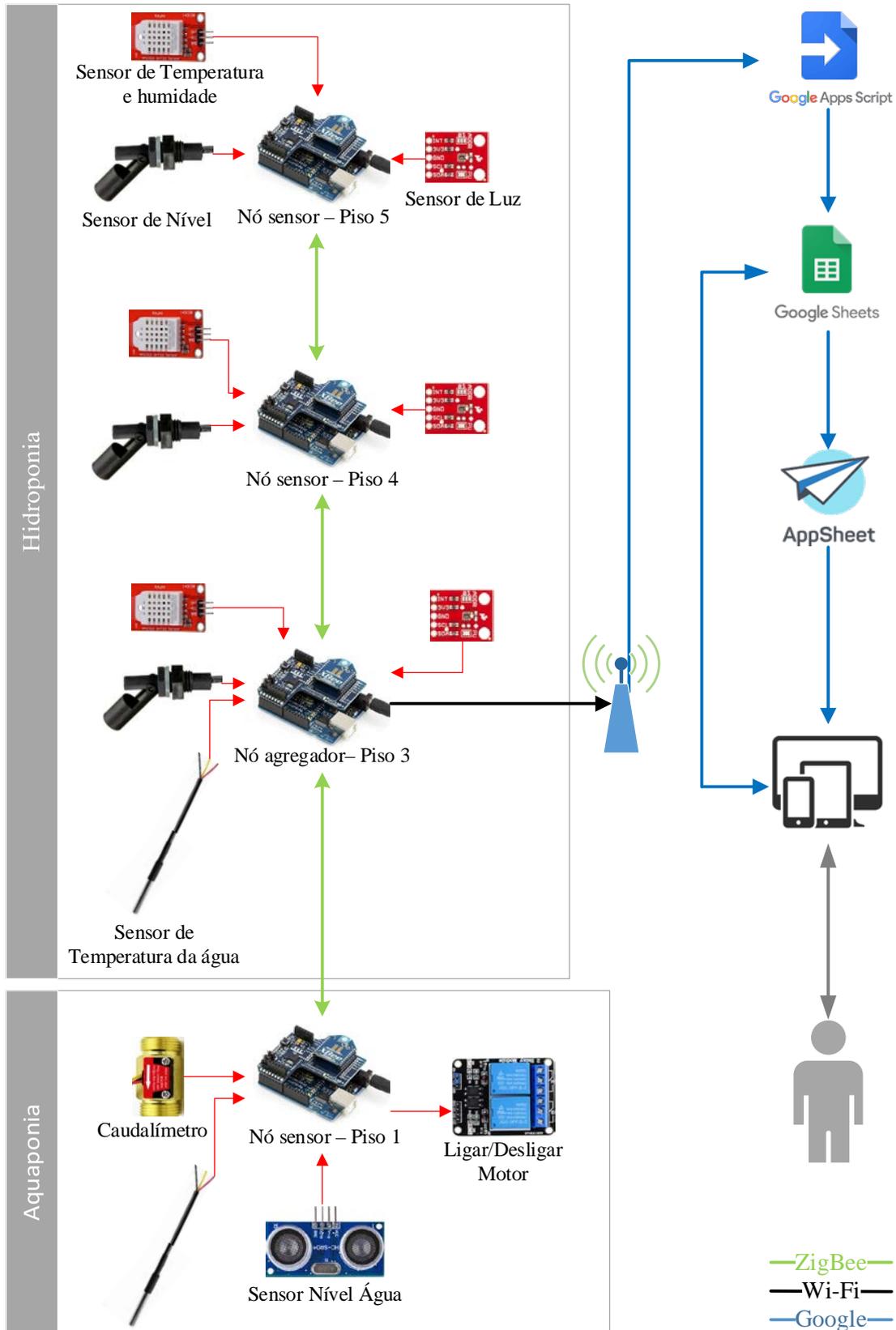


Figura 3.1 - Topologia e arquitetura do sistema.

A Figura 3.1, permite ter uma perceção global do sistema desenvolvido. Os nós sensores fazem a leitura dos sensores e em determinados intervalos de tempo e enviam os dados para o nó agregador via ZigBee. O nó agregador por sua vez armazena temporariamente os dados recebidos e, através do Wi-Fi liga a *internet*, encaminha os dados recolhidos, para uma base de dados numa nuvem, para serem armazenados. O armazenamento dos dados numa nuvem permite o acesso aos dados pelo utilizador sem que seja necessário se encontrar nas proximidades do sistema, tendo que ter apenas acesso à *internet*.

Para o armazenamento numa nuvem dos resultados obtidos foi utilizada uma folha do *Google Sheets*, hospedada no *Google Drive*. A informação pode então ser visualizada imediatamente na aplicação desenvolvida no *Google AppSheet*. A *Google AppSheet* é uma aplicação multiplataforma que permite a visualização dos resultados da monitorização via *Web Browser* e/ou através da instalação da aplicação nos dispositivos moveis.

No sistema desenvolvido, teve sempre especial atenção à forma como será operada ao longo do tempo pelo responsável. Todo o sistema deverá ser simples e de utilização intuitiva, mas ao mesmo tempo robusto e fiável.

3.2.Sensores

A escolha das grandezas físicas a monitorizar foi efetuada de acordo com o levantamento dos requisitos. O passo seguinte é a escolha dos sensores adequados para a grandeza que se pretende medir.

3.2.1. Temperatura e humidade

Na monitorização da temperatura e humidade, foi utilizado o módulo sensor *DHT22* (Figura 3.2). É constituído por sensor de humidade capacitativo e um termístor para medir a temperatura ambiente.



Figura 3.2 - Sensor de temperatura e humidade *DHT22*.

Num sensor de humidade capacitativo, as mudanças de humidade alteram os valores de capacitância. São constituídos por um material dielétrico higroscópico colocado entre elétrodos metalizados, originando um condensador. A humidade presente no dielétrico tende a ficar em equilíbrio com o ar que o rodeia, assim a impedância elétrica do condensador indica a humidade do ar [7].

O termistor é constituído por materiais semicondutores, em que a sua resistência elétrica muda com a temperatura. A resistência pode aumentar ou diminuir dependendo das propriedades do material semiconductor, estando os termístores divididos em dois tipos os de coeficiente de temperatura positivo (PTC) e os de coeficiente de temperatura negativo (NTC) [7]. Neste módulo é usado um NTC que significa que a sua resistência diminui com o aumento da temperatura.

Este módulo comunica enviando um sinal digital, tendo uma taxa de aquisição de dados lenta, 3 a 4 segundos por amostra. Os dados são transmitidos como uma série de tensões baixas e altas, sendo estas interpretadas como 0 e 1 respetivamente, que o microcontrolador usa para formar um valor. Os dados enviados têm um tamanho de 5 bits, sendo os dois primeiros para a humidade e os dois segundos para a temperatura, o quinto bit é de verificação [9]. Na Tabela 3.1 são apresentadas as características do sensor. No Arduíno é utilizada a biblioteca de código aberto *dht.h*.

Tabela 3.1 - Características do sensor de temperatura e humidade *DHT22* [51].

	<i>Faixa medição</i>	<i>Precisão</i>	<i>Resolução</i>
<i>Humidade</i>	0 a 100 %	+/- 2,0 %	0,1%
<i>Temperatura</i>	-40 a +80 °C	+/- 0,5 °C	0,1 °C

3.2.2. Temperatura da água

O *DS18B20* (Figura 3.3) é um sensor digital de temperatura, com uma resolução de 9 a 12 bits, que inclui uma unidade computacional embutida e utiliza a uma única via de comunicação (*one-wire bus*) entre o microprocessador e o dispositivo de aquisição de dados. A tecnologia *one-wire bus*, foi desenvolvida pela *Dallas Semiconductor*, cada dispositivo *1-wire™* possui um código de identificação único de 64 bits, o que admite a utilização de múltiplos sensores na mesma linha de dados [52].



Figura 3.3 - Sensor de temperatura *DS18B20*.

Na versão encapsulada é à prova de água. Para que este sensor comunique com o *Arduino* é necessário o uso das bibliotecas de código aberto *OneWire.h* e *DallasTemperature.h*. As características de funcionamento estão descritas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Características do sensor de temperatura *DS18B20* [52].

<i>Tensão de funcionamento</i>	3-5 V
<i>Faixa de medição</i>	-55 a +125 °C
<i>Precisão</i>	+/- 0,5 °C
<i>Resolução</i>	0,1 °C
<i>Resistência à água</i>	Sim

3.2.3. Luminosidade

Como se pretende saber o fotoperíodo e a quantidade de luz (em Lux), a que as plantas estavam expostas foi utilizado o sensor de luz *TSL2561* (Figura 3.4). Contém dois fotodíodos, num circuito integrado *Complementary metal-oxide-semiconductor* (CMOS), um deles combinando as frequências da luz visível e luz infravermelha e outro apenas a infravermelha, por forma a aproximar a sua sensibilidade à do olho humano [53].

Este sensor, através de dois *Analog-to-Digital converters* (ADC), um para cada fotodíodo, transforma a luz recebida num sinal digital e utiliza a interface I²C de 16 bits [54].

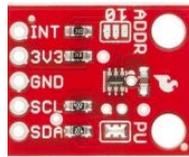


Figura 3.4 - Sensor de luz *TSL2561*.

Este sensor permite controlar, a sua sensibilidade à luz, através do ajuste do tempo de integração e do ganho. Podem ser escolhidos três tempos de integração, 13,7 ms, 101 ms e 402 ms, e dois diferentes ganhos de $x1$ e $x16$ [54]. Neste projeto, como o sensor está exposto à luz solar direta, foi escolhido um tempo de integração de 13,7 ms e ganho de $x1$. As características deste sensor estão na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Características sensor de luz *TSL2561* [53], [54].

<i>Tensão de funcionamento</i>	2,7 a 3,6 V
<i>Corrente de funcionamento</i>	0,6 mA
<i>Faixa de medição</i>	0 – 65535 lux
<i>Resolução</i>	1 lux

3.2.4. Caudal

Na medição do caudal, gerado pela bomba de circulação, foi usado o sensor *YF-5B* (Figura 3.5). O sensor foi colocado após a saída de água da bomba, sendo possível identificar o caudal total debitado. O *YF-5B* é um sensor de efeito de *Hall*, que deteta quando existe um campo magnético na proximidade do sensor. No interior, uma hélice roda de acordo com o caudal de água. Essa hélice contém um ímã que provoca que o sensor de *Hall* gere um impulso a cada volta da hélice [9].



Figura 3.5 - Caudalímetro *YF-5B*.

Na documentação do sensor, um caudal de 1 litro por minuto corresponde a uma frequência de 6,6 impulsos por segundo[55]. Assim, através do número de impulsos num determinado tempo é determinado o caudal. Sendo Q o caudal em litros por hora, p o número de impulsos e t o tempo da contagem de impulsos em segundos é dado pela Equação 3.1.

$$Q = \left(6,6 \times \frac{p}{t}\right) \times 60 \quad 3.1$$

Tabela 3.4 - Características do caudalímetro *YF-5B* [55].

<i>Tensão de funcionamento</i>	4,5 -18 V
<i>Corrente de funcionamento</i>	10 mA
<i>Faixa de medição</i>	2-45 L/min
<i>Pressão máxima</i>	1,75 MPa

3.2.5. Nível de água

Para a indicação do nível da água foram implementados dois sistemas diferentes, dependendo de onde são colocados. Na hidroponia, o sensor escolhido foi o sensor *EF16B0052BG* (Figura 3.6), que gera um sinal de apenas ligado ou desligado. Este sensor é constituído por uma boia com um íman no seu interior que, conforme a sua posição, atua como interruptor, ligando e desligando o circuito. O objetivo destes é indicar quando o nível de água ultrapassa o limite máximo estipulado, pois isso é indicativo de que o sistema de escoamento pode estar obstruído.



Figura 3.6 - Sensor de nível *EF16B0052BG*.

No tanque principal, como se pretende saber a quantidade total de água e ter indicação de qual a perda por evaporação, foi usado um sistema de medição por ultrassons. Os sensores ultrassónicos, como o *HC-SR04* (Figura 3.7), utilizam ondas ultrassónicas com o propósito de identificar a distância de um objeto. São ondas de muito altas frequências.



Figura 3.7 - Sensor de ultrassom *HC-SR04*.

O sensor é constituído por dois elementos principais, um transmissor e um recetor. O transmissor envia uma onda e quando esta encontra um objeto é refletida e volta para o sensor, estas ondas refletidas são absorvidas pelo recetor. A distância é calculada pela diferença de tempo entre o envio e a receção da onda [7]. Para calcular o volume de água do depósito subtrai-se, à altura total, à distância a que a água de encontra do sensor usando a Equação 3.2, onde C é o comprimento L a largura e A a altura e x o valor medido pelo sensor.

$$Volume = ((C * L * (A - x))/1000) \quad 3.2$$

Na Tabela 3.5 estão indicadas as características que levaram à escolha deste sensor.

Tabela 3.5 - Características do sensor de ultrassom *HC-SR04* [56].

<i>Tensão de funcionamento</i>	5 V
<i>Corrente</i>	2 mA
<i>Faixa de medição</i>	2 a 400 cm
<i>Resolução</i>	1 cm

3.1.Relé

O relé é um interruptor eletromecânico de comutação de contactos elétricos, que permite separar o sistema de comando do sistema de comutação, normalmente de maior potência. O relé pode ser acionado por tensões inferiores às tensões aplicadas no sistema de comutação [57]. Dependendo da sua função, o estado de repouso pode ser normalmente fechado (NF) ou normalmente aberto (NA) [58].

O relé *2PH82109A* (Figura 3.8), foi o escolhido por permitir ser comandado a 5 V e permite a comutação de tensões de cerca de 250 V e corrente até 10 A. Apresenta ainda a vantagem de criar um optoisolamento entre o circuito de comando e o circuito de comutação [59].

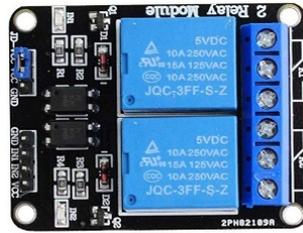


Figura 3.8 - Relé para ligar/desligar motor.

3.2. Aquisição de dados

Os sensores geram um sinal correspondente à grandeza a medir e, para serem integrados no sistema de monitorização e controlo, necessitam de ser acoplados a uma placa de aquisição. Os microcontroladores habitualmente utilizados nas redes de sensores sem fios são constituídos por microprocessador, memórias *flash*, *Random Access Memory* (RAM), conversores analógico-digitais e portas de comunicação.

3.2.1. Arduino

O *Arduino* é uma plataforma livre, com um microcontrolador e ligação *Universal Serial Bus* (USB), de utilização global. É utilizada em projetos educacionais e para desenvolvimento de protótipos. Embora seja principalmente conhecido pelo *hardware*, para o programar é necessário um *software* denominado *Arduino IDE* [60].

Tendo em conta que o projeto a desenvolver teria de ter um baixo custo e ser de fácil implementação, foi assim considerada a utilização deste sistema para este projeto. Foram adquiridas três placas *Arduino Uno Rev3* (Figura 3.9) e uma *Arduino Uno Wifi Rev2* (Figura 3.10), cujas características são comparadas na Tabela 3.6.



Figura 3.9 - Arduino Uno Rev3.



Figura 3.10 - Arduino Uno Wifi Rev2.

A Placa *Arduino Uno Wifi Rev2* foi escolhida por ter integrado o módulo *NINA-W102*, que permite a ligação com a rede Wi-Fi.

Tabela 3.6 - Comparação entre *Arduino Uno Rev3* e um *Arduino Uno Wifi Rev2* [61], [62].

	<i>Arduino Uno Rev3</i>	<i>Arduino Uno Wifi Rev2</i>
<i>Microcontrolador</i>	ATmega328P	ATmega4809
<i>Tensão de funcionamento</i>	5 V	5 V
<i>Tensão de entrada (Recomendada)</i>	7-12 V	7-12 V
<i>Tensão e entrada (Limite)</i>	6-20 V	6-20 V
<i>Pinos entrada/saída digitais</i>	14	14
<i>PWM Digitais</i>	6	5
<i>Pinos de entrada analógicos</i>	6	6
<i>Corrente por pino</i>	20 mA	20 mA
<i>Corrente por pino de 3,3V</i>	50 mA	50 mA
<i>LMemória Flash</i>	32 kB (ATmega328P)	48 kB (ATmega4809)
<i>SRAM</i>	2 kB (ATmega328P)	6,144 Bytes (ATmega4809)
<i>EEPROM</i>	1 kB (ATmega328P)	256 Bytes (ATmega4809)
<i>Velocidade de relógio</i>	16 MHz	16 MHz
<i>Módulo Rádio</i>	-	u-blox NINA-W102
<i>Elemento de segurança</i>	-	ATECC608A
<i>Unidade de medida de inercia</i>	-	LSM6DS3TR
<i>Dimensões</i>	68,6x53,4 mm	68,6 x53,4 mm
<i>Peso</i>	25 g	25 g

3.2.2. Código Arduino

O *Arduino IDE* é um *software* gratuito e aberto. Existe ainda uma grande comunidade de suporte, com uma ampla partilha de conhecimentos, projetos exemplo e soluções para problemas. Este *software* corre num computador, onde se pode criar e compilar *sketches* e, posteriormente enviar para o *Arduino* via USB. Os *sketches* são escritos cumprindo dois métodos obrigatórios, um quando o *Arduino* é ligado ou reiniciado (*Setup*) e outro que executa continuamente (*Loop*). Antes do *Setup*, encontra-se diretivas de pré-processamento e a declaração das variáveis globais. A linguagem de programação é semelhante a C+, sendo possível definir variáveis e funções [30]. Através do *software* desenvolve-se um conjunto de comandos que interagem e controlam o funcionamento do *hardware*.

