



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Sistema de monitorização remota de parâmetros internos e da envolvente de árvores

Leonor Cristina Pinheiro dos Santos Varandas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Miguel de Figueiredo Dinis Oliveira Gaspar

Covilhã, janeiro de 2020

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Professor Pedro Dinis Gaspar, por toda a ajuda e disponibilidade que demonstrou e pela oportunidade que me proporcionou ao dar-me a conhecer este tema de dissertação.

Agradeço ao Prof. José Pombo por todos os ensinamentos que me deu transmitiu durante a execução desta dissertação e agradeço também a todos os elementos do seu laboratório que de uma forma ou de outra me ajudaram e aconselharam.

Agradeço ao meu amigo Martim Aguiar pela disponibilidade e pela ajuda que me deu.

Um agradecimento muito especial ao João Faria por todos os ensinamentos, conselhos e pela ajuda que me deu durante este tempo, sem a qual esta dissertação não teria sido possível e que me permitiram crescer em todos os níveis. Agradeço-lhe, acima de tudo, a paciência e o apoio que sempre me deu.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha família e a todos os meus amigos o apoio que de alguma forma me deram durante o percurso académico, em especial ao meu irmão e ao meu pai que me apoiou e ensinou a nunca desistir e que me permitiu chegar até aqui.

Resumo

Atualmente, com o aumento populacional, a sociedade agropecuária viu-se na responsabilidade de acompanhar este crescimento. Com a sobreexploração desta área e a consequente utilização de meios fitossanitários para a fazer subsistir, cada vez mais nos deparamos com o aumento da degradação ambiental e com o aparecimento frequente de doenças e pragas muito mais resistentes. Como consequência disto, os produtos têm vindo a sofrer uma redução da qualidade para além de apresentarem um risco crescente de toxicidade prejudicial para a saúde do ser humano. Uma das soluções mais atrativas neste momento passa pela monitorização direta e em tempo real de parâmetros como a temperatura e a humidade, tanto da própria árvore como também do meio que a envolve. Desta forma, é possível prever o aparecimento dos infestantes, evitando a utilização excessiva, e em muitos casos desnecessária, de pesticidas. Contudo, ainda não existem muitos estudos desenvolvidos para solucionar este problema.

Assim, esta dissertação visa o projeto e construção de um dispositivo de monitorização remota que permita ao utilizador conhecer parâmetros com impacto na saúde das árvores como sejam a temperatura interna; a humidade do solo e a temperatura, humidade e concentração de gases da atmosfera envolvente. Sabendo ainda que dois dos requisitos fundamentais dos sistemas de monitorização remota se prendem com o alcance de comunicação e sua autonomia, todos os dados monitorizados são transmitidos para um repetidor central, também desenvolvido nesta dissertação, por meio da tecnologia *LoRaWAN*, sendo todo o sistema alimentado por energia solar via conversão fotovoltaica. Adicionalmente, o utilizador pode aceder aos dados monitorizados em tempo real em qualquer lugar, devido a uma aplicação móvel desenvolvida para essa finalidade.

Por fim, para validar o bom funcionamento do dispositivo, são apresentados os resultados de ensaios experimentais, em forma de gráfico, realizados numa oliveira sob diferentes condições ambientais.

Palavras-chave

Doenças e pragas das árvores de fruto; Monitorização da saúde das árvores; Comunicações LPWAN; LoRaWAN; Extração de energia fotovoltaica.

Abstract

With the population increase experienced presently the agricultural society felt obligated to following up with this growth. Over exploration of this area and the consequent use of phytosanitary products to make it subsist are leading us to increasingly face environmental degradation growth and the frequent occurrence of much more resistant diseases and pests. As result, products have been suffering from a reduction in quality as well as an increasing risk of harmful toxicity to human health. One of the most attractive solutions right now is the direct and real-time parameters monitoring such as temperature and humidity of both the tree itself and the surrounding environment. Thereby, we can predict the forthcoming of diseases and pests avoiding the excessive and, in many cases, unnecessary pesticide use. However, there are not many studies developed to solve this problem.

Thus, this dissertation aims the design and construction of a monitoring device that allows the user to know parameters related to tree's health as inner temperature; soil humidity and temperature, humidity and gas concentration of the surrounding atmosphere. Knowing that two remote monitoring systems fundamental requirements are related to communication range and autonomy all monitored data will be transmitted to a central repeater, also developed in this dissertation, via *LoRaWAN* technology and the entire system will be powered from photovoltaic power extraction. Moreover, to see the monitoring results the user can access them anywhere in the world due to a mobile application developed for this purpose.

Lastly, to validate the proper functioning of the device, tests are performed on an olive tree under different environmental conditions and graphs with the results are presented.