3.3. Transmissão dos dados

Para conectar múltiplos módulos Arduino, usando uma rede de comunicação sem fios, existem inúmeras opções e tecnologias. As opções variam de simples transmissores de baixa energia, até módulos complexos que efetuam o processamento dos dados recebidos, gestão da rede e criptografia [41].

Na seleção da correta tecnologia de rede sem fios a adotar, para além da quantidade de dados a transmitir, temos de ter em conta as limitações em relação ao alcance do sinal. Dependendo da tecnologia estas apresentam um alcance diferente. Para além disso os valores apresentados referem-se ao alcance teórico da tecnologia. O alcance real varia de acordo com o equipamento usado e com as perdas de sinal. Estas perdas variam com a distância e com os obstáculos encontrados na comunicação entre os módulos. No levantamento das necessidades para a implementação da rede de sensores sem fio a utilizar na monitorização do sistema de aquaponia, verificou-se a necessidade de uso de duas tecnologias de comunicação, Wi-Fi e ZigBee. Para se ter acesso às tecnologias, Wi-Fi e ZigBee, foi necessário adquirir equipamentos que suportem o seu uso.

3.3.1. NINA-W102

O *Arduino UNO Wifi Rev2* é uma placa baseada no *Arduino UNO*, com adição do módulo de comunicação sem fios. Esta placa contém o módulo *NINA-W102* que oferece suporte para comunicações Wi-Fi 802.11b/g/n na banda de 2,4 GHz e Bluetooth v4.2. Tem integrado *hardware* criptográfico para aumentar a segurança da transmissão [63]. Sendo o Wi-Fi a forma mais comum de aceder à internet, é uma ótima adição a esta placa.

3.3.1. XBee

No protocolo de ZigBee, existem várias opções referentes à utilização de rádios e módulos para formar a rede de sensores sem fios. Estes podem ser colocados em três categorias: rádios transceptores ZigBee, rádios transceptores com microcontrolador integrado e ainda fornecido em módulos.

Os *XBee* foram desenvolvidos para operarem no protocolo ZigBee, serem de baixo custo, de uso fácil e terem um bom suporte, com várias bibliotecas de *Arduino* disponíveis [41]. Os consumos energéticos destes módulos são baixos, e tem uma capacidade de transmissão de dados consistente entre os dispositivos que operam na banda de frequências dos 2,4 GHz. No mercado estão disponíveis várias famílias de produtos *XBee*, cada um com características únicas e diferentes distâncias de transmissão.

Neste projeto optou-se pela utilização de rádios transceptores com microcontrolador integrado, provenientes da *Digi Internacional Inc*. Este fabricante tem disponível no mercado diferentes modelos de rádio *Xbee*, sendo os mais comuns no mercado, os *Série 1* que apenas suportam o padrão IEEE 802.15.4, os *Série 2* que suportam o padrão IEEE 802.15.4 e o padrão ZigBee, permitindo o desenvolvimento de redes do tipo malha. Na Tabela 3.7, podemos comparar características dos módulos encontrados no mercado. Os módulos *XBee* podem ser ainda encontrados com diferentes encapsulamentos, variando de acordo com a antena, alcance de sinal e frequência de operação. Na Figura 3.11, podemos ver as quatro configurações possíveis da antena do módulo *XBee*.

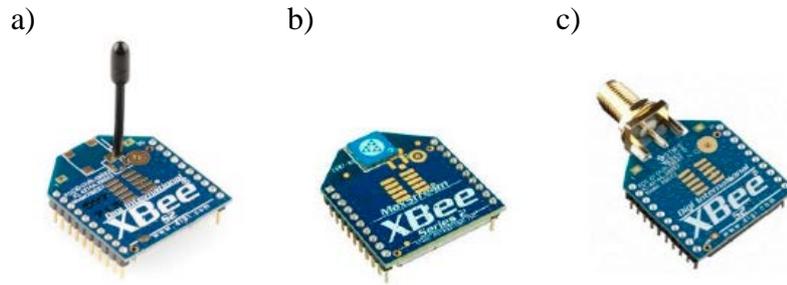


Figura 3.11 - Tipo de antenas módulos *XBee*: a) antena *whip* b) antena chip e c) conector RPSMA.

Tabela 3.7 - Comparação entre os módulos *XBee Series 1*, *Series 2* e *Series 2C* [64].

	<i>Xbee S1</i>	<i>Xbee ZB S2</i>	<i>Xbee ZB S2C</i>
<i>Alcance no interior</i>	Até 30 m	Até 40 m	Até 60 m
<i>Alcance Máximo</i>	Até 100m	Até 120 m	Até 1200 m
<i>Potencia de transmissão</i>	1 mW	2 mW	6,3 mW <i>Boost mode</i> 3,1 mW <i>Normal mode</i>
<i>Taxa de Transmissão</i>		250 Kbps	
<i>Sensibilidade de Recepção</i>	-92 dBm	-98 dBm	-102 dBm <i>Boost mode</i> -100 dBm <i>Normal mode</i>
<i>Tensão de Funcionamento</i>	2,8 – 3,4 V	2,8 – 3,6 V	2,1 – 3,6 V
<i>Consumo Máximo</i>	50 mA (3,3 V)	40 mA (3,3 V)	45 mA 33 mA
<i>Topologia</i>	Ponto a Ponto e estrela	Ponto a ponto, estrela e malha	Ponto a ponto, estrela e malha
<i>Frequência</i>		ISM 2,4 GHz	
<i>Temperatura de Funcionamento</i>		-40 a 85 °C	

Para a rede a ser desenvolvida neste projeto foram adquiridos quatro módulos *XBee*, sendo três da *série 2C* e um da *série 2*.

3.3.2. *XBee Shield*

A plataforma *Arduino* proporciona ao utilizador a possibilidade do uso de *Shield*, que tem como objetivo ampliar os recursos de *hardware* do *Arduino*. Embora exista a possibilidade de ligar o *XBee* diretamente ao *Arduino*, o *XBee Shield* é um componente desenvolvido especialmente para facilitar a ligação. Habitualmente, os módulos conectam o pino RX do *Arduino* ao DOUT do *XBee* e o pino TX ao DIN respetivamente. O lado negativo do uso destes pinos é não permitir a comunicação com o software através da porta série. Para compensar este problema, a maioria dos *Shields* contém um comutador para permitir selecionar entre comunicar com *XBee* ou com a porta série. Os *Shields* têm integrado um regulador de tensão para alimentar o *XBee* a 3,3 V. Neste projeto foram usados *Shields* provenientes da marca *DFROBOT* (Figura 3.12).

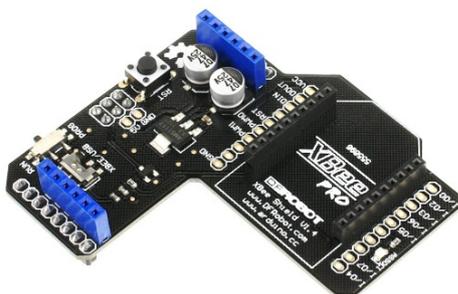


Figura 3.12 - *XBee Shield DFR0015*.

3.4. Implementação e Configuração do Sistema

Após a seleção dos sensores e da seleção do sistema de aquisição e comunicação, procedeu-se à montagem e programação dos sistemas de aquisição. Para a programação das placas de aquisição adquiridas foi necessário o estudo da linguagem de programação C+, além de uma diversificada pesquisa que incluiu as próprias *datasheet* dos sensores, livros e fóruns na *internet* da comunidade de suporte. A maioria dos sensores usados neste projeto disponibilizam bibliotecas que permitem ao *Arduino* interpretar e processar os dados adquiridos. Os módulos de comunicação necessitam igualmente de uma programação e configuração específica para que o *Arduino* os consiga utilizar.

3.4.1. Configuração do Módulo Wi-Fi

Para se conseguir ter acesso ao módulo Wi-Fi do *Arduino Uno Wifi Rev2*, é necessário instalar a biblioteca *WIFININA*. Esta biblioteca já inclui programas exemplo para a conexão à rede Wi-Fi, sendo apenas necessário colocar as credenciais de acesso a rede, fornecidas pelo administrador do sistema.

3.4.2. Configuração dos Rádios XBee

O módulo *XBee* é o que apresenta maior complexidade em termos de configuração, tendo de ser configurado antes de ser aplicado no *Arduino*.

No desenvolvimento da rede é necessário configurar os módulos *XBee*, definindo um módulo coordenador e um ou mais módulo *router*. Para configurar os módulos é necessário conectar a um computador através de USB, usando *XBee Explorer USB board* e o programa *XCTU*. Para se iniciar a rede no coordenador é necessário identificar a rede através da *Personal Area Network (PAN)*, que permite a criação de um canal onde os outros módulos se irão ligar. Para maior robustez da rede ZigBee, a nível de cobertura e qualidade de sinal a topologia de rede adotada foi do tipo malha, onde todos os nós da rede de sensores sem fios são do tipo *router/sensor*. A vantagem dos nós serem do tipo *router* é a sua capacidade de enviar os próprios dados e de reencaminhar os dados dos outros nós até ao nó de destino.

Na Tabela 3.8, são apresentados os endereços de rede, com 16 bits, e os endereços MAC, com 64 bits. Ainda, estão representados os nomes dos nós e suas respectivas funções na rede.

Tabela 3.8 - Configuração dos nós sensores.

<i>Nome do nó</i>	<i>16 bits</i>	<i>MAC</i>	<i>Tipo de nó</i>
<i>Coordenador_Piso3</i>	0000	0013A2004108229F	Coordenador
<i>Piso1</i>	BEEF	0013A200410822AD	Router
<i>Piso4</i>	AB6A	0013A200406BF8F8	Router
<i>Piso5</i>	F9BE	0013A20041741DB6	Router

Uma importante decisão para a configuração dos módulos *XBee* é a escolha do modo de operação, os módulos podem operar em dois modos diferentes: o modo transparente (AT) e o modo *Application Programming Interface* (API).

O modo AT é denominado modo transparente. Neste modo, todos os dados da porta série são transmitidos, e todos os dados recebidos pelo módulo são encaminhados diretamente para a porta série. Este modo apresenta simplicidade no funcionamento, porem, é limitativo. Os dados podem apenas ser enviados para endereços pré configurados e quando são recebidos dados não existe indicação da proveniência destes, aumentando a necessidade de processamento por parte do microcontrolador caso se pretenda identificar a proveniência. A sua aplicação é útil para simples comunicação ponto-a-ponto.

O modo API colmata as limitações do modo AT. Neste modo, a comunicação série usa um protocolo binário, consistindo em *frames*, as quais contêm informações com endereço, comandos, mudanças de estado, tamanho da *frame*, tipo de *frame*, soma de validação e dados específicos a enviar. Na Figura 3.13, podemos observar o formato dos dados enviados, o primeiro byte é um delimitador de início e possui um valor fixo de *0x7E*. Qualquer byte que venha antes é descartado. Seguidamente os bytes 1 e 2 indicam o tamanho do *frame* a receber. Os bytes 4 ao *n* está a informação a ser enviada, inclui ainda o identificador API e de mensagem, esses dois indentificadores têm com objetivo indicar o tipo de mensagem que está a ser enviada ou recebida. O último byte serve como verificação da integridade da mensagem, sendo esta efetuada através de uma soma [41].

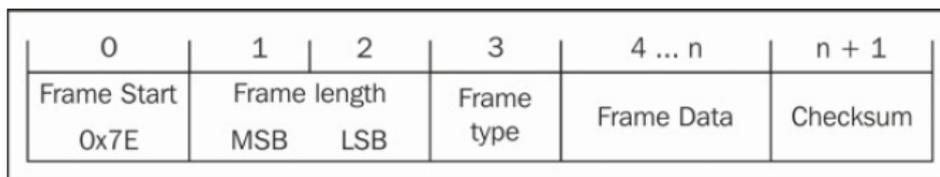


Figura 3.13 - Estrutura geral de uma *frame* API [41].

Neste modo, torna-se simples enviar dados para os diferentes nós sem necessidade de alterar as configurações, sendo possível rastrear a origem dos dados. Permite assim o desenvolvimento de redes mais complexas. O modo de operação API é ainda subdividido em dois modos de funcionamento API 1 e API 2. No modo API 1, toda a informação recebida é confirmada e transferida para o *Arduino* que por sua vez tem que interpretar.

No caso do API 2 apenas é verificado o byte delimitador de início, e todos os caracteres de controlo são retirados antes do pacote recebido ser comunicado ao Arduino, tendo assim este de lidar apenas com a dados propriamente ditos [65]. Quando usado juntamente com o Arduino, deve preferencialmente ser usado no modo API 2, para maior flexibilidade e robustez da rede.

Para tornar a rede segura, impedindo que outros rastreiem os dados enviados, ou enviem dados para a rede que influenciem o projeto, devemos ativar o modo de encriptação (EE=1). Esta encriptação é realizada através do uso de uma chave secreta, denominada chave de rede (NK).

Tendo em consideração as vantagens do modo API, foi então este o modo adotado. Assim, além dos dados transmitidos obtemos as informações relativamente ao endereço do remetente, a potência do sinal recebido, e o tamanho dos dados. Na Tabela 3.9, está um resumo das configurações utilizadas, nos módulos *XBee S2C*. AP=2 significa ativação do modo API 2. Já nos *XBee S2* este modo é escolhido através da mudança de *firmware*.

Tabela 3.9 - Resumo das configurações do *XBee*.

<i>Identificação rede</i>	PAN ID=1191470
<i>Modo operação</i>	AP=2 (Mudança de firmware S2)
<i>Encriptação</i>	EE=1 (habilitada)
<i>Chave de encriptação</i>	*****

3.4.2.1. Envio e Receção de Dados

A transmissão de dados entre *Arduinos* usando os módulos *XBee*, previamente configurados no modo API 2, efetua-se segundo os seguintes passos [41]:

1. O remetente envia uma *frame* denominada *ZigBee Transmit Request*, ou seja, um pedido de transmissão contendo o endereço de destino e a mensagem.
2. O recetor recebe uma *frame* denominada, *ZigBee Receive Packet*, contendo o endereço e a mensagem do remetente. O recetor, por sua vez, irá enviar um *acknowledgement (ack)* de volta para o remetente, para este saber que a transmissão teve sucesso.

3. O remetente recebe a *frame, ZigBee Transmit Status*, que indica se a transmissão foi bem-sucedida, quando é recebido o *acknowledgement (ack)*, ou malsucedida, quando este não é recebido após um determinado tempo.

No diagrama da Figura 3.14, pode ser visualizado a sequência dos acontecimentos. As linhas verticais indicam os componentes do sistema, e as setas indicam as mensagens trocadas entre os módulos.

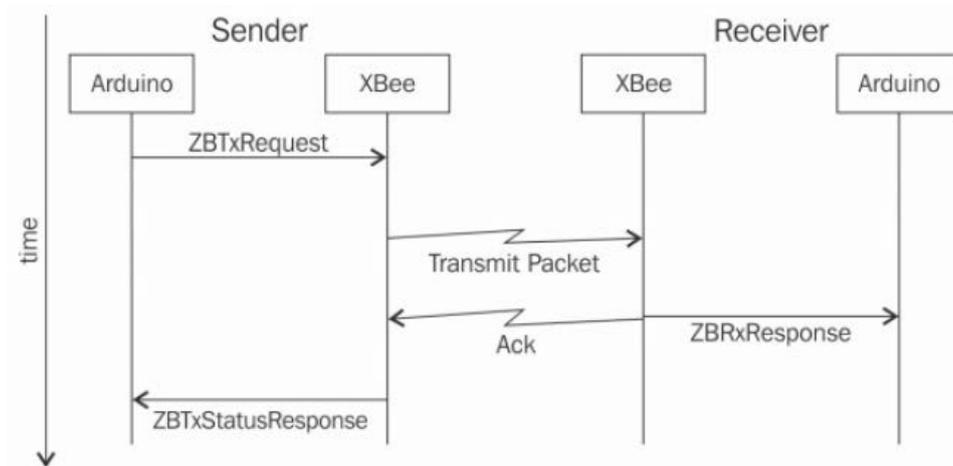


Figura 3.14 - Sequência de acontecimentos no envio de dados [41].

3.4.2.2. Estrutura dos dados transmitidos

Os dados transmitidos são envidados num pacote, em que a estrutura e a quantidade de dados tem de ser definida, para que o emissor e o recetor saibam o significado dos bits e bytes, com que estão a lidar. No projeto desenvolvido são enviados apenas números decimais, cada decimal, no pacote de dados tem adstrito a si 4 bytes, adicionalmente no início de cada pacote é adicionado um identificador do formato da mensagem com 1 byte.

Na Figura 3.15, está o exemplo da estrutura de um pacote de dados enviado a partir de um nó sensor para o nó coordenador, com um total de 16 bytes.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tipo	Temperatura				Humidade				Luminosidade				Nível			

Figura 3.15 - Exemplo da estrutura de pacote de dados.

3.4.1. Nós Sensores

O nó sensor é o responsável pela obtenção das grandezas físicas medidas pelos sensores e a interpretação dos sinais recebidos. De seguida prepara o pacote de dados recolhidos a ser enviado para o nó agregador. Neste projeto os nós sensores podem colocados em duas categorias: nós sensores do sistema de hidroponia e nó sensor do sistema se aquacultura.

Para ajudar a compreensão do sistema, na Figura 3.16 é demonstrado o diagrama de fluxo do software e na Figura 3.17 é mostrado o esquema de ligação dos sensores ao respetivo nó do sistema de hidroponia, à placa de aquisição

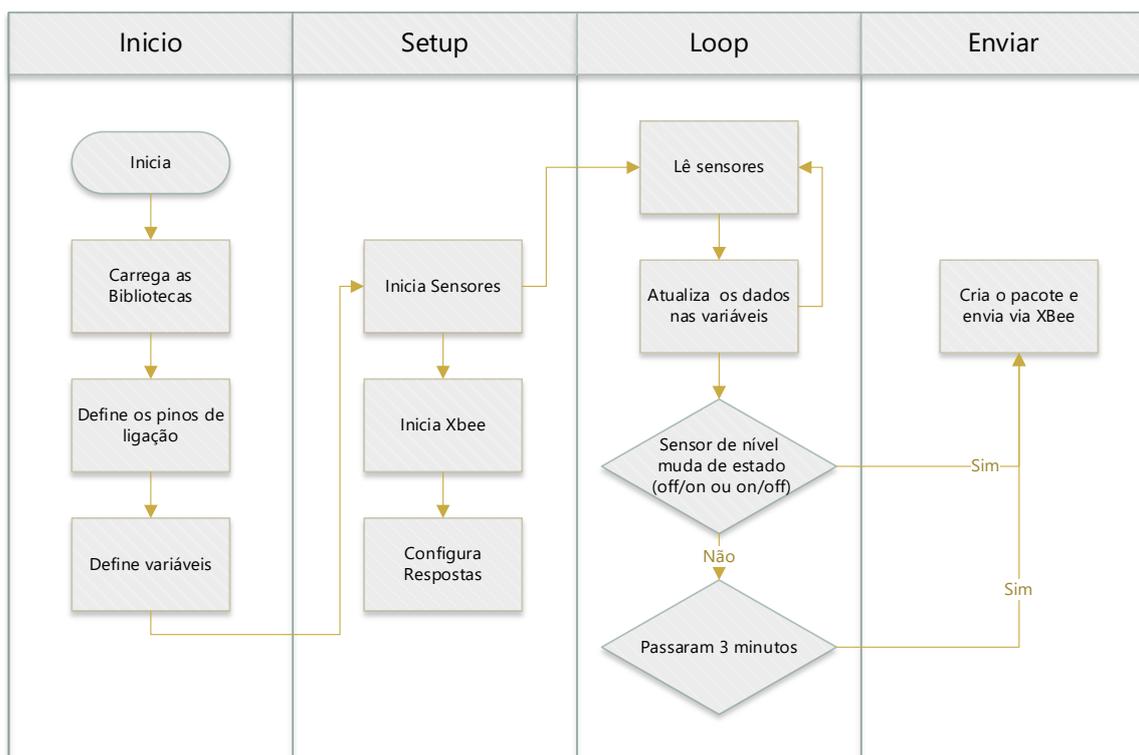


Figura 3.16 - Fluxograma das tarefas do programa do nó sensores do sistema de hidroponia.

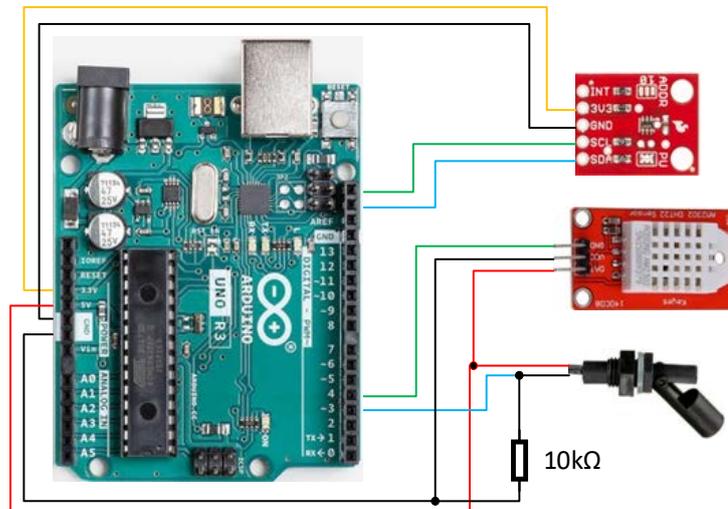


Figura 3.17 - Esquema de ligação dos sensores aos nós do sistema de hidroponia.

O nó colocado no sistema de aquacultura, para além de aquisição dos dados tem como responsabilidade a atuação sobre o relé de controlo da alimentação da bomba. O sistema de comando do relé é alimentado a 5 V pelo Arduino, responsável pelo comando da comutação quando é recebida a informação de que um dos sensores de nível foi ativado. A alimentação da bomba, foi ligada aos contactos NF, estando sempre alimentada exceto quando algum dos sensores de nível era ativado. O corte da alimentação da bomba, caso algum dos sensores do sistema de hidroponia fosse ativado, significaria que o nível máximo no sistema foi ultrapassado, podendo isto dever-se a um entupimento do sistema de drenagem. Este corte funciona como proteção do extravasamento da água aconteça ou no pior dos cenários impede que este continue, até ação do responsável do sistema. Para melhor compreensão da montagem do sistema, na Figura 3.18 o fluxograma das tarefas executadas pelo software do nó da aquacultura, e na Figura 3.19 temos o esquema de ligação.

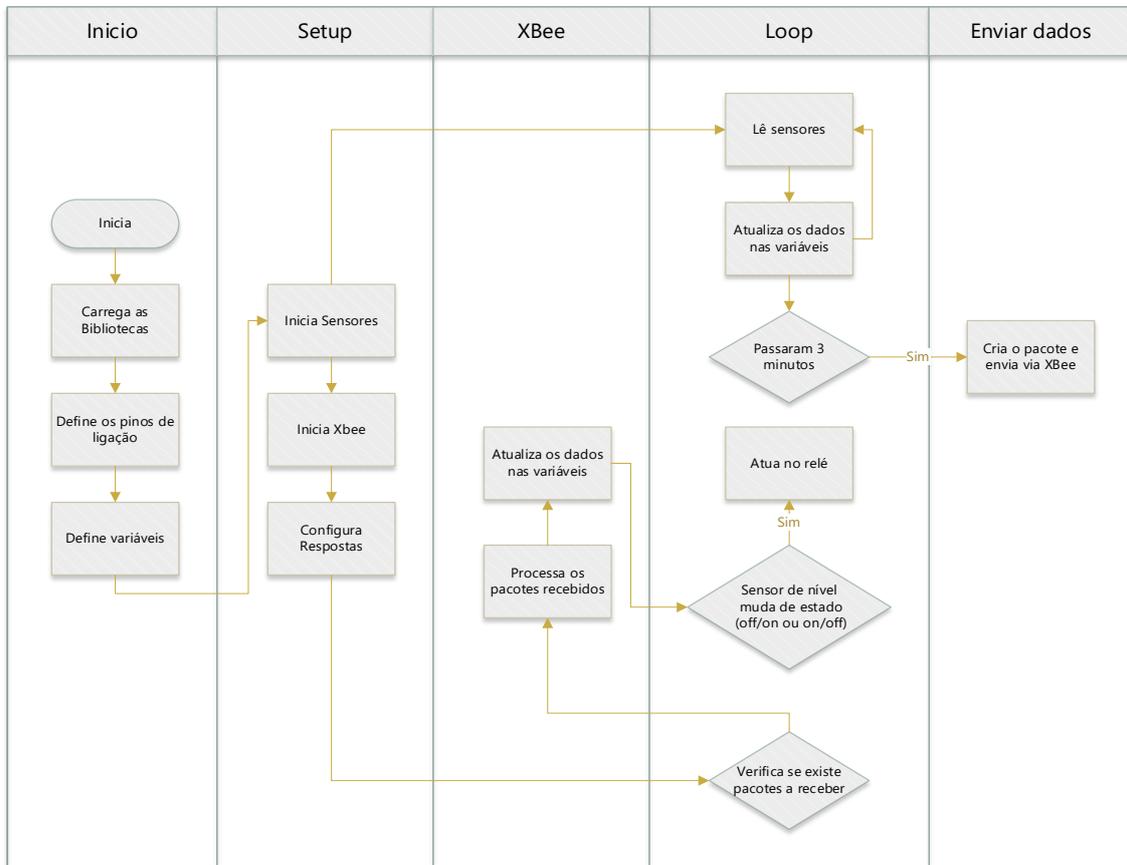


Figura 3.18 - Fluxograma das tarefas do programa do nó sensor do sistema de aquacultura.

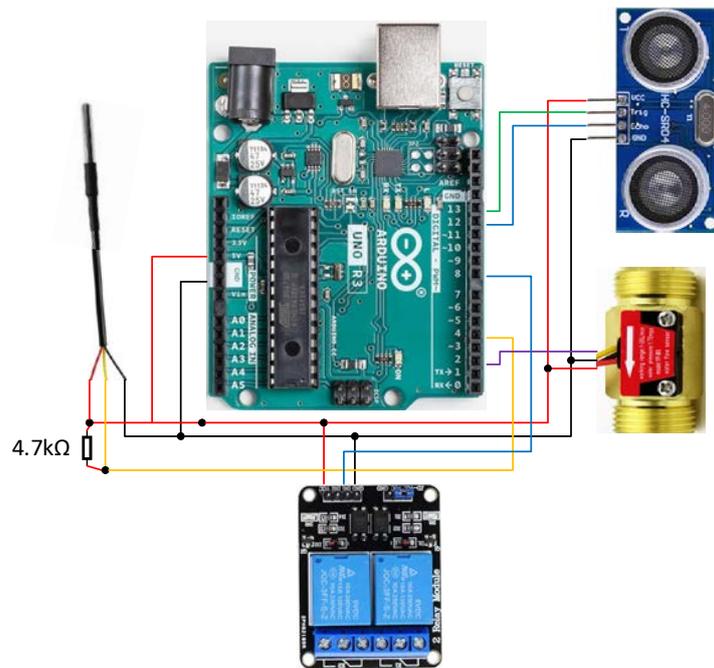


Figura 3.19 - Esquema de ligação dos sensores e atuador ao nó do sistema de aquacultura.

3.4.1. Nó Agregador

O nó agregador tem como função receber os dados dos nós sensores, via ZigBee, e enviar os mesmos via Wi-Fi para a base de registo dos dados. Quando os sensores de nível são ativados ou desativados, estes dados são comunicados via ZigBee, ao nó do sistema de aquacultura, para que este a atue em conformidade. O nó agregador funciona, cumulativamente, como nó sensor na hidroponia, executando as mesmas tarefas dos nós sensores do sistema de hidroponia, anteriormente descritos. De forma a ajudar a compreensão, na Figura 3.20, está o fluxograma de tarefas do programa e na Figura 3.21 está o diagrama de ligação dos sensores a placa de aquisição.

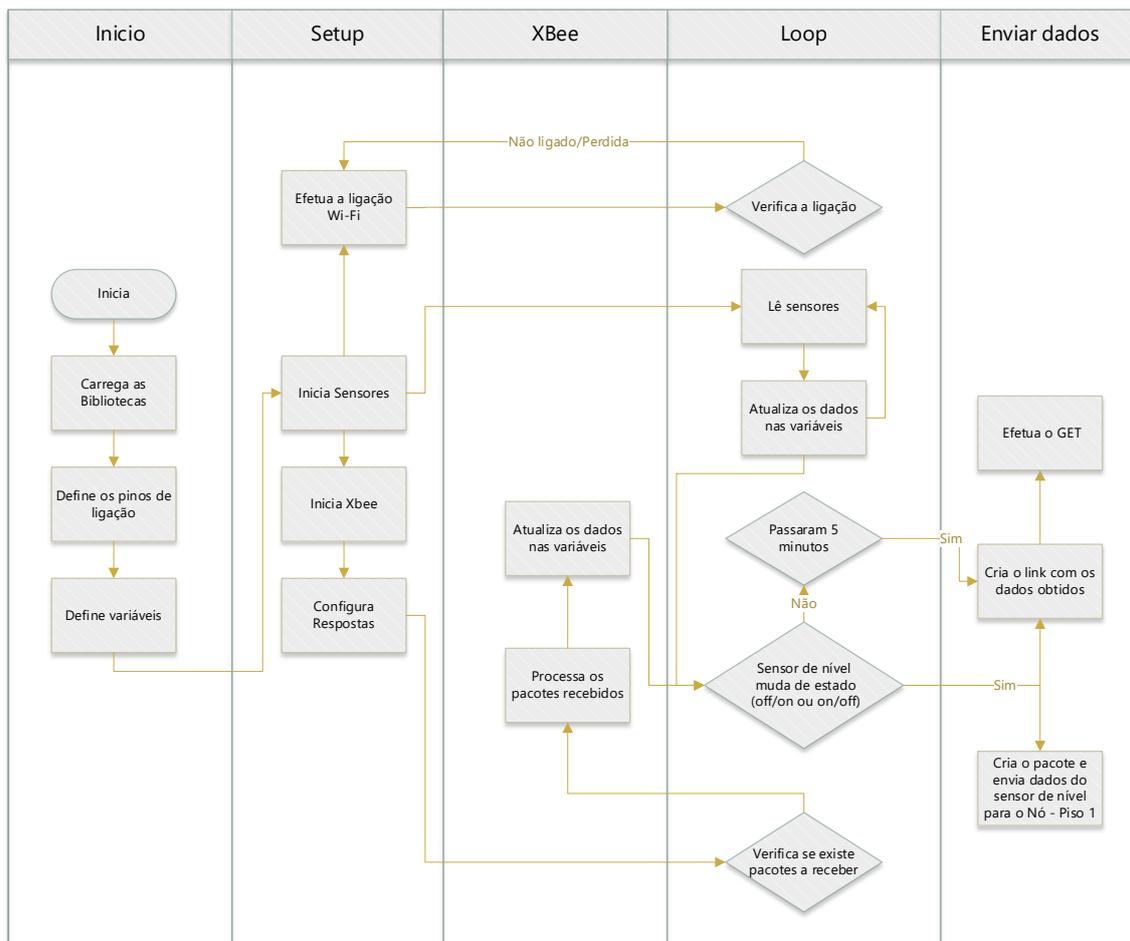


Figura 3.20 - Fluxograma das tarefas do programa do nó agregador.

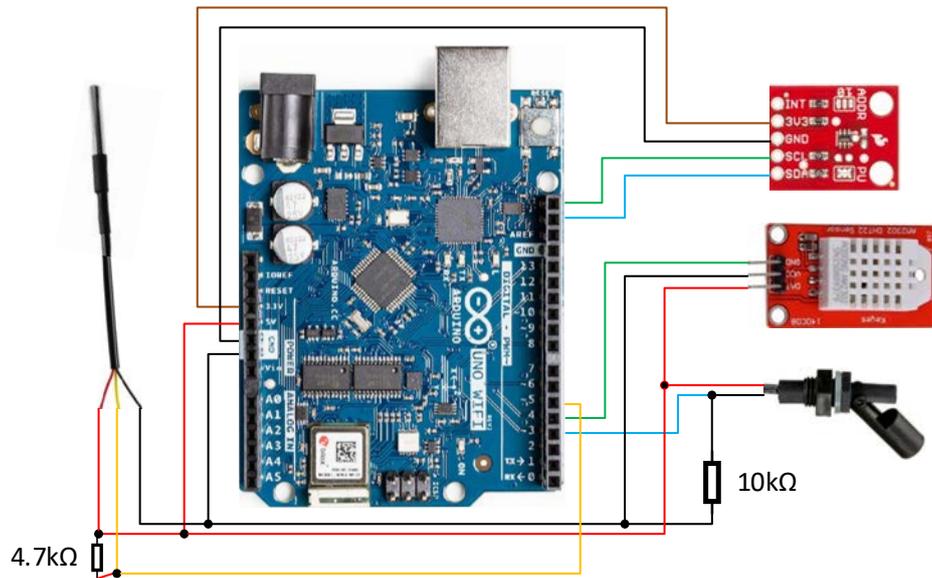


Figura 3.21 - Esquema de ligação dos sensores ao nó agregador.