Keywords

Tree fruit diseases and pests; Tree health monitorization; LPWAN communications; LoRaWAN; Photovoltaic energy extraction.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas.....	xv
Nomenclatura	xvii
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. O problema em estudo e a sua relevância	3
1.3. Objetivos e contribuição da dissertação	3
1.4. Visão geral e organização da dissertação	4
Capítulo 2	5
Estado da Arte	5
2.1. Doenças e pragas da oliveira.....	5
2.1.1. Mosca da oliveira	6
2.1.2. Traça da oliveira	6
2.1.3. Xylella Fastidiosa	7
2.1.4. Gafa	7
2.1.5. Tuberculose	8
2.2. Patentes	8
2.2.1. Dispositivo e método para avaliação da saúde de uma árvore.....	8
2.2.2. Sensor de uma só placa para medição de fluxo de seiva	9
2.2.3. Nota conclusiva	10
2.3. Dispositivos comerciais para medição de parâmetros das árvores	11
2.3.1. Sensor de temperatura interna.....	11
2.3.1.1. Termorresistências.....	11
2.3.1.2. Termopares	11
2.3.1.3. Termístor	11
2.3.2. Sensor de humidade.....	12
2.3.3. Sensor de temperatura e humidade	13
2.3.3.1. SHT1x.....	13
2.3.3.2. DHTxx	13
2.3.4. Sensor de gases	14
2.4. Produção Fotovoltaica	16

2.4.1.	Princípio de funcionamento de um painel fotovoltaico	16
2.4.2.	Associação em série	18
2.4.3.	Associação em paralelo	19
2.4.4.	Associação mista	20
2.4.5.	Curvas I-V e P-V com base na variação da irradiância e da temperatura ..	21
2.4.6.	Algoritmos de procura do Ponto de máxima potência - (MPPT)	25
2.4.6.1.	Algoritmo Perturba e Observa.....	25
2.4.6.2.	Algoritmo Condutância Incremental	27
2.4.6.3.	Algoritmo Tensão Constante	29
2.4.6.4.	Algoritmo Corrente de Curto-Circuito	30
2.4.7.	Conversor DC/DC não isolado	31
2.4.7.1.	Conversor Boost	32
2.4.7.2.	Conversor Buck.....	33
2.4.7.3.	Conversor Buck-Boost	33
2.5.	Sistemas de Carregamento.....	34
2.5.1.	Carregamento Constant Current/Constant Voltage (CC-CV).....	35
2.5.2.	Carregamento <i>Multistage</i>	35
2.5.3.	Carregamento <i>Pulse Current</i>	36
Capítulo 3	.....	39
Internet das Coisas (Internet of Things - IoT)	.....	39
3.1.	Introdução.....	39
3.2.	Tipos de Comunicação.....	40
3.3.	Low Power Wide Area Network (LPWAN)	41
3.3.1.	Narrow Band IoT (NB-IoT).....	42
3.3.2.	Sigfox	42
3.3.3.	LoRaWAN	42
3.3.3.1.	Princípio de Funcionamento.....	42
3.3.3.2.	Arquitetura da rede.....	44
3.3.3.3.	Modulação LoRa	45
3.3.3.4.	Classes	47
3.3.3.5.	Protocolo de Segurança.....	48
3.3.3.6.	Resolução de problemas reais com LoRaWAN.....	48
3.4.	Nota Conclusiva	50
Capítulo 4	.....	53
Protótipo	.....	53
4.1.	Funcionamento do dispositivo de monitorização	53
4.2.	Hardware	58

4.2.1.	Produção e extração fotovoltaica	59
4.2.1.1.	Painel Fotovoltaico	59
4.2.1.2.	Conversor Buck responsável pela extração fotovoltaica	60
4.2.2.	Microcontrolador	63
4.2.3.	Módulo LoRa	63
4.2.4.	Sensores	64
4.2.4.1.	Termístor NTC	64
4.2.4.2.	DHT11	65
4.2.4.3.	Sensor de humidade do solo	68
4.2.4.4.	MQ_135	69
4.3.	Software	71
4.3.1.	Lógica interna/Representação gráfica do programa	71
4.3.2.	Aplicação móvel	72
Capítulo 5	.....	75
Testes Experimentais e Discussão de Resultados	.....	75
5.1.	Ensaio experimental 1	75
5.2.	Ensaio experimental 2	79
5.3.	Teste de alcance	82
5.4.	Nota conclusiva	82
Capítulo 6	.....	85
Conclusão	.....	85
6.1.	Considerações finais	85
6.2.	Perspetivas de trabalho futuro	87
ANEXOS	.....	93
Anexo A - Código do microcontrolador	.....	93
Anexo B - Desenhos Técnicos	.....	97