3.5. Tratamento e Armazenamento dos dados

O armazenamento dos dados é um importante elemento para a qualidade e sucesso do projeto desenvolvido, para além de definir onde irá ficar armazenado é necessário definir como fica armazenado. A forma de armazenar os dados influencia a forma como estes poderão ser comunicados, acedidos e visualizados.

Após as mensagens dos vários nós constituintes da rede de monitorização chegarem ao nó agregador, este apenas tem capacidade de as armazenar temporariamente. Logo, há a necessidade de enviar para um local que tenha capacidade de as armazenar de forma definitiva. O *Google Sheets* foi selecionado como a base de registo de dados ideal para o armazenamento e tratamento dos dados monitorizados, tendo em conta a aplicação que viria a ser desenvolvida posteriormente. O *Google Sheets* é um programa gratuito similar ao *Microsoft Excel*, que está hospedado numa nuvem, podendo ainda ser acedido *offline*. Este pode ser conectado com um ou mais *Scripts*. Permite o compartilhamento entre vários utilizadores e está hospedado no *Google Drive*.

Para o envio dos dados entre os vários nós, foi definida a utilização do protocolo HTTP, efetuando um GET. Contudo o GET é apenas um método de transmitir informações usando um URL como meio, existindo a necessidade de desenvolver um

método para receber, interpretar, condicionar e armazenar os dados provenientes dos nós, na base de registo dos dados. O método foi desenvolvido recorrendo a uma *Web App*, desenvolvida no *Google apps script*.

O uso destas plataformas obrigou à adição do seu certificado *Secure Sockets Layer* (SSL) no *Arduino UNO Wifi Rev2*. Os certificados SSL criam um canal de ligação encriptada entre o cliente e o servidor. Para adicionar é necessário recorrer ao *Arduino IDE*, e utilizando a função de atualização do *firmware* Wi-Fi da placa adicionar o domínio *script.google.com:443* [66].

3.5.1. *Google Apps Scripts*

Esta plataforma é um ambiente de desenvolvimento para integrar e coordenar os vários serviços *Google*, como o *Google Sheets*. Utiliza a linguagem *JavaScript*, porém, contém bibliotecas específicas para os serviços *Google*. Permite a adição de menus, caixas de diálogo, barras e ações: Na sua versão sem custos tem limitação no tempo e no número de execuções. Os scripts são desenvolvidos em *web browser* e correm na própria nuvem [67], [68].

Nesta plataforma foi desenvolvido o *Script*, da *Web App*, capaz de interpretar os dados enviados no GET, efetuado pelo módulo agregador, registando-os na folha do *Google Sheets* que for indicada. Os dados recebidos no URL do GET são comparados com os das colunas existentes na folha do *Google Sheets* e colocados na respetiva coluna. Neste processo é ainda colocado, na primeira coluna, a data e hora a que os dados foram recebidos.

Desenvolveu-se ainda *Scripts* para verificação da informação contida em duas colunas:

“Alerta”: caso o valor na célula que recebeu os últimos dados seja “1”, envia um *e-mail* para um endereço previamente definido, alertando que o nível de água foi ultrapassado. Esta verificação é despoletada por um *trigger*, que vai correndo o código de verificação, a cada minuto;

“Volume”: um método semelhante foi usado para alertar, via *e-mail*, quando o nível de água no tanque de aquacultura é inferior a 500 litros. Neste caso a verificação só é efetuada uma vez por dia.

O fluxograma da Figura 3.22. serve para melhor compreensão dos *Scripts* desenvolvidos.

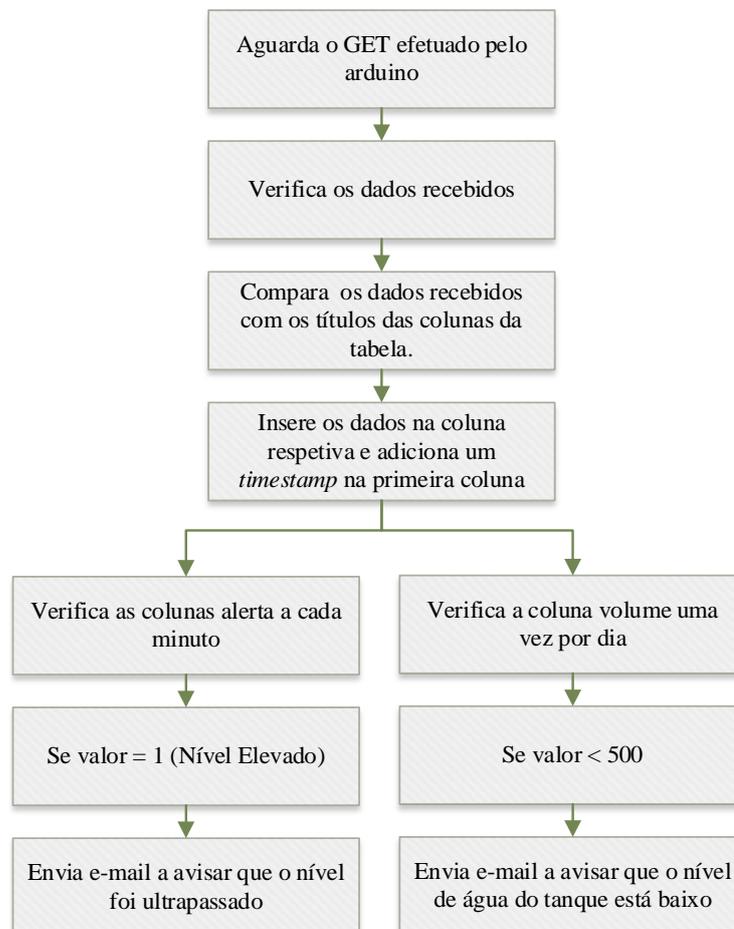


Figura 3.22 - Fluxograma geral dos *scripts* desenvolvidos.

3.6.Interface com o Sistema

A plataforma de acesso e visualização dos dados, embora seja o destino final dos dados, é uma área sensível pois é onde o utilizador interage com os dados. Quando é desenvolvida a interface, existe a necessidade de a adaptar às necessidades do projeto, sem comprometer a experiência de utilização.

O *Google Sheets* foi a base utilizada para o registo de dados, permitindo visualizar, manipular e partilhar os dados, em tempo real. No ficheiro dos dados foram criadas outras folhas, com gráficos, relativos a cada parâmetro (temperatura ambiente, humidade, luminosidade, temperatura água, volume e caudal), que permitem a escolha de intervalos de tempo específicos, para facilitar a interpretação dos dados. Contudo este não tem uma interface amigável para o utilizador visualizar os dados havendo a necessidade de desenvolver uma aplicação adequada a consulta e visualização dos dados.

Tendo em conta o referido, desenvolveu-se uma aplicação movel multiplataforma onde é possível visualizar os dados presentes na tabela de registo de dados (*Google Sheets*).

A *AppSheet* foi empregue na criação da aplicação de visualização e interface. A *AppSheet* analisa a estrutura de dados fornecida e automaticamente sugere formas de visualizar os dados. Aproveitando os recursos da *AppSheet*, desenvolveu-se uma interface, que permite visualizar os valores atuais dos sensores e visualizar gráficos com a evolução temporal das grandezas medidas. Nos gráficos das respetivas grandezas é permitido escolher qual o sensor a visualizar, assim como o período de tempo que se pretende que seja mostrado.

O acesso a esta plataforma pode ser efetuado, através de uma página *Web*, que está disponível em <https://www.appsheet.com/start/21ffcef-91cb-41d8-b787-1f70a97968bf>, após a autenticação. Esta página adapta-se de forma automática ao dispositivo utilizado. Isto para que, caso seja utilizado um computador, telemóvel ou *tablet*, o formato da página se adapte, melhorando a experiência de utilização.

Nos dispositivos móveis pode alternativamente, ser instalada a aplicação, após o envio de um convite. No nível de desenvolvimento atual, a aplicação utiliza uma conta gratuita, que apenas permite a sua distribuição a dez utilizadores, valor considerado suficiente para o sistema de aquaponia do ISEP.

O administrador da conta é o responsável por indicar o método de autenticação, e ainda pelo envio dos convites para a instalação da aplicação.

O acesso às ferramentas de desenvolvimento descritas foram efetuadas através da criação uma conta *Google* gratuita, criada especificamente para este projeto.

O funcionamento da plataforma de gestão e visualização dos dados é ilustrada no diagrama da Figura 3.23.

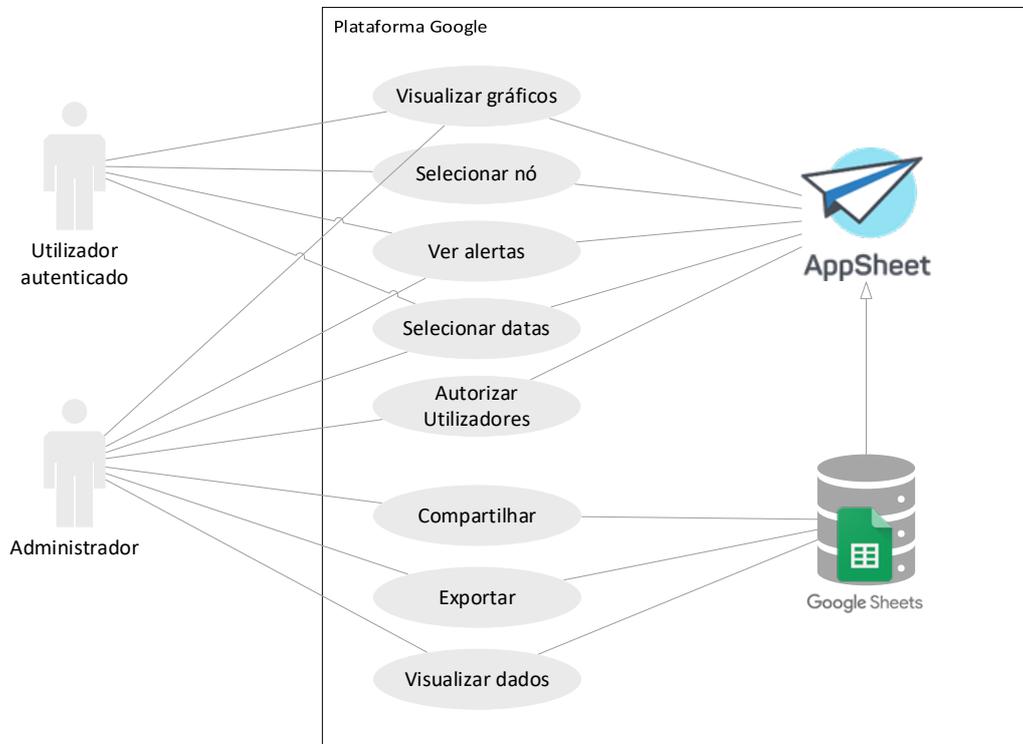


Figura 3.23 - Diagrama de casos de uso.

CAPÍTULO 4 – TESTES E RESULTADOS

4. Testes e Resultados

Neste capítulo são apresentados os protótipos desenvolvidos e a sua localização final. Seguidamente são abordados os testes efetuados e o resultado destes, na avaliação da rede de sensores sem fios desenvolvida. Por fim, é apresentada a aplicação de monitorização, os seus separadores e menus.

4.1. Localização dos Nós

Após a conclusão do protótipo este foi colocado no respetivo local. Na definição da localização foi considerado o requisito de que o acesso e remoção dos equipamentos, pelo responsável, seja simples. Contudo tinham que estar num local de pouca visibilidade e que não consentisse a remoção pessoas não autorizadas. Para a alimentação, dos equipamentos, foi efetuada uma instalação elétrica para se poder efetuar a ligação dos transformadores que alimentam os dispositivos. Na localização dos nós é de referir que o nó agregador se encontra no piso 3 do edifício G Os restantes nós sensores do sistema de hidroponia se encontram nos pisos acima (4 e 5) e o nó sensor aplicado a aquacultura encontra-se no piso 1 do mesmo edifício.

Na Figura 4.1 podemos ver a localização dos respetivos nós.



Figura 4.1 -Localização dos Nós.

4.2. Aplicação do Sistema

Para a colocação dos equipamentos nos respetivos locais, optou-se por uma solução compacta e de baixo custo. Foi utilizada uma caixa plástica hermética, onde a plataforma do Arduino, e respetivo sistema de alimentação (transformadores de 9 V ligados a tomadas), foram instalados. Os vários sensores estão nas proximidades da caixa, com exceção dos sensores do piso 1. Para a fixação dos equipamentos ao sistema de aquaponia foi fabricado um suporte metálico (Figura 4.5) que permite a sua fácil colocação e retirada. Nas Figura 4.2, Figura 4.3, Figura 4.4, é possível observar os equipamentos nas caixas com os respetivos sensores e suporte.

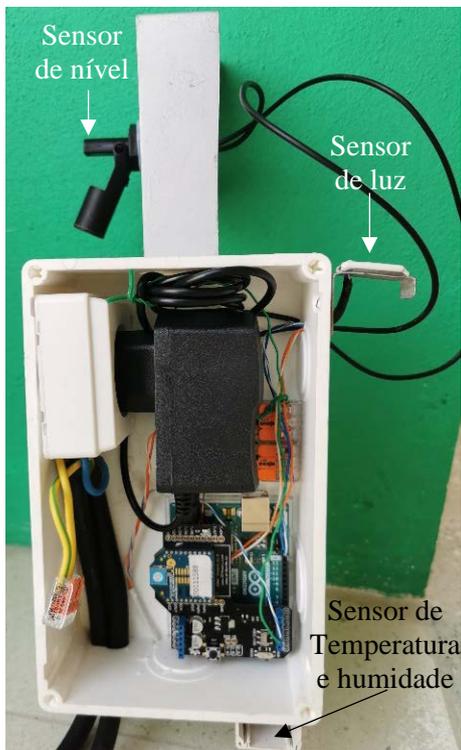


Figura 4.2 - Nó sensor do piso 4.

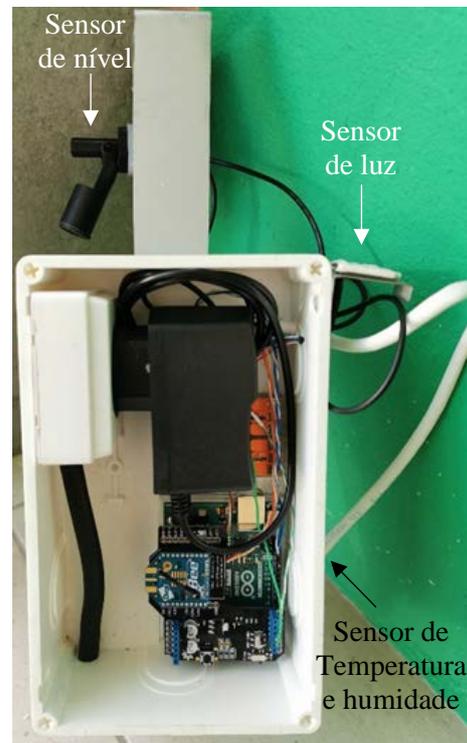


Figura 4.3 - Nó sensor do piso 5.



Figura 4.4 - Nódulo agregador colocado no piso 3.



Figura 4.5 - Suporte e caixa com respectivo equipamento.

No piso 1, como já existia um quadro para alimentação da bomba de água, decidiu-se aproveitar o espaço disponível e colocar lá o sistema de aquisição, de onde sai um cabo para uma caixa de derivação junto ao próprio tanque de água (Figura 4.6), onde está colocado o sensor de nível de água e sai o sensor de temperatura da água para o interior do tanque e o cabo de ligação ao caudalímetro que se encontra no tubo de saída da bomba de água (Figura 4.7).