Lista de Figuras

FIGURA 2.1- IMAGEM TERMOGRÁFICA DO INTERIOR DE UMA ÁRVORE [12].	9
FIGURA 2.2- SENSOR DE UMA SÓ PLACA PARA MEDIÇÃO DE FLUXO DE SEIVA [13].	10
FIGURA 2.3 - CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UM TERMÍSTOR NTC E DE UM TERMÍSTOR PTC.	12
FIGURA 2.4 - REPRESENTAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO.	17
FIGURA 2.5 - EFEITO FOTOELÉTRICO NUM PAINEL FOTOVOLTAÍCO.	17
FIGURA 2.6 - ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE COM AS RESPECTIVAS CURVAS I-V [23].	19
FIGURA 2.7 - ASSOCIAÇÃO EM PARALELO COM AS RESPECTIVAS CURVAS I-V [23].	20
FIGURA 2.8 - ASSOCIAÇÃO MISTA COM RESPECTIVAS CURVAS I-V [23].	20
FIGURA 2.9 - CURVA I-V CARACTERÍSTICA DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO.	21
FIGURA 2.10 - CURVA P-V CARACTERÍSTICA DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO.	22
FIGURA 2.11 - INFLUÊNCIA DA IRRADIÂNCIA NA CURVA I-V DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.	22
FIGURA 2.12 - INFLUÊNCIA DA IRRADIÂNCIA NA CURVA P-V DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.	23
FIGURA 2.13 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA CURVA I-V DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.	24
FIGURA 2.14 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA CURVA P-V DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.	24
FIGURA 2.15 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO PERTURBA E OBSERVA.	26
FIGURA 2.16 - COMPORTAMENTO ERRÓNEO DO ALGORITMO PERTURBA E OBSERVA DEVIDO A ALTERAÇÕES DE IRRADIÂNCIA REPENTINAS.	27
FIGURA 2.17 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO CONDUTÂNCIA INCREMENTAL.	28
FIGURA 2.18 - CURVA DE POTÊNCIA EM FUNÇÃO DA TENSÃO (P-V).	29
FIGURA 2.19 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO TENSÃO CONSTANTE.	29
FIGURA 2.20 - ALGORITMO TENSÃO CONSTANTE.	30
FIGURA 2.21 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO.	31
FIGURA 2.22 - CONVERSOR <i>BOOST</i> .	32
FIGURA 2.23 - CONVERSOR <i>BUCK</i> .	33
FIGURA 2.24 - CONVERSOR <i>BUCK-BOOST</i> .	34
FIGURA 2.25 - PERFIL DE CARREGAMENTO <i>CC / CV</i> [40].	35
FIGURA 2.26 - PERFIL DE CARREGAMENTO <i>MULTISTAGE</i> [40].	36
FIGURA 2.27 - PERFIL DE CARREGAMENTO <i>PULSE CURRENT</i> METODOLOGIA <i>VFPC</i> [40].	37
FIGURA 2.28 - PERFIL DE CARREGAMENTO <i>PULSE CURRENT</i> METODOLOGIA <i>VDPC</i> [40].	37
FIGURA 3.1 - GRÁFICO COMPARATIVO DA LARGURA DE BANDA VS ALCANCE DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO.	43
FIGURA 3.2 - ARQUITETURA DA REDE [51].	44
FIGURA 3.3 - PROTOCOLO <i>LoRaWAN</i> (ADAPTADO DE [51]).	45
FIGURA 3.4 - REPRESENTAÇÃO DA MODULAÇÃO DO SINAL.	46
FIGURA 4.1 - REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DE FUNCIONAMENTO PROPOSTA.	53
FIGURA 4.2 - RENDER DO DISPOSITIVO INSTALADO NUMA OLIVEIRA.	54
FIGURA 4.3 - RENDERS DO PROTÓTIPO DO DISPOSITIVO DE MONITORIZAÇÃO.	55
FIGURA 4.4 - RENDERS DO REPETIDOR CENTRAL.	56
FIGURA 4.5 - FOTOGRAFIAS DIVERSAS DO DISPOSITIVO E DO REPETIDOR.	57
FIGURA 4.6 - COMPARAÇÃO ENTRE O DESENHO COMPUTACIONAL E O DISPOSITIVO CONSTRUÍDO.	58
FIGURA 4.7 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO.	59
FIGURA 4.8 - REPRESENTAÇÃO DO CIRCUITO APLICADO [58].	60
FIGURA 4.9 - PERFIL DE CARREGAMENTO DA BATERIA <i>LI-ION</i> . (ADAPTADO DE [58]).	62

FIGURA 4.10 - MICROCONTROLADOR ATMEL ATMEGA328P.	63
FIGURA 4.11 - MÓDULO DE COMUNICAÇÃO EBYTE E32 433T30D [60].	63
FIGURA 4.12 - REPRESENTAÇÃO INTERNA DE UM TERMÍSTOR NTC.	64
FIGURA 4.13 - REPRESENTAÇÃO GERAL DO PROCESSO DE COMUNICAÇÃO (ADAPTADO DE [62]).	66
FIGURA 4.14 - INÍCIO DA COMUNICAÇÃO ENTRE O MCU E O DHT11 (ADAPTADO DE [62]).	66
FIGURA 4.15 - TRANSMISSÃO DO SINAL CASO 1 (ADAPTADO DE [62]).	67
FIGURA 4.16 - TRANSMISSÃO DO SINAL CASO 2 (ADAPTADO DE [62]).	67
FIGURA 4.17 - HIGRÓMETRO.	68
FIGURA 4.18 - SENSOR MQ-135.	69
FIGURA 4.19 - SENSIBILIDADE DO SENSOR MQ-135 PARA OS DIFERENTES GASES A 20°C E 65% HR [63].	69
FIGURA 4.20 - RELAÇÃO DA SENSIBILIDADE DO SENSOR MQ-135 COM A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA E DA HUMIDADE [63].	70
FIGURA 4.21 - CIRCUITO DO SENSOR MQ-135.	70
FIGURA 4.22 - FLUXOGRAMA DESCRITIVO DO PROCESSO DE FUNCIONAMENTO DO MICROCONTROLADOR.	71
FIGURA 4.23 - APLICAÇÃO GESTORA DOS DADOS RECOLHIDOS PELO DISPOSITIVO.	72
FIGURA 4.24 - GRÁFICOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PELA APLICAÇÃO.	73
FIGURA 5.1 - EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA [°C] NO INTERIOR E NO EXTERIOR DA ÁRVORE AO LONGO DO TEMPO.	76
FIGURA 5.2 - EVOLUÇÃO DA HUMIDADE [%] ATMOSFÉRICA E DO SOLO AO LONGO DO TEMPO.	77
FIGURA 5.3 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE GASES [%] DO AR ENVOLVENTE DA ÁRVORE AO LONGO DO TEMPO.	78
FIGURA 5.4 - EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA [°C] NO INTERIOR E NO EXTERIOR DA ÁRVORE AO LONGO DO TEMPO.	79
FIGURA 5.5 - EVOLUÇÃO DA HUMIDADE [%] DO AR E DO SOLO AO LONGO DO TEMPO.	80
FIGURA 5.6 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE GASES [%] DO AR ENVOLVENTE DA ÁRVORE AO LONGO DO TEMPO.	81
FIGURA 5.7 - IMAGEM DE SATÉLITE REPRESENTATIVA DO ALCANCE DE COMUNICAÇÃO.	82