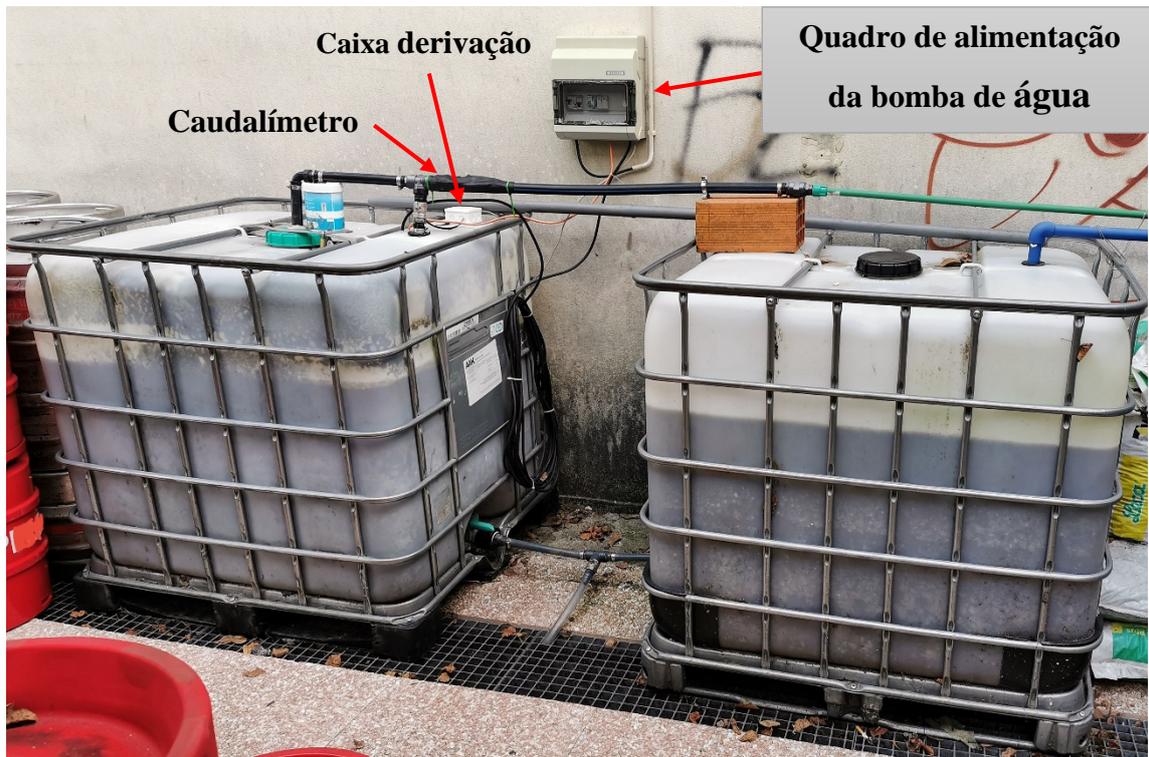


Figura 4.6 - Localização dos equipamentos no sistema de aquacultura (piso1).

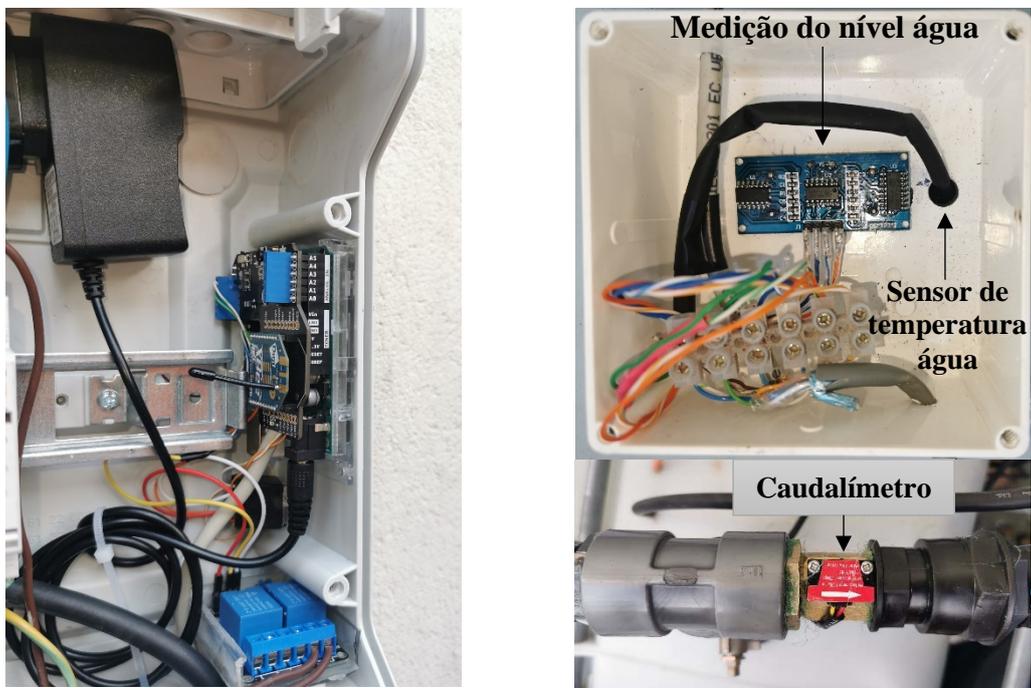


Figura 4.7 - Nó sensor do piso 1(à esquerda) e respetivos sensores (à direita).

4.3. Avaliação do Desempenho da Rede

Para avaliar o desempenho, fiabilidade e robustez da rede de sensores sem fios desenvolvida foram efetuados testes do nível de sinal recebido no Wi-Fi e ZigBee e teste para a indicação da qualidade do *link* (LQI) apenas para a tecnologia ZigBee.

4.3.1. Wi-Fi

Na escolha do piso onde seria colocado o nó agregador, por ser este o responsável por enviar para a base de dados, existiu a necessidade de verificar, antes da respetiva instalação, a potência de sinal Wi-Fi nos três pisos. Foi assim efetuado o levantamento dos valores RSSI do Wi-Fi junto ao sistema de hidroponia em diferentes locais e momentos, tendo se obtido o seguinte registo valores, representados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores de RSSI óbitos.

	<i>Piso 3</i>	<i>Piso 4</i>	<i>Piso 5</i>
<i>Potência de Sinal</i>	- 59 a -76 dBm	-70 a -80 dBm	-80 a -91 dBm

Como resultado dessa medição, verificou-se que o piso 3 era o que apresentava melhor qualidade de sinal Wi-Fi, sendo assim escolhido como o local para colocar o nó agregador.

O código desenvolvido para o nó agregador permite a monitorização de quando é efetuada a ligação a rede Wi-Fi e do nível do sinal de rádio frequência (RSSI) no momento da ligação.

Através destas medições verificou-se que a ligação apresenta valores de nível de sinal rádio bastante díspares e, em determinados momentos do dia, interrupções de sinal, originando a conseqüente necessidade de voltar a ligar à rede Wi-Fi. Na Tabela 4.2, é possível verificar a hora a que a ligação teve que ser restabelecida e o nível de sinal no momento de ligação, durante o dia 18-10-2021.

Tabela 4.2 - Dados obtidos do nó agregado, do restabelecimento da ligação, dia 18-10-2021.

<i>SSID</i>	<i>RSSI</i>	<i>Hora</i>
<i>ISEPWLAN</i>	-78	20:55:04
<i>ISEPWLAN</i>	-76	20:48:39
<i>ISEPWLAN</i>	-75	20:44:49
<i>ISEPWLAN</i>	-69	19:31:25
<i>ISEPWLAN</i>	-69	17:59:26
<i>ISEPWLAN</i>	-68	13:27:31
<i>ISEPWLAN</i>	-68	11:24:55
<i>ISEPWLAN</i>	-71	09:44:23

4.3.2. ZigBee

Os testes da rede ZigBee, implementada com o uso dos módulos *XBee*, foram efetuados após o protótipo ter sido colocado em funcionamento. Durante os testes, os rádios *XBee* utilizados são alimentados diretamente pela placa de aquisição, sendo a configuração dos pacotes transmitidos, a comunicação e a medição dos parâmetros de desempenho, realizados pelo software *XCTU*.

4.3.2.1. Medição do LQI

O software *XCTU* permite, além de identificar os dispositivos da rede, verifica a topologia atual da rede e as relações entre os dispositivos. Na Figura 4.8, imagem obtida com recurso ao painel *network* do software, podemos ver as relações entre os dispositivos, a topologia, e a qualidade da comunicação em LQI. Como já referido, todos os rádios *XBee* estão configurados com router, tendo assim a capacidade de comunicar entre si, formando uma malha com vários caminhos para um pacote ser enviado de um nó para o outro.

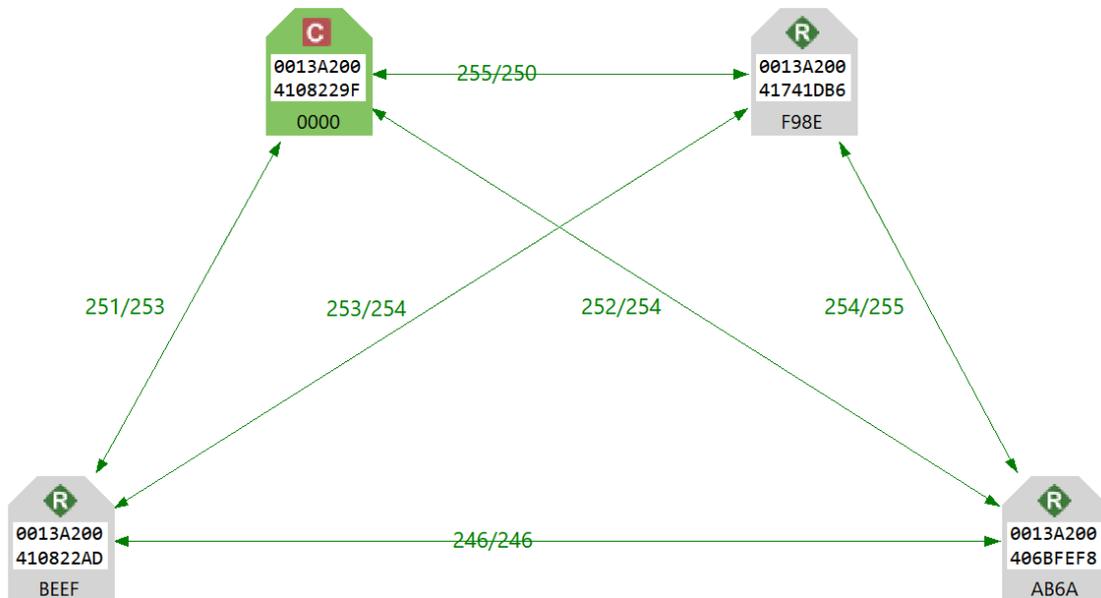


Figura 4.8 – Topologia, relação e qualidade de comunicação entre os dispositivos.

As setas indicam a capacidade de comunicar entre os nós, tendo a cor relação com qualidade dos pacotes de dados recebidos. Os valores juntos às linhas representam a qualidade bidirecional da ligação. A qualidade da ligação é representada pelo LQI, que varia entre 0 e 255, sendo o 0 o mais fraco e 255 o melhor nível de ligação. Na Figura 4.9, podemos ver os valores e os critérios usados pelo *XCTU*, para ilustrar a qualidade da comunicação.

Zigbee network

Modify the minimum values of the quality ranges and their colors:

Quality	Maximum	Minimum	Units	Color
Very strong	256	195	LQI	(0,125,0)
Strong	195	130	LQI	(12,150,159)
Moderate	130	65	LQI	(212,105,0)
Weak	65	0	LQI	(231,0,0)

Figura 4.9 - Critérios usados pelo *XCTU* para ilustrar a qualidade de comunicação.

4.3.2.2. Medição do RSSI

O ambiente de teste do *XCTU* permite testar o alcance e o nível de sinal (RSSI) entre o coordenador e um determinado dispositivo. Para efetuar o teste, o módulo *XBee* coordenador foi ligado diretamente ao computador (*XBee* local) e selecionado um módulo

remoto. O teste envolve o envio de pacotes por parte do *XBee* local para o dispositivo remoto, ficando a aguardar a resposta de volta. Durante o processo, o *XCTU* conta o número de pacotes enviados e recebidos pelo módulo local e mede a potência de sinal de ambos os dispositivos. Neste teste, o valor foi obtido após a transferência de 20 pacotes.

Tabela 4.3 – Nível de Sinal (RSSI) e qualidade da ligação.

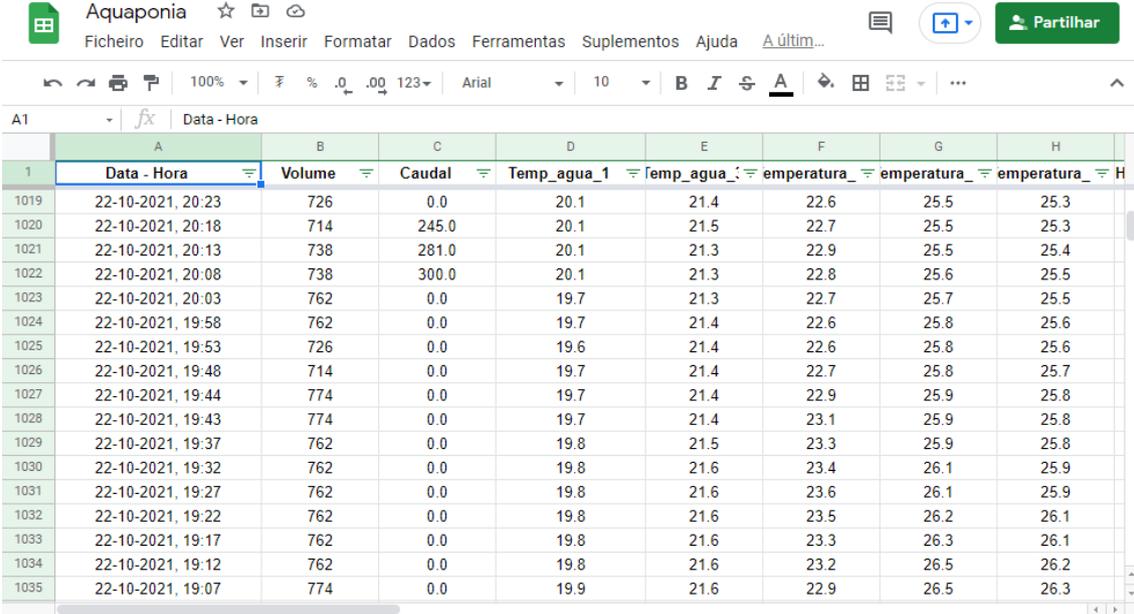
<i>Nome do Nó</i>	<i>RSSI XBee local (dBm)</i>	<i>RSSI XBee remoto (dBm)</i>	<i>Pacotes enviados</i>	<i>Pacotes recebidos</i>
<i>Piso1</i>	-83	-83	20	20
<i>Piso4</i>	-72	-70	20	20
<i>Piso5</i>	-78	-69	20	20

Analisando os dados obtidos e registados na Tabela 4.3, verificou-se que as ligações dos respetivos nós da rede se encontram acima do valor limite, -98 dBm para o *Series 2* e -102 dBm para o *Series 2C*, do rádio *XBee*. Pelos resultados apresentados verificamos que não existiu perda de pacotes, no envio e receção. Este resultado significa que se trata de uma rede estável e que assegura o correto envio de dados para o nó agregador.

4.4.Interface Desenvolvida

A interface, que permite a visualização dos dados medidos e registados é efetuada pela aplicação desenvolvida no *Google AppSheet*. Na plataforma utilizada para o registo de dados, os dados são guardados numa única tabela (folha do *Google Sheets*). O administrador, além de poder aceder ao *Google Sheets*, e assim aos dados registados, pode ainda criar gráficos e filtros a partir dos dados. Na Figura 4.10 e Figura 4.11, podemos observar um exemplo de uma folha do *Google Sheets*, com as respetivas colunas preenchidas com os dados recebidos armazenados.

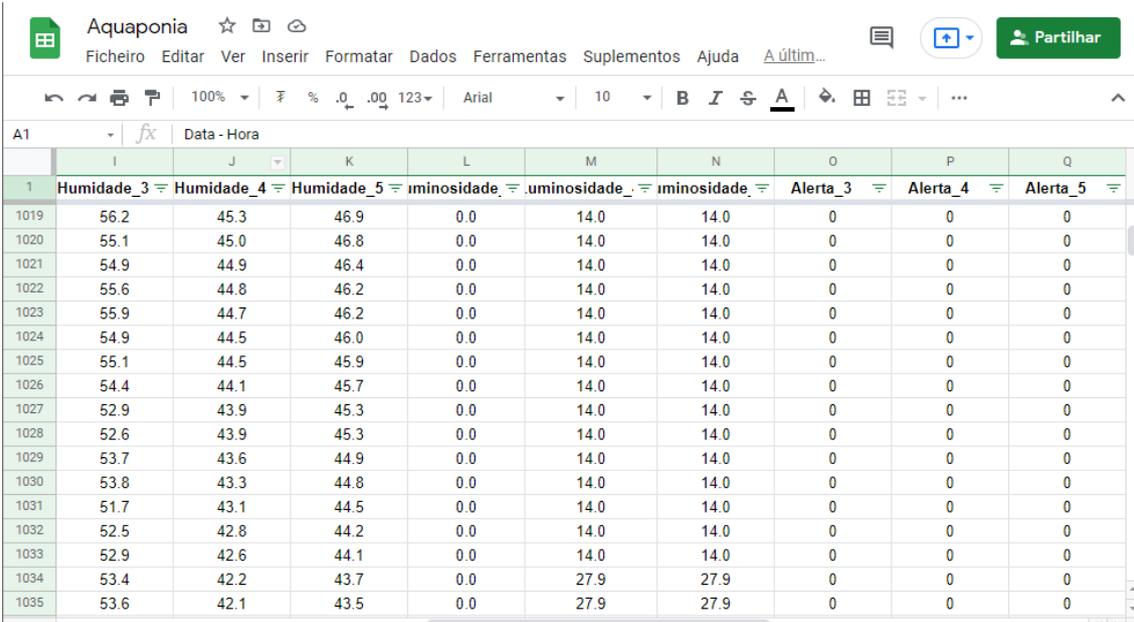
Capítulo - 4



A screenshot of a Google Sheet titled 'Aquaponia'. The sheet contains a table with 8 columns: 'Data - Hora', 'Volume', 'Caudal', 'Temp_agua_1', 'Temp_agua_2', 'temperatura_1', 'temperatura_2', and 'temperatura_3'. The rows represent data points from 1019 to 1035. The 'Data - Hora' column contains timestamps in YYYY-MM-DD, HH:MM format. The 'Volume' and 'Caudal' columns contain numerical values. The temperature columns contain values ranging from 19.6 to 23.4.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Data - Hora	Volume	Caudal	Temp_agua_1	Temp_agua_2	temperatura_1	temperatura_2	temperatura_3
1019	22-10-2021, 20:23	726	0.0	20.1	21.4	22.6	25.5	25.3
1020	22-10-2021, 20:18	714	245.0	20.1	21.5	22.7	25.5	25.3
1021	22-10-2021, 20:13	738	281.0	20.1	21.3	22.9	25.5	25.4
1022	22-10-2021, 20:08	738	300.0	20.1	21.3	22.8	25.6	25.5
1023	22-10-2021, 20:03	762	0.0	19.7	21.3	22.7	25.7	25.5
1024	22-10-2021, 19:58	762	0.0	19.7	21.4	22.6	25.8	25.6
1025	22-10-2021, 19:53	726	0.0	19.6	21.4	22.6	25.8	25.6
1026	22-10-2021, 19:48	714	0.0	19.7	21.4	22.7	25.8	25.7
1027	22-10-2021, 19:44	774	0.0	19.7	21.4	22.9	25.9	25.8
1028	22-10-2021, 19:43	774	0.0	19.7	21.4	23.1	25.9	25.8
1029	22-10-2021, 19:37	762	0.0	19.8	21.5	23.3	25.9	25.8
1030	22-10-2021, 19:32	762	0.0	19.8	21.6	23.4	26.1	25.9
1031	22-10-2021, 19:27	762	0.0	19.8	21.6	23.6	26.1	25.9
1032	22-10-2021, 19:22	762	0.0	19.8	21.6	23.5	26.2	26.1
1033	22-10-2021, 19:17	762	0.0	19.8	21.6	23.3	26.3	26.1
1034	22-10-2021, 19:12	762	0.0	19.8	21.6	23.2	26.5	26.2
1035	22-10-2021, 19:07	774	0.0	19.9	21.6	22.9	26.5	26.3

Figura 4.10 – Dados registados na folha do *Google Sheets*.



A screenshot of a Google Sheet titled 'Aquaponia', continuing the data from the previous figure. The sheet contains a table with 9 columns: 'Humidade_3', 'Humidade_4', 'Humidade_5', 'uminosidade_1', 'uminosidade_2', 'uminosidade_3', 'Alerta_3', 'Alerta_4', and 'Alerta_5'. The rows represent data points from 1019 to 1035. The humidity columns contain values ranging from 42.1 to 56.2. The uminosidade columns contain values ranging from 0.0 to 14.0. The alerta columns contain values of 0 or 1.

	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Humidade_3	Humidade_4	Humidade_5	uminosidade_1	uminosidade_2	uminosidade_3	Alerta_3	Alerta_4	Alerta_5
1019	56.2	45.3	46.9	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1020	55.1	45.0	46.8	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1021	54.9	44.9	46.4	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1022	55.6	44.8	46.2	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1023	55.9	44.7	46.2	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1024	54.9	44.5	46.0	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1025	55.1	44.5	45.9	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1026	54.4	44.1	45.7	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1027	52.9	43.9	45.3	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1028	52.6	43.9	45.3	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1029	53.7	43.6	44.9	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1030	53.8	43.3	44.8	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1031	51.7	43.1	44.5	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1032	52.5	42.8	44.2	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1033	52.9	42.6	44.1	0.0	14.0	14.0	0	0	0
1034	53.4	42.2	43.7	0.0	27.9	27.9	0	0	0
1035	53.6	42.1	43.5	0.0	27.9	27.9	0	0	0

Figura 4.11 - Dados registados na folha do *Google Sheets* (continuação).

4.4.1. AppSheet

Na aplicação desenvolvida é possível consultar, em tempo real, os valores obtidos pelos sensores na última medição efetuada. É ainda possível a visualização de todos os parâmetros monitorizados, em gráficos, e selecionar uma data específica para os valores apresentados.

A aplicação, desenvolvida no *Google AppSheet*, permite a sua utilização tanto em PC como em telemóvel ou tablet. É constituída por uma interface com três menus no ecrã inicial, onde é possível visualizar os últimos valores obtidos pelos sensores, tendo estes sido divididos em dois grupos: os do sistema de hidroponia e da aquacultura. O último menu permite a visualização da existência dos alertas em relação aos níveis de água do sistema. A interface é ainda constituída por um menu lateral, onde é possível seleccionar os parâmetros monitorizados e visualizá-los em gráficos.

Na Figura 4.12, é possível visualizar um exemplo, em Android, dos menus criados, do acesso aos dados atuais dos sensores, assim como o menu lateral de acesso aos gráficos.

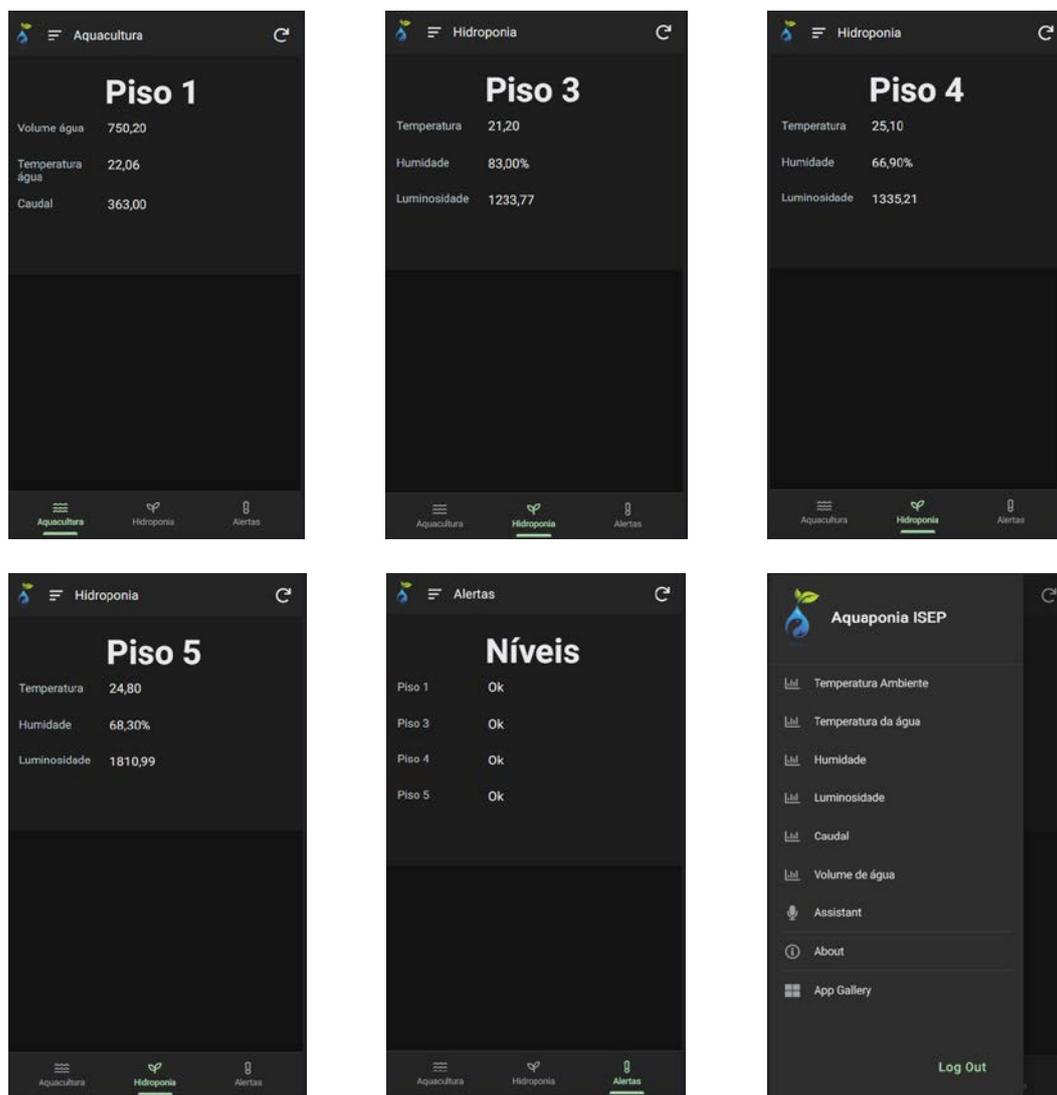


Figura 4.12 - Diferentes ecrãs da interface de visualização.

Como referido, podemos optar pela visualização dos dados em gráficos. Esta forma de visualização permite, de uma forma mais direta a comparação da evolução no tempo, das diferentes grandezas físicas monitorizadas, proporcionando uma melhor forma de analisar os dados obtidos. De seguida, são apresentados alguns exemplos de gráficos criados com os dados registados entre 22/10/2021 e 25/10/2021. A interface utilizada nestes exemplos é fornecida pela *Google AppSheet* a funcionar em PC.

A seleção do período que se pretende visualizar é efetuada selecionando o ícone indicado na Figura 4.13 (seta e círculo vermelho). Este abre um menu, no lado direito, que permite seleção de uma data de início e de fim para apresentação dos dados, podendo a seleção da data e hora ser efetuada através do calendário.

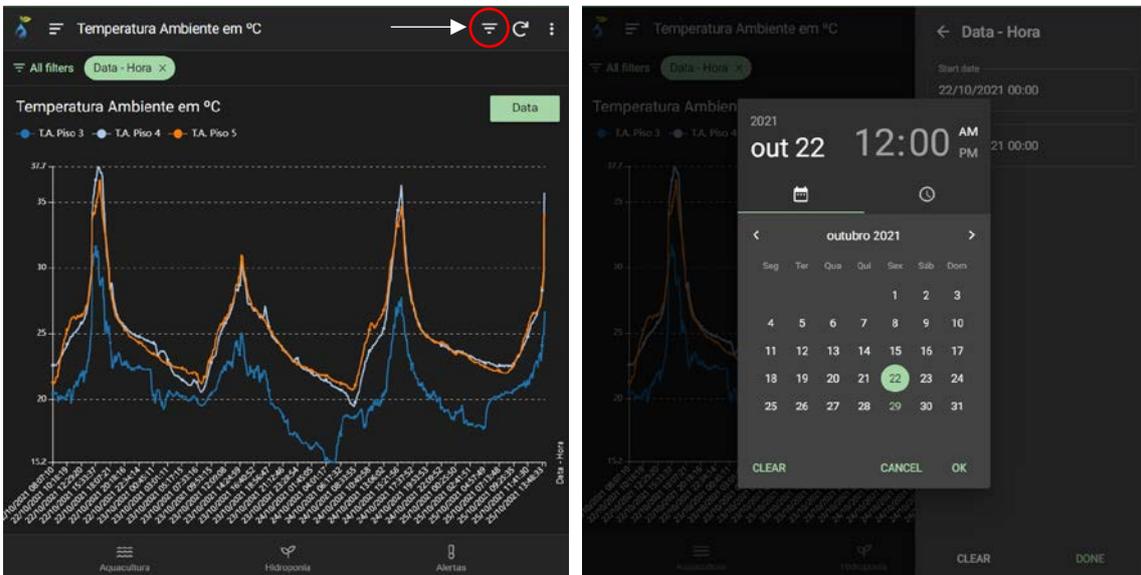


Figura 4.13 - Modo de seleção do período de visualização dos dados.

Nos gráficos apresentados, a próximas páginas, não se pretende fazer uma análise aos parâmetros medidos, apenas atestar o funcionamento dos respetivos sensores.

A Figura 4.14, mostra os resultados obtidos pelos sensores de temperatura ambiente em °C, através deste gráfico é facilmente visualizada a evolução da temperatura, nos pisos onde está instalado o sistema de aquaponia, durante o período selecionado.

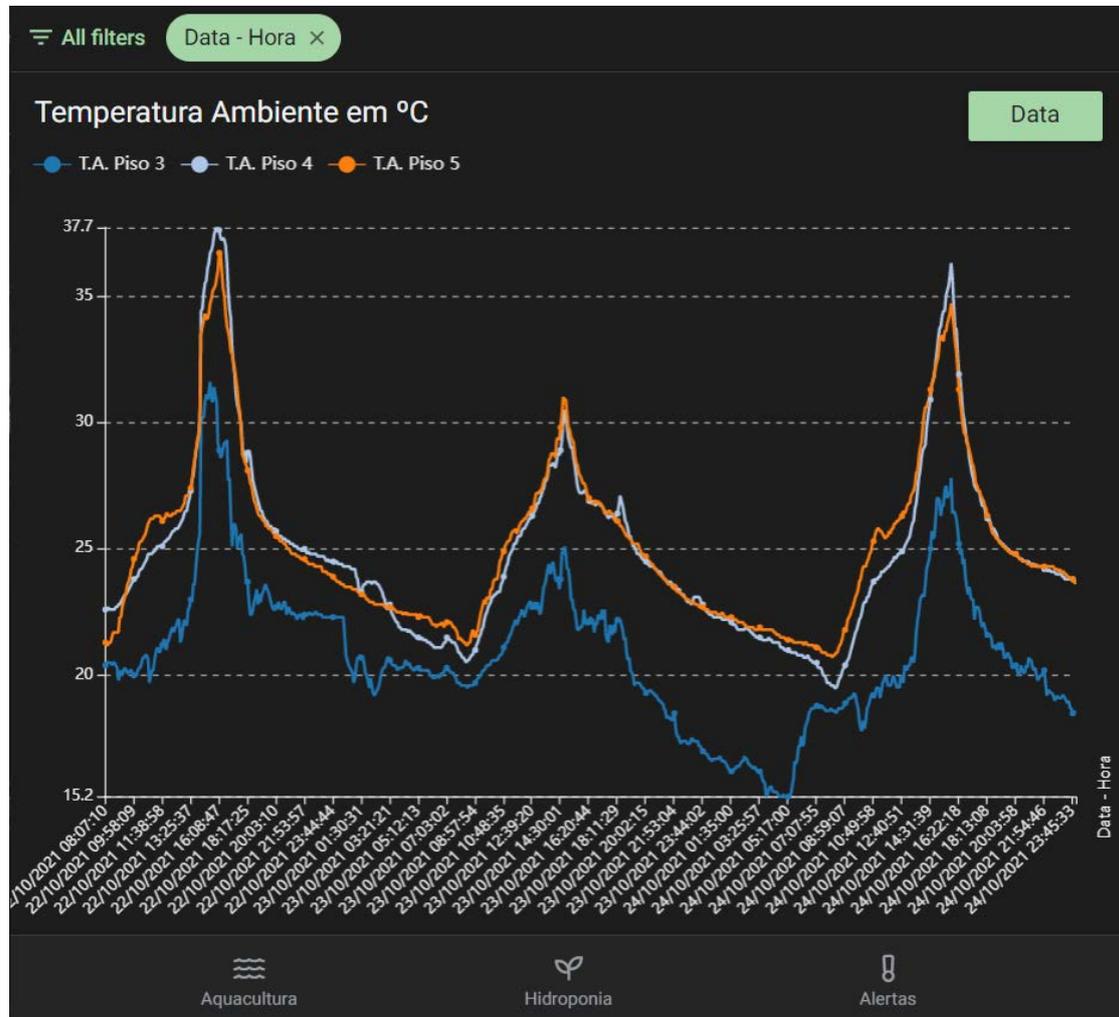


Figura 4.14 - Interface de visualização gráfica dos valores de temperatura ambiente.

A humidade relativa, como referido, é a da quantidade de água no ar a uma determinada temperatura em %. Comparando Figura 4.15 com o da temperatura verificamos que com o aumento da temperatura a humidade relativa baixa, visto que o ar a temperaturas mais altas é capaz de comportar mais humidade.