Lista de Tabelas

TABELA 2.1 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO SHT1X [16].	13
TABELA 2.2 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS SENSORES DHT11, DHT21 E DHT22 [17], [18].	14
TABELA 2.3 - SENSORES DA FAMÍLIA MQ [21].	16
TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS DAS TRÊS TECNOLOGIAS <i>LPWAN</i> : <i>LORAWAN</i> , <i>SIGFOX</i> E <i>NB-IOT</i>	50
TABELA 4.1 ESTADO DE CARREGAMENTO. [58].	62
TABELA 4.2 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DHT11 [18].	65

Nomenclatura

Acrónimos:

<i>A/D</i>	Analógico para Digital;
<i>AES</i>	Advanced Encryption Standard;
<i>BAT</i>	Negative Input for Charge Current Sensing;
<i>CC/CV</i>	Corrente Constante/Tensão Constante;
<i>CM</i>	Charge Mode;
<i>CSP</i>	Positive Input for Charge Current Sensing;
<i>dB</i>	Decibel;
<i>DC/DC</i>	Corrente Contínua/Corrente Contínua;
<i>DIP</i>	Dual In Package;
<i>DM</i>	Detection Mode;
<i>G</i>	Intensidade da radiação incidente [W/m^2];
<i>GND</i>	Ground;
<i>GSM</i>	Global Systems for Mobile Communications;
<i>HR</i>	Humidade Relativa;
<i>I2C</i>	Two-wire Interface Connection;
<i>IOT</i>	Internet of Things;
<i>ISM</i>	Industrial, Scientific and Medical;
<i>LAN</i>	Local Area Network;
<i>Li-Ion</i>	Iões de Lítio;
<i>LoRaWAN</i>	Long Range Wide Area Network;
<i>LPWAN</i>	Low Power Wide Area Network;
<i>LTE</i>	Long Term Evolution;
<i>MCU</i>	Microcontrolador;
<i>MPP</i>	Maximum Power Point;
<i>MPPT</i>	Maximum Power Point Technique;
<i>NB-IoT</i>	Narrow-Band Internet of Things;
<i>NOCT</i>	Temperatura normal de operação da célula;
<i>NFC</i>	Near Field Communication;
<i>NTC</i>	Negative Temperature Coefficient;
<i>ONU</i>	Organização das Nações Unidas;

<i>OSI</i>	Open Systems Interconnection;
<i>PLC</i>	Power Line Communication;
<i>ppm</i>	Partes por milhão;
<i>PSO</i>	Particle Swarm Optimization;
<i>PTC</i>	Positive Temperature Coefficient;
<i>PWM</i>	Pulse Width Modulation;
<i>RFID</i>	Radio Frequency Identification;
<i>RISC</i>	Reduced Instruction Set Computer;
<i>RSSF</i>	Redes de Sensores Sem Fios;
<i>RTDs</i>	Resistance Temperature Detector;
<i>SF</i>	Spreading Factor;
<i>SM</i>	Search Mode;
<i>SPI</i>	Serial Peripheral Interface;
<i>TQFP</i>	Thin Quad Flat Pack;
<i>UART</i>	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter;
<i>VCC</i>	External Power Supply Input.;
<i>VDPC</i>	Variable Duty Pulse Current;
<i>VFPC</i>	Variable Frequency Pulse Charge;
<i>WSN</i>	Wireless Sensor Networks;

Símbolos:

<i>B</i>	Largura de banda [Hz];
<i>C</i>	Valor do condensador;
<i>D</i>	Valor do díodo;
<i>D</i>	Duty-cycle;
<i>f</i>	Frequência [Hz];
<i>I_{CH}</i>	Corrente de carregamento;
<i>I_{mpp}</i>	Corrente no ponto de máxima potência;
<i>I_{op}</i>	Corrente de operação;
<i>I_{pV}</i>	Corrente do painel fotovoltaico;
<i>I_{SC}</i>	Corrente de curto circuito;
<i>K_{sc}</i>	Constante em condições de circuito aberto;
<i>L</i>	Valor da bobina;
<i>máx</i>	Máximo;

min	Mínimo;
R	Resistência elétrica, [Ω];
R_b	Bit Rate;
R_{cs}	Resistência envolvida no carregamento;
R_s	Baude Rate;
s	Chirp;
S	Valor do switch;
T	Temperatura [$^{\circ}C$];
t_s	Tempo do Chirp;
V_{mpp}	Tensão no ponto de máxima potência;
V_{in}	Tensão de entrada;
V_{OC}	Tensão em circuito aberto;
V_{OUT}	Tensão de saída;
V_{pv}	Tensão do painel fotovoltaico;
V_{ref}	Tensão de referência;
V_{SLPR}	Sleep mode Release Threshold;
$V_{trickle}$	Tensão de arranque;
V_{UVLO}	Under Voltage Lockoutn Threshold;

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento

O impacto das alterações climáticas que se fazem sentir cada vez mais, são transversais a todos os setores, e despertam a cada dia que passa uma preocupação cada vez maior na sociedade e também as comunidades rurais, pois a influência deste impacto na agricultura dada a vulnerabilidade das culturas é enorme, por se desenvolverem maioritariamente ao ar livre e desse modo dependerem das condições meteorológicas. Se a este ponto for adicionada a política agrícola seguida nas últimas décadas que fomentou o aumento frenético das produções, conduzindo a uma degradação ambiental com reflexos notórios, acima de tudo, na poluição das águas subterrâneas e superficiais; na erosão e compactação dos solos; na poluição atmosférica; no aumento do risco de incêndios e na degradação da paisagem de um modo geral [1], é identificado um problema que urge resolver. Em Portugal, apesar destes problemas não atingirem a gravidade dos países do norte e centro da Europa, há, no entanto, situações pontuais de poluição do solo e das águas e da erosão do solo, ocasionadas não só pela prática de uma agricultura e explorações pecuárias intensivas como também por agroindústrias. Acrescem a estas situações problemas de indisciplina na utilização de produtos de tratamento fitossanitário, que acarretam adversidades ao nível da poluição das águas e até mesmo ao nível da saúde pública [1]. Assim, para uma boa prática da agricultura em Portugal, é imprescindível que a relação entre a agricultura e o ambiente seja considerada, tendo em conta o papel que esta primeira tem como utilizadora e transformadora de recursos naturais, produtora de bens e serviços e geradora de património cultural. Para tal, é fundamental o esforço convergente da inovação científica, da formação dos agricultores e da reorientação das políticas.

Em Portugal sempre se apostou muito na agricultura como fonte de rendimento, e desde cedo que os focos que tornaram os produtos portugueses mais atraentes para exportação foram o cultivo de cereais, a vinicultura, a olivicultura e mais recentemente o cultivo de frutos vermelhos. Entre as vertentes referidas anteriormente, a olivicultura é um dos ramos da agricultura com maior exportação, especialmente quando nos referimos à produção de azeite.

Sendo Portugal o nono país com maior área de olival, o sétimo maior produtor de azeitona e o oitavo maior produtor de azeite do mundo, é de extrema importância para os agricultores combater problemas que advêm do seguimento de políticas agrícolas menos indicadas e de alterações climáticas, as infestantes [2]. As infestantes podem ser doenças ou pragas e é muito importante saber com qual se está a lidar. Embora a diferença não seja completamente clara, especialmente em relação a doenças causadas por fungos, existem diferenças entre pragas e doenças, não só quanto ao ser que a origina, como também na forma como incide, os problemas que causa e as características extrínsecas e intrínsecas que levam ao seu surgimento.

Uma praga consiste num conjunto de organismos vivos da mesma espécie que aparecem subitamente e em massa atacando e destruindo as plantações. Têm uma relação com o hospedeiro na qual se alimentam do mesmo. A principal diferença é o tipo de reprodução, dependendo esta da espécie, mas sendo sempre uma reprodução sexuada. As espécies podem

ser classificadas em Nematoides (vermes), Moluscos (caramujos e lesmas), Roedores (ratos, murganhos, entre outros) e Artrópodes (insetos e ácaros), sendo estes os que causam mais estragos e levam a maiores preocupações. As pragas são fáceis de identificar e tratar, pois os seus estragos são maioritariamente a nível externo [3]:

- Manchas amarelas, castanhas ou pretas nas folhas;
- Marcas de dentes nas folhas e caules;
- Folhas secas;
- Queda excessiva de folhas fora da época habitual;
- Má aparência do solo sobre o qual se encontra a planta.

As doenças, por outro lado, são alterações a nível fisiológico e morfológico, causadas por agentes bióticos (parasitários) como bactérias, vírus ou fungos; ou abióticos (não parasitários) como alterações nas condições climáticas (temperatura, humidade, gases), deficiência de nutrientes, condições do solo (salinidade, pH), presença de substâncias tóxicas resultantes de pesticidas, entre outros [3]. Quanto ao tipo de reprodução esta pode ser sexuada e/ou assexuada (esporos e sementes) dependendo do organismo em questão. Em contrapartida, as doenças são mais difíceis de detetar e tratar, exatamente por originarem alterações a nível intrínseco. Alguns dos sintomas detetáveis podem ser [3]:

- Inchaço local anormal;
- Perda de rigidez nas folhas devido à falta de água;
- Áreas mortas;
- Desenvolvimento anormal ou mesmo inexistente;
- Manchas nas folhas ou nos frutos;
- Coloração não uniforme nas folhas;
- Mudança na estrutura da planta (mutações).