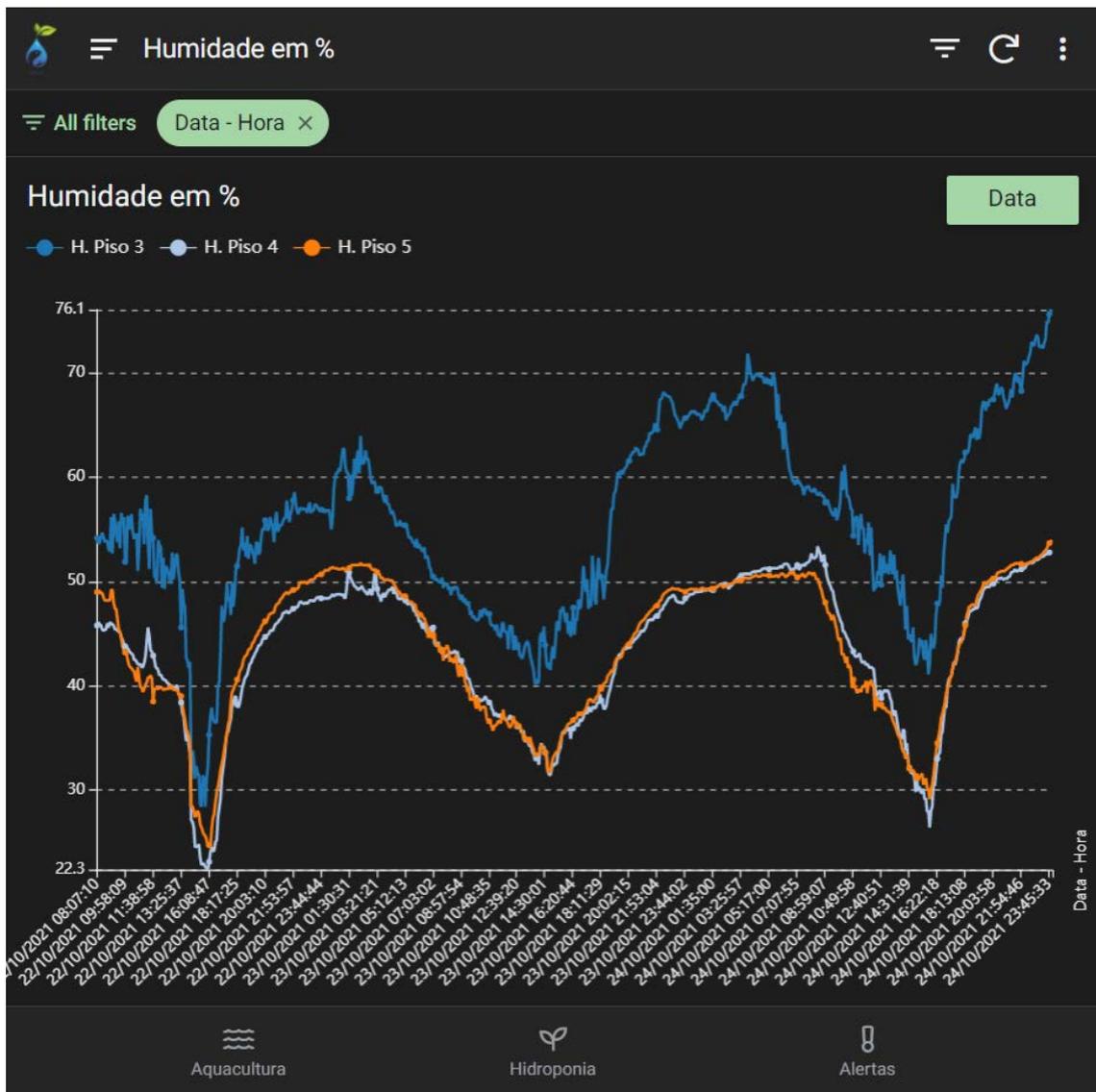


Figura 4.15 - Interface de visualização gráfica dos valores da Humidade.

Na Figura 4.16, é visualizado uma comparação entre os valores obtidos, pelos sensores de temperatura da água, no tanque de água (Piso 1) e no Piso 3 do sistema de hidroponia.

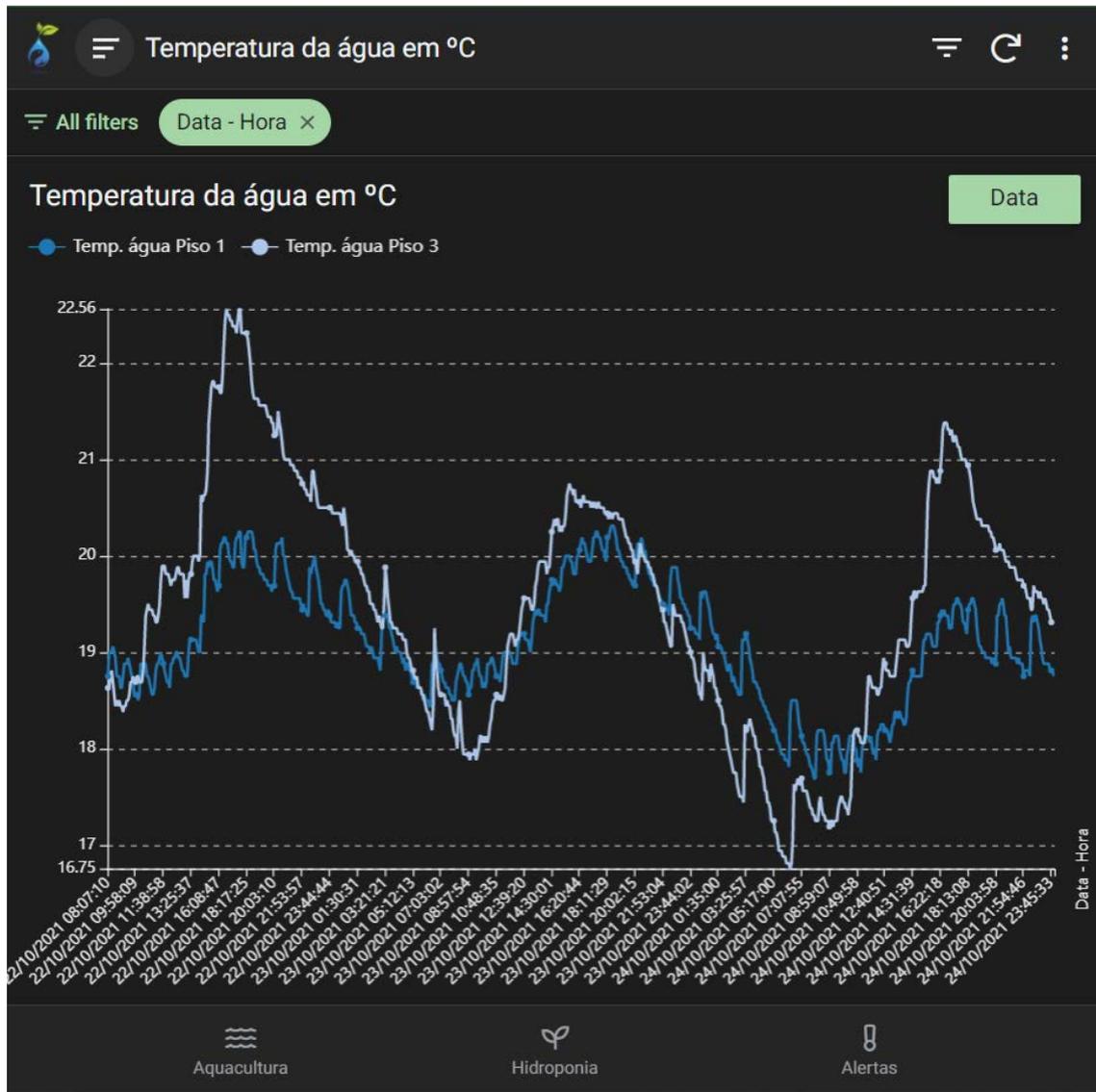


Figura 4.16 - Interface de visualização gráfica dos valores de temperatura da água.

Pela Figura 4.17, podemos observar a capacidade dos sensores em representar a variação de luminosidade, a que as plantas estão expostas.

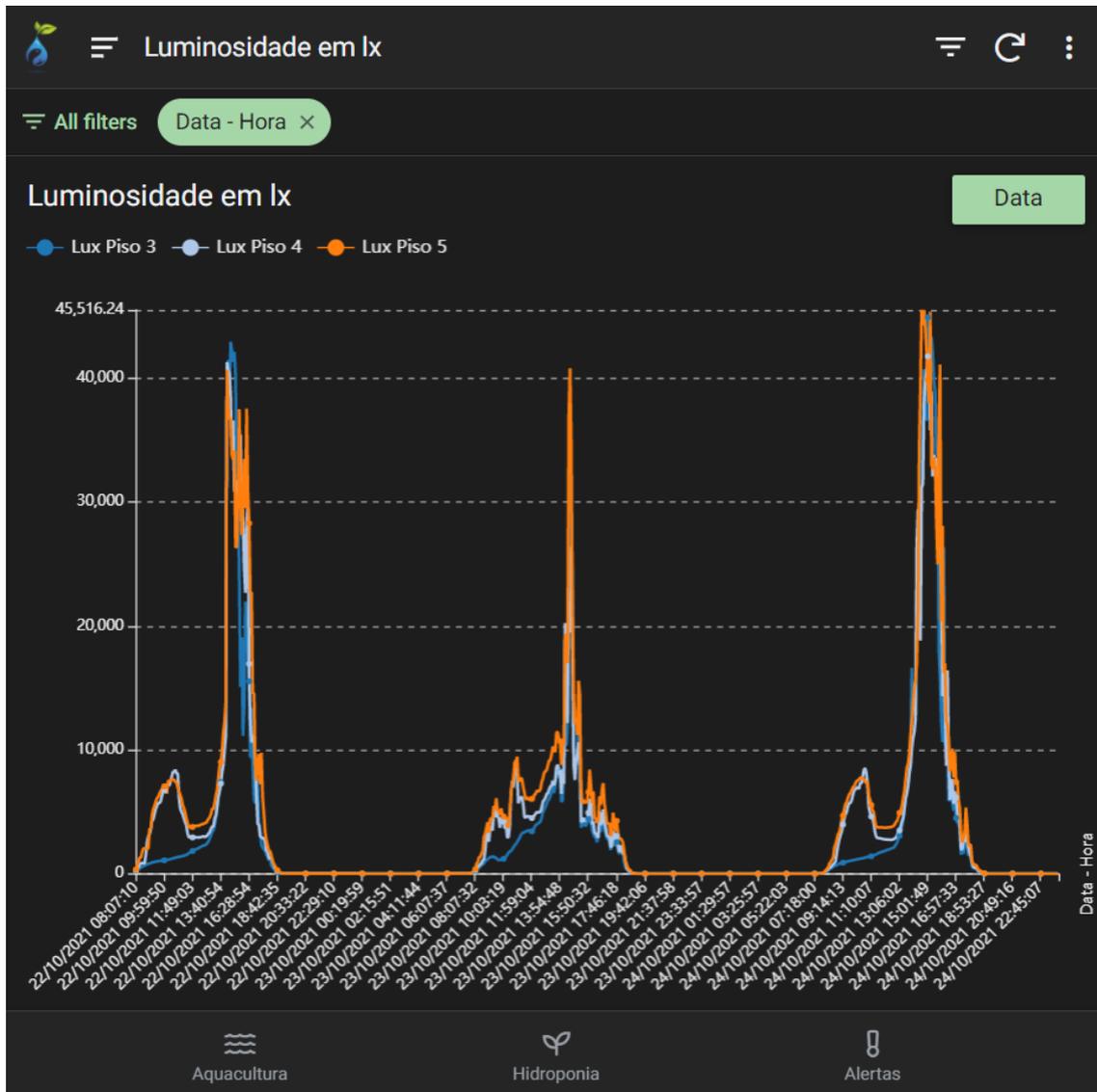


Figura 4.17 - Interface de visualização gráfica dos valores de luminosidade.

A evolução do volume de água contida no tanque foi medida através de um sensor ultrassónico, que mede a distância entre o topo do tanque e a superfície da água. Com esta medição e através da equação 3.2, obtém-se o valor de água no tanque. A Figura 4.18, representa o volume, em litros, no tanque. Os picos observados, acontecem quando a bomba liga e faz circular a água pelo sistema retornando depois ao valor anterior quando toda a água retorna.



Figura 4.18 - Interface de visualização gráfica dos valores do volume de água nos depósitos.

A Figura 4.19 representa o gráfico obtido do caudal de água à saída da bomba, em litros/hora, durante o período selecionado. Como se pode verificar, a bomba não está em funcionamento contínuo, mas em períodos de tempo com intervalos diferentes ao longo do dia.



Figura 4.19 - Interface de visualização gráfica dos valores do Caudal.

4.5. Análise de custos

O desenvolvimento deste sistema tinha três objetivos principais: monitorizar as variáveis ambientais mais relevantes da aquaponia; implementar uma rede de sensores sem fios e ter um baixo custo. O primeiro passo foi um levantamento de componentes e

custos. O objetivo foi averiguar os que cumpriam os requisitos mínimos, em termos de faixa de medição, precisão e resolução pretendidas e que eram mais acessíveis.

O custo resultante do protótipo desenvolvido e respetivo custo dos componentes, é apresentado na Tabela 4.4. Não é possível comparar diretamente o custo deste protótipo, com outros trabalhos ou soluções comerciais, devido a este ter sido desenvolvido especificamente para o sistema de aquaponia já instalado e monitorização criado para ir de encontro aos requisitos colocados pelo responsável pelo sistema de aquaponia do ISEP. Contudo, em trabalhos, onde foram desenvolvidas redes de sensores para, os valores variaram entre 200 € e 700 € [6], [69]–[71], dependendo da complexidade, sendo o custo dos equipamentos semelhante ao nosso aqui apresentado.

Tabela 4.4 - Custo final do sistema desenvolvido.

<i>Descrição produto</i>	<i>Referência</i>	<i>Quant.</i>	<i>Preço unitário (c/IVA)</i>	<i>Custo</i>
<i>Arduino UNO Rev3</i>	A000066	3	19,99 €	59,97 €
<i>Arduino UNO WIFI Rev2</i>	ABX00021	1	46,20 €	46,20 €
<i>Caixas</i>	16056200	3	2,70 €	8,10
<i>Caudalímetro</i>	YF-B5	1	16,20 €	16,20 €
<i>Fonte de Alimentação 9V 1A</i>	EF18E0041OK	4	6,50 €	26,00 €
<i>Sensor de luz</i>	TSL2561	3	7,99 €	23,97 €
<i>Modulo de 2 Relés</i>		1	3,00 €	3,00 €
<i>Sensor de Ultrassons</i>	HC-SR04	1	2,20 €	2,20 €
<i>Nível máximo água</i>	EF16B0052BG	3	6,20 €	18,60 €
<i>Resistência 10 kΩ</i>		2	0,10 €	0,30 €
<i>Resistência 4,7 kΩ</i>		2	0,10 €	0,20 €
<i>Shield XBee SparkFun</i>	WRL-12847	4	16,61 €	66,44 €
<i>Sensor de Temperatura água</i>	DS18B20	2	3,70 €	7,40 €
<i>Sensor Temperatura e Humidade</i>	DHT22	3	12,30 €	36,90 €
<i>Tomadas</i>	05437121CBR	4	1,05 €	4,20 €
<i>XBee 1mW</i>		2	28,29 €	56,58 €
<i>XBee 6.3mW</i>		2	41,90 €	83,80 €
			Total	460,06 €

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E TRABALHO
FUTURO

5. Conclusão e Trabalho Futuro

Neste capítulo são abordadas as principais conclusões sobre o projeto desenvolvido, na área da monitorização e controlo. Posteriormente é efetuada uma exposição relativamente ao que pode ser melhorado e desenvolvido.

5.1. Conclusão

O projeto realizado teve como principal objetivo o estudo e desenvolvimento de uma rede de sensores de monitorização e controlo, para aplicar no sistema de aquaponia implementado no edifício G do ISEP.

O desenvolvimento de um sistema de monitorização para ser aplicado a uma infraestrutura já existente, levantou vários desafios.

Para iniciar o projeto foi necessária uma pesquisa bibliográfica, que permitiu conhecer a aquaponia e efetuar um levantamento das necessidades destes sistemas, nomeadamente das grandezas a serem monitorizadas. Na impossibilidade de monitorizar todas as variáveis que influenciam a aquaponia, foram selecionadas as mais relevantes. A escolha das grandezas a monitorizar foi efetuada, através de uma análise dos requisitos, junto do responsável do sistema de aquaponia. Desta análise dos requisitos do sistema, foi verificada a necessidade da implementação de uma rede de sensores sem fios e do desenvolvimento de uma plataforma para visualização remota dos dados adquiridos.

O passo seguinte foi a escolha dos sensores, das plataformas de aquisição e tecnologias de rede. A existência de uma enorme diversidade de equipamentos e tecnologias permitiu a seleção das que melhor se adequavam às nossas necessidades e aplicação.

No protótipo desenvolvido foram utilizadas placas Arduino, tendo estas se mostrado uma solução de baixo custo e com capacidade para integrar os sensores, controladores e módulos de comunicação de forma simples. Os protocolos utilizados no desenvolvimento da rede foram o ZigBee e o Wi-Fi. O ZigBee, no qual assentou a comunicação entre sensores, teve em consideração as baixas taxas de transferências de dados, a baixa complexidade de implementação, fiabilidade, alcance e o baixo custo. A

escolha do Wi-Fi, teve em consideração a infraestrutura de rede já existente no ISEP e a vantagem deste protocolo, que permite o envio direto dos dados para a base de dados, através da internet. Para a criação da rede foi necessário um estudo abrangente, para a programação e configuração dos equipamentos.