Assim, é importante ter em conta parâmetros como temperatura e humidade, maioritariamente, como forma de controlo para evitar o uso contínuo de pesticidas para combater estes obstáculos [3]. É importante salientar que nos últimos anos se tem assistido a uma redução do princípio ativo dos fitofarmacêuticos com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável, reduzindo a carga fitofarmacêutica transferidas para as culturas e solos, e consequentemente, para o ser humano. As alterações climáticas, comumente percebidas por aumento de temperatura e de alterações na quantidade, intensidade, frequência e tipo de precipitação, assim como o tipo, frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, irão ter um impacto relevante nas culturas, tanto pela disponibilidade de água e nutrientes, mas também pela influência na propagação de pragas e doenças.

Portugal, para além de ser um dos maiores produtores agrícolas, possui maior propensão a pragas e doenças devido ao seu clima mediterrâneo [3]. O maior olival do Mundo, até á pouco tempo, pertencia à empresa Sovena (Azeite Andorinha e Oliveira da Serra) do grupo Mello com

9700 hectares, situados no Alentejo [4]. Sabendo então que a olivicultura é uma das vertentes mais lucrativas a nível nacional [5], a oliveira vai ser utilizada nesta dissertação como árvore pioneira para o protótipo em estudo, constituindo este um sistema capaz de monitorizar remotamente parâmetros internos e da envolvente das árvores, com o intuito de providenciar alertas atempados do estado de saúde da cultura, e desse modo permitir ao agricultor tomar providências que conduzam a uma maior produtividade associada a uma melhor qualidade do produto.

1.2. O problema em estudo e a sua relevância

Com as variações climáticas que ocorrem ao longo do ano, em especial em épocas que experienciam temperaturas e/ou humidades relativamente elevadas, torna-se mais propício o aparecimento de vírus, bactérias e até mesmo de certas pragas prejudiciais à sobrevivência das árvores. Consequentemente, por falta de medições mais exatas e periódicas, recorre-se à utilização excessiva ou mesmo desnecessária de pesticidas.

Uma vez sobreexplorados os meios fitossanitários para manter as plantações, muitas das vezes os organismos foco do problema acabam por ganhar resistência. Isto torna a situação mais complicada, porque a forma utilizada para combater este problema passa pela utilização ainda mais intensiva de pesticidas, o que não só afeta a saúde da árvore, como vai acabar por afetar o fruto e até mesmo, posteriormente, a saúde do ser humano. Muitas vezes os efeitos podem até não ser imediatos, mas acabam por se manifestar a longo prazo. É importante salientar que cerca de 40% da produção global de alimentos perde-se devido a pragas e doenças nas plantações, pelo que se reconhece a importância da proteção fitossanitária no combate à fome, na redução da pobreza, na proteção do ambiente e no desenvolvimento económico. Dado o seu contributo para o cumprimento de objetivos preconizados para o Desenvolvimento Sustentável, a ONU designou 2020 como sendo o Ano Internacional da Fitossanidade (ONU, 2019). Assim, é do interesse não só dos agricultores como de todos nós que se revertam estes problemas. Ademais, para uma correta análise dos dados adquiridos relativos aos parâmetros internos e externos da árvore, é ainda essencial saber a diferença entre doenças e pragas, pois não só surgem com diferentes condições como provocam problemas distintos, exigindo para tal soluções específicas, o que acaba por não acontecer na maioria dos casos. Logo, o sistema desenvolvido nesta dissertação contribui para a proteção das árvores por permitir, atempadamente, atuar fitossanitariamente a quantidade e concentração adequada para erradicar a praga ou doença.

1.3. Objetivos e contribuição da dissertação

Esta dissertação tem então como objetivo suprimir a utilização excessiva de todo o tipo de elementos químicos utilizados na manutenção de uma plantação. Para tal, foi desenvolvido um protótipo que visa adquirir dados relativos a parâmetros tanto externos como também internos das árvores. O objetivo do protótipo passa então por recolher a temperatura interna e externa da árvore e a humidade do ar e do solo (na zona das raízes). Esta recolha, sendo uma forma muito mais precisa e eficaz de fazer a monitorização da plantação, pretende adquirir informação de uma forma contínua e de fácil acesso por parte do agricultor. Assim, sabendo quais as doenças e pragas características de cada árvore e em que condições atmosféricas e

físicas do meio estas aparecem, é possível atempadamente tomar providência ou encetar procedimentos que previnam o aparecimento das mesmas, tendo em conta a existência de dados muito mais fiáveis e exatos.

Para além de adquirir dados relativos aos parâmetros mais comuns, este protótipo apresenta ainda um sensor que permite detetar gases, o que acaba por ser também importante para a saúde da árvore, não só pela interferência que os gases podem ter nas trocas gasosas da mesma, como na deteção de incêndios.

Por fim, dado que quando se fala em plantações de árvores de frutos referimo-nos, na generalidade dos casos, a alguns hectares, estamos a lidar com distâncias de comunicação na ordem dos quilómetros. Assim, e de forma a permitir a monitorização remota, é necessária a implementação de sistemas de monitorização *wireless*. Entre os vários tipos de comunicação de longo alcance, a utilizada neste protótipo é a *LoRaWAN*. Esta é uma tecnologia que oferece comunicações de longo alcance, com baixas taxas de transmissão e baixos consumos energéticos.

1.4. Visão geral e organização da dissertação

Após a contextualização do problema abordado e da solução proposta no capítulo 1, a restante dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma.

O capítulo 2 descreve o estado da arte analisado no início do desenvolvimento da dissertação, onde é fornecida uma visão geral sobre doenças e pragas da oliveira e sobre as possibilidades para os componentes do protótipo.

O capítulo 3 descreve a tecnologia *Wireless* escolhida (*LoRaWAN*) com mais detalhe, explicando os conceitos base, o funcionamento e algumas necessidades particulares da mesma.

O capítulo 4 descreve o funcionamento do protótipo e os componentes selecionados no subcapítulo *hardware*, enquanto o fluxograma descritivo do funcionamento do protótipo e a aplicação desenvolvida são descritos no subcapítulo *software*.

No capítulo 5 são apresentados os ensaios efetuados e os respetivos resultados.

No capítulo 6 são enunciadas as conclusões dos resultados obtidos no decorrer da implementação prática do sistema, assim como, possíveis melhorias ou modificações para trabalho futuro.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1. Doenças e pragas da oliveira

A agricultura foi desde sempre crucial para a sobrevivência do ser humano. Contudo, com a sobreexploração de culturas e a consequente utilização de meios fitossanitários para as fazer subsistir, as pragas e os microrganismos causadores de patologia ganharam resistência, agravando a situação.

Os olivais são frequentemente afetados por um grande número de pragas e doenças responsáveis por perdas na produção de azeitonas, tanto em termos quantitativos como da qualidade e consequentemente com as naturais repercussões no azeite produzido. O combate a doenças e pragas nos olivais, na grande maioria das vezes com o recurso ao uso de pesticidas, é fundamental para assegurar a manutenção da rentabilidade e da qualidade. Sob a designação genérica de pesticidas, incluem-se uma série de substâncias de natureza química diversa, geralmente dotadas de elevada toxicidade para o homem, que apresentam distintas funções e uma ação biológica diferenciada e que podem ser classificadas, segundo diferentes critérios [3].

De forma a perceber melhor o porquê da atuação das pragas e do aparecimento das doenças na oliveira, é importante primeiro tomar conhecimento de algumas das características de uma oliveira. A oliveira vem da família das Oleáceas, e consiste numa árvore que pode atingir alturas entre 5 a 10 metros. O tronco é geralmente assimétrico e irregular e as raízes são muito fortes, estendendo-se em profundidade. Pode apresentar diversas variedades de acordo com a sua finalidade, sendo todas elas de uma forma geral tolerantes ao stress hídrico e adaptando-se bem a uma ampla gama de solos e de condições culturais, incluindo os solos ácidos e alcalinos (mas tendo preferência por calcários), siliciosos e argilosos ou ligeiramente argilosos. O pH do mesmo pode ir de 6,5 a 8,0 [6].

Quanto ao clima, as oliveiras são plantadas em regiões de clima mediterrânico, estando as temperaturas ótimas entre os 15°C e os 35°C. Apesar de suportarem temperaturas negativas, aproximadamente aos -9°C perdem a capacidade de desenvolvimento e temperaturas inferiores a -10°C podem levar à morte da oliveira se a situação não for controlada a tempo. Ou seja, a exposição solar pode e deve ser frequente, no entanto, é necessário existir um período de tempo mais frio para o desenvolvimento do fruto (necessidade de horas de frio durante o Inverno para quebra da dormência), daí não se cultivar esta árvore em climas tropicais. Quanto à humidade do ar que a envolve, esta deve ser relativamente baixa. O seu ciclo de produção começa por volta do 4º ou 5º ano e pode manter-se até aos 400 a 500 anos, apesar de depois dos 100 anos a produção começar a decair [7].

Quanto ao ciclo vegetativo, este reinicia no final do Inverno/início da Primavera. No Verão ocorre uma redução no crescimento vegetativo devido à menor atividade fotossintética durante as horas de calor mais intenso e a partir do mês de setembro a diminuição da temperatura máxima permite às plantas iniciarem o crescimento outonal. Apesar das épocas de maior crescimento vegetativo se darem no Outono e na Primavera, é nesta última que o processo é

mais intenso e vigoroso. Com a diminuição das temperaturas no final do outono, diminui também a taxa de crescimento e a oliveira entra progressivamente em repouso até à primavera seguinte [7]. A temperatura condiciona assim o ritmo de desenvolvimento floral, sendo que temperaturas mais elevadas aceleram estes processos, reduzindo a duração das fenofases da diferenciação floral e antecipando os estados fenológicos. Tendo em conta a importância destas etapas no ciclo produtivo, é desta forma essencial assegurar que os olivais não passem por stress hídrico, principalmente após Invernos ou Primaveras secas. Deste modo, o início da rega do olival em cada ano fica condicionado pela distribuição da precipitação, sendo importante o conhecimento da evolução da humidade do solo [7].