Os resultados obtidos, vão de encontro do que foi proposto na análise de requisitos. A rede implementada, utilizando a tecnologia ZigBee, demonstrou ser robusta, confiável e estável. Contudo, o Wi-Fi apresentou alguns problemas de estabilidade, já comunicados à Divisão de gestão da rede informática do ISEP, e conjuntamente estamos a analisar as suas causas. A interface desenvolvida cumpre o objetivo para a qual foi criada. Embora seja considerada uma versão beta e esteja restrita a 10 utilizadores na aplicação para telemóvel ou tablet, por ter sido desenvolvida numa conta gratuita, este valor é mais de que suficiente para o projeto desenvolvido.

Através do projeto desenvolvido, é possível concluir que as redes de sensores sem fios têm inúmeras aplicações, sendo esta apenas uma das possíveis aplicações. A solução aqui desenvolvida pode ser aplicada em diversos sistemas que necessitem de monitorização e automatização. Ou seja, esta plataforma, com pequenos ajustes, mudança de sensores e ou atuadores, pode ser aplicada para monitorizar a qualidade ambiente em interior e exterior de edifícios, monitorização de equipamentos, entre outras. A versatilidade da rede aqui desenvolvida está essencialmente no uso de duas formas de comunicação, Wi-Fi e ZigBee, permite o seu uso em locais com cobertura Wi-Fi limitada, existindo apenas a necessidade de o nó agregador estar num local com rede Wi-Fi.

O recurso às recentes ferramentas da *Google*, permitiu desenvolver uma base de dados e uma interface para a visualização dos dados, sem ter conhecimentos avançados de programação.

5.2. Trabalho Futuro

Como qualquer projeto, o resultado da sua implementação levanta ideias para melhoramentos futuros, quer seja para a correção de deficiências detetadas, atualizações ou acrescento de funcionalidades.

A instabilidade da rede Wi-Fi, levanta a necessidade de desenvolvimento de um sistema de redundância, removendo o risco da perda de dados. Uma das soluções seria o nó agregador ter um sistema de armazenamento local, ou seja, um cartão de memória, no qual seriam armazenados os dados até a comunicação ser restabelecida.

O sistema embora seja autónomo a nível de comunicações, neste momento não o é a nível de alimentação exigindo a sua ligação à rede elétrica disponível no local. Assim, neste e noutros projetos em que se aplicasse este tipo de rede de sensores, seria útil ter uma solução à base de baterias e painéis solares ou outra fonte de energia renovável, permitindo com facilidade deslocar os equipamentos para outro local.

A solução desenvolvida permite que no futuro sejam adicionados mais sensores para monitorizar outras grandezas físicas que se mostrem necessárias, ou albergar sensores que vierem a ser desenvolvidos noutros trabalhos. As plataformas de aquisição colocadas têm ainda portas suficientes para entradas e saídas de dados. Assim, apenas é necessário adaptar o código.

Seria interessante, usando a mesma solução de rede de sensores sem fios, aplicar noutras áreas que necessitem de monitorização e automação. Igualmente, desenvolver uma solução compacta que pudesse ser autónoma e transportada juntamente com a pessoa dentro de um edifício, seja para monitorização ambiental interior ou exterior, monitorização da saúde e bem-estar.

Referências

- [1] M. B. da Silva, R. M. L. M. Pessôa, W. I. de Moura, R. J. A. Miranda, and W. V. N. Pessoa, “Aquaponia: Produção de Peixes e Vegetais,” in *Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Rural Compartilhado Conhecimentos Inovadores e Experiências*, Instituto Internacional Despertando Vocações, 2018, pp. 486–489.
- [2] M. Farhan Mohd Pu’Ad, K. Azami Sidek, and M. Mel, “IoT based water quality monitoring system for aquaponics,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Mar. 2020, vol. 1502, no. 1, p. 012020, doi: 10.1088/1742-6596/1502/1/012020.
- [3] A. R. Yanes, P. Martinez, and R. Ahmad, “Towards automated aquaponics: A review on monitoring, IoT, and smart systems,” *J. Clean. Prod.*, vol. 263, p. 121571, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121571.
- [4] V. R. Machado *et al.*, “Aquaponia, vidas gereando vidas para uma alimentação saudável,” in *III Encontro de Gestão Administrativa do HCPA - Gestão em Saúde: do conhecimento à prática*, 2019, p. 17.
- [5] J. E. Rakocy, M. P. Masser, and T. M. Losordo, “Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics- integrating fish and plant culture.,” *SRAC Publ. - South. Reg. Aquac. Cent.*, no. 454, p. 16, 2006.
- [6] J. E. L. Lima, “Sistema de comunicação e controlo para hidroponia,” 2014.
- [7] J. Vetelino and A. Reghu, *Introduction to Sensors*, no. December. CRC Press, 2017.
- [8] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors*, Fourth Edi. New York, NY, NY: Springer New York, 2010.
- [9] C. Bell, *Beginning sensor networks with Arduino and Raspberry Pi*, vol. 9781430258. 2013.
- [10] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, “Wireless sensor network survey,” *Comput. Networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2292–2330, Aug. 2008, doi: 10.1016/j.comnet.2008.04.002.
- [11] A. Nayak and I. Stojmenovic, *Wireless Sensor and Algorithms and Protocols for*

- Scalable Coordination*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [12] T. Kalavani, A. Allirani, and P. Priya, “A survey on Zigbee based wireless sensor networks in agriculture,” 2011, doi: 10.1109/TISC.2011.6169090.
- [13] Y. Wei, W. Li, D. An, D. Li, Y. Jiao, and Q. Wei, “Equipment and Intelligent Control System in Aquaponics: A Review,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 169306–169326, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953491.
- [14] N. H. Kumar, S. Baskaran, S. Hariraj, and V. Krishnan, “An Autonomous Aquaponics System Using 6LoWPAN Based WSN,” in *2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW)*, Aug. 2016, pp. 125–132, doi: 10.1109/W-FiCloud.2016.37.
- [15] A. Somerville, Christopher; Cohen, Moti; Pantanella, Edoardo; Stankus, Austin; Lovatelli, “Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming,” *FAO Fish. Aquac. Tech. Pap.*, p. Ediç. 589, 2014.
- [16] M. N. Mamatha and S. N. Namratha, “Design & implementation of indoor farming using automated aquaponics system,” in *2017 IEEE International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials, ICSTM 2017 - Proceedings*, 2017, vol. 2, no. August, pp. 396–401, doi: 10.1109/ICSTM.2017.8089192.
- [17] J. P. Mandap, D. Sze, G. N. Reyes, S. Matthew Dumlao, R. Reyes, and W. Y. Danny Chung, “Aquaponics pH Level, Temperature, and Dissolved Oxygen Monitoring and Control System Using Raspberry Pi as Network Backbone,” in *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, 2019, vol. 2018-Octob, no. October, pp. 1381–1386, doi: 10.1109/TENCON.2018.8650469.
- [18] B. Sreelekshmi and K. N. Madhusoodanan, *Emerging Trends in Engineering, Science and Technology for Society, Energy and Environment*, 1st Editio. Chennai, India: CRC Press, 2018.
- [19] M. Manju, V. Karthik, S. Hariharan, and B. Sreekar, “Real time monitoring of the environmental parameters of an aquaponic system based on internet of things,” in

- ICONSTEM 2017 - Proceedings: 3rd IEEE International Conference on Science Technology, Engineering and Management*, Mar. 2017, vol. 2018-Janua, pp. 943–948, doi: 10.1109/ICONSTEM.2017.8261342.
- [20] L. K. S. Tolentino *et al.*, “Development of an IoT-based Aquaponics Monitoring and Correction System with Temperature-Controlled Greenhouse,” in *2019 International SoC Design Conference (ISOCC)*, Oct. 2019, pp. 261–262, doi: 10.1109/ISOCC47750.2019.9027722.
- [21] R. Von Bröckel, A. L. Davis, S. V. Dragos, F. José, and R. Ludeña, “Controlling and monitoring of aquaponic system,” pp. 1–5.
- [22] A. Antonioli, “Controle De Qualidade De Água Em Sistema Aquapônico,” Universidade do Vale do Taquari, 2019.
- [23] A. Dutta, P. Dahal, R. Prajapati, P. Tamang, and E. S. K. K.C., “IoT Based Aquaponics Monitoring System,” *1st KEC Conf. Proc.*, vol. 1, no. September, pp. 75–80, 2018.
- [24] W. Vernandhes, N. . Salahuddin, A. Kowanda, and S. P. Sari, “Smart aquaponic with monitoring and control system based on iot,” in *2017 Second International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, Nov. 2017, vol. 2018-Janua, pp. 1–6, doi: 10.1109/IAC.2017.8280590.
- [25] FEUP, “Humidade Relativa - Arquivo da FEUP,” 2014. <https://biblioteca.fe.up.pt/arquivo/glossario/humidade-relativa/index.html> (accessed Oct. 26, 2021).
- [26] M. A. Zamora-Izquierdo, J. Santa, J. A. Martínez, V. Martínez, and A. F. Skarmeta, “Smart farming IoT platform based on edge and cloud computing,” *Biosyst. Eng.*, vol. 177, pp. 4–17, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2018.10.014.
- [27] D. D. Kuhn, D. D. Drahos, L. Marsh, and G. J. Flick, “Evaluation of nitrifying bacteria product to improve nitrification efficacy in recirculating aquaculture systems,” *Aquac. Eng.*, vol. 43, no. 2, pp. 78–82, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.aquaeng.2010.07.001.
- [28] N. M. Stone and H. K. Thomforde, “Understanding Your Fish Pond Water

- Analysis Report,” Pine Bluff, 2004.
- [29] R. Sallenave, “Understanding Water Quality Parameters to Better Manage Your Pond,” *Coll. Agric. Consum. Environ. Sci. New Mex. State Univ.*, vol. Guide W-10, p. 4, 2012, [Online]. Available: https://aces.nmsu.edu/pubs/_w/W104.pdf.
- [30] C. Bell, *MySQL for the Internet of Things*. Berkeley, CA: Apress, 2016.
- [31] A. M. Nagayo, C. Mendoza, E. Vega, R. K. S. Al Izki, and R. S. Jamisola, “An automated solar-powered aquaponics system towards agricultural sustainability in the Sultanate of Oman,” in *2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*, Jul. 2017, pp. 42–49, doi: 10.1109/ICSGSC.2017.8038547.
- [32] J. F. Menegaes, J. E. Filipetto, A. M. Rodrigues, and O. S. dos Santos, “Produção sustentável de alimentos em cultivo hidropônico,” *Rev. Monogr. Ambient.*, vol. 14, no. 3, pp. 102–108, Sep. 2015, doi: 10.5902/2236130818750.
- [33] S. Farahani, *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. Elsevier, 2008.
- [34] IEEE Standards Association, “IEEE Std 802.11-1997,” *IEEE Comput. Soc.*, 1997.
- [35] Wi-Fi Alliance, “Certification | Wi-Fi Alliance,” *Wi-Fi Organisation*, 2019. <https://www.wi-fi.org/certification> (accessed Oct. 19, 2021).
- [36] S. Analyzer, “The complete family of wireless LAN,” vol. 183, no. 183, pp. 28–30, 2004, Accessed: Oct. 19, 2021. [Online]. Available: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_news_from_rs/183/n183_lan.pdf.
- [37] J. A. Afonso, “Acesso Local sem Fios em Redes de Comunicação,” Universidade do Minho, 2004.
- [38] Wifi-Alliance, “WPA2™ Security Now Mandatory for Wi-Fi CERTIFIED™ Products | Wi-Fi Alliance,” *Wifi Alliance*, 2006. <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wpa2-security-now-mandatory-for-wi-fi-certified-products> (accessed Oct. 26, 2021).
- [39] H. Labiod, H. Afifi, and C. De Santis, *Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee and WiMAX*. 2007.

-
- [40] “Demystifying 802.15.4 and ZigBee,” 2007. [Online]. Available: http://www.mouser.com/pdfdocs/digi-wp_zigbee.pdf.
- [41] M. Kooijman, *Building Wireless Sensor Networks Using Arduino*. Birmingham B3 2PB, UK: Packt Publishing, 2015.
- [42] R. Faludi, *A Practical Guide to the ZigBee Mesh Networking Protocol. Building Wireless Sensor Networks*, no. 1. 2010.
- [43] W. Dargie and C. Poellabauer, *Fundamentals of Wireless Sensor Networks*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
- [44] G. C. Hillar, *MQTT Essentials - A Lightweight IoT Protocol*, vol. 53, no. 9. 2017.
- [45] “MQTT - The Standard for IoT Messaging.” <https://mqtt.org/> (accessed Oct. 03, 2021).
- [46] A. Javed, *Building Arduino Projects for the Internet of Things*. Berkeley, CA: Apress, 2016.
- [47] “DB-Engines Ranking - popularity ranking of database management systems.” <https://db-engines.com/en/ranking> (accessed Oct. 03, 2021).
- [48] “Gerenciar o AppSheet na sua organização - Ajuda do Administrador do Google Workspace.” <https://support.google.com/a/answer/10100275?hl=pt-pt> (accessed Oct. 03, 2021).
- [49] N. Petrovic, V. Roblek, M. Radenković, and V. Nejkovic, “Approach to Rapid Development of Data-Driven Applications for Smart Cities using AppSheet and Apps Script,” no. October, 2020.
- [50] T. Leung, *Beginning PowerApps*. Berkeley, CA: Apress, 2017.
- [51] T. Liu, “Digital-Output relative humidity & temperature sensor/module DHT22,” *New York Aosong Electron.*, vol. 22, pp. 1–10, 2015, [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.
- [52] “DS18B20.” <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> (accessed Oct. 03, 2021).
- [53] “TTSL2560, TSL2561 LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER,” 2005.

- <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/LightImaging/TSL2561.pdf> (accessed Oct. 03, 2021).
- [54] “TSL2561 Luminosity Sensor Hookup Guide - learn.sparkfun.com.” <https://learn.sparkfun.com/tutorials/tsl2561-luminosity-sensor-hookup-guide/all> (accessed Oct. 03, 2021).
- [55] “Water Flow Sensor YF-B5.” [https://media.digikey.com/pdf/Data Sheets/Seeed Technology/114991175_Web.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Seeed%20Technology/114991175_Web.pdf) (accessed Oct. 03, 2021).
- [56] “Ultrasonic Ranging Module HC-SR04.” <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> (accessed Oct. 03, 2021).
- [57] B. Dukish, *Coding the Arduino*. Berkeley, CA: Apress, 2018.
- [58] “In-Depth: Interface Two Channel Relay Module with Arduino,” *LastMinuteEngineers.com*. <https://lastminuteengineers.com/two-channel-relay-module-arduino-tutorial/> (accessed Oct. 19, 2021).
- [59] “Módulo de 2 relés 5V compatível com Arduino,” *Robert Mauser, Lda*. https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=324_517_2118&products_id=096-8841 (accessed Oct. 19, 2021).
- [60] M. Margolis, *Arduino Cookbook*. O’Reilly Media, Inc., 2012.
- [61] “ARDUINO UNO WiFi REV2 | Arduino Official Store.” <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-wifi-rev2> (accessed Oct. 03, 2021).
- [62] “Arduino Uno Rev3 — Arduino Official Store.” <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/?selectedStore=eu> (accessed Oct. 03, 2021).
- [63] “NINA-W10 series Stand-alone multiradio modules,” 2020. https://www.u-blox.com/sites/default/files/NINA-W10_ProductSummary_%28UBX-17051775%29_C1-public.pdf (accessed Oct. 03, 2021).
- [64] “The Major Differences in the XBee 802.15.4 vs. the XBee ZB (S2) and (S2C) | Digi International,” *Digi International, Inc.*

- <https://www.digi.com/support/knowledge-base/the-major-differences-in-the-xbee-series-1-vs-the> (accessed Oct. 23, 2021).
- [65] “Escaped Characters and API Mode 2,” *Digi International, Inc.* <https://www.digi.com/support/knowledge-base/escaped-characters-and-api-mode-2> (accessed Oct. 23, 2021).
- [66] “How to add certificates to Wifi Nina/Wifi 101 Modules. – Arduino Help Center.” <https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360016119219-How-to-add-certificates-to-Wifi-Nina-Wifi-101-Modules-> (accessed Oct. 03, 2021).
- [67] “Celebrating 10 years of Apps Script: looking back on how it started | Google Cloud Blog.” <https://cloud.google.com/blog/products/g-suite/celebrating-10-years-of-apps-script-looking-back-on-how-it-started> (accessed Oct. 03, 2021).
- [68] “Google Apps Script: automatize, expanda e faça a integração com o Google Workspace.” <https://workspace.google.com/intl/pt-PT/products/apps-script/> (accessed Oct. 03, 2021).
- [69] T. C. Braga, “Monitorização ambiental em espaços florestais com rede de sensores sem fios,” Universidade da Madeira, 2010.
- [70] P. A. M. V. Gomes, “Utilização de sensores de baixo custo na medição de monóxido de carbono no ar ambiente,” Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2015.
- [71] S. Pestana, “Sistema de Gestão de Rega com um Rede de Sensores sem Fios,” Universidade da Madeira, 2020.