Como dito anteriormente, devido ao clima, as oliveiras no território português encontram-se muito suscetíveis a infestações por parte de pragas como a mosca da oliveira, a cochonilhas, a traça da azeitona, o gorgulho e o pulgão ou mesmo por doenças como a *xylella fastidiosa*, a gafa, tuberculose, ferrugão (infecção provocada por pragas) e olho de pavão [3].

Entre as pragas e doenças referidas, apenas as mais preocupantes serão utilizadas como exemplo, para melhor entender a problemática em questão e para possível relacionamento com o objetivo do protótipo desenvolvido nesta dissertação.

2.1.1. Mosca da oliveira

A mosca da oliveira é uma pequena mosca que em estado de larva só se alimenta de azeitonas e pode diminuir a produção das oliveiras em poucas semanas. Esta praga hiberna no estado de pupa enterrada no solo sob a copa das árvores, sendo que, em regiões de clima ameno, parte da população pode hibernar no estado adulto. A mosca no estado adulto surge na primavera, iniciando a sua atividade reprodutora assim que o desenvolvimento dos frutos o permita, normalmente a partir de junho-julho [3].

O principal sintoma encontrado são manchas escuras que aparecem na polpa da azeitona, características do buraco onde a mosca coloca os ovos. Esta praga constitui um problema muito grave para os produtores de azeite, porque destrói em média 50-60% da produção e ainda afeta a qualidade dos restantes 40%. A acidez do azeite aumenta muito, acabando na maioria dos casos por não poder ser comercializado para consumo humano [3].

Temperaturas superiores a 30°C, assim como inferiores a 15°C, não são favoráveis ao desenvolvimento da mosca e acima de 35°C levam à mortalidade nas populações da praga. Durante o Inverno, a ação combinada de temperaturas baixas e alta humidade do solo pode também causar grande mortalidade nas pupas enterradas. A mosca da oliveira procura assim os frutos mais desenvolvidos para efetuar as deposições de ovos no fim da Primavera/início do Verão e os menos maduros no fim do Outono [3]. Assim sendo, as alturas favoráveis ao desenvolvimento desta praga são aquelas em que a temperatura ambiente é amena.

2.1.2. Traça da oliveira

A traça da oliveira tem três gerações anuais, sendo que cada uma se desenvolve num órgão diferente da oliveira. A primeira geração alimenta-se dos botões florais e das flores, a segunda desenvolve-se no caroço da azeitona consumindo a semente e a terceira alimenta-se das folhas. Desta forma, as traças provenientes das lagartas surgem na primavera, a partir de fins de março, e iniciam a deposição dos ovos nos botões florais. De seguida, as lagartas resultantes invadem os botões florais alimentando-se das flores e desenvolvendo-se até uma fase adulta

que aparece a partir de maio/junho e que se deposita nos frutos. Por fim, as lagartas desenvolvem o seu estado de pupa nas folhas para mais tarde, já no seu estado de traça, se alimentarem destas [3], [8].

De acordo com o estágio em que esta praga se encontra, também variam as suas condições de sobrevivência. Os ovos são sensíveis, tanto a baixas como a altas temperaturas, acompanhadas de baixa humidade relativa. Assim, humidades relativas inferiores a 50% causam grande mortalidade nos ovos. Também com humidades relativas superiores a 70% e temperaturas superiores a 30°C, os ovos sofrem elevada mortalidade. As larvas também são afetadas principalmente pelas altas temperaturas e baixas humidades. As larvas recentemente eclodidas sofrem uma grande mortalidade com temperaturas acima dos 30°C, assim como, o seu desenvolvimento diminui com temperaturas inferiores a 7°C. Os adultos diminuem a sua atividade com temperaturas inferiores a 10°C [3].

Os maiores estragos acontecem durante a fase de traça desta praga, uma vez que esta se alimenta de folhas comprometendo a área fotossintética e por sua vez o crescimento da planta. No entanto, também é possível detetar pequenos furos no fruto como consequência da inserção dos ovos pela traça [3].

2.1.3. *Xylella Fastidiosa*

A *Xylella Fastidiosa* trata-se de uma das bactérias mais perigosas para uma oliveira que chegou recentemente a Portugal. A sua transmissão pode ser por meio de insetos que se alimentam da planta [9]. A bactéria prolifera pela planta através dos vasos do xilema, bloqueando o transporte de nutrientes e água, podendo, no entanto, os sintomas demorar entre meses a anos a se manifestarem [9], [10]. Um dos sintomas visível é quando as folhas murcham e caem dos ramos [9].

As temperaturas propícias ao seu aparecimento encontram-se entre os 25°-32°C, sendo que temperaturas abaixo dos 12°C e acima dos 34°C são prejudiciais para o desenvolvimento da bactéria [10], [11].

2.1.4. Gafa

Ocasionada pelo fungo *Colletotrichum*, esta doença manifesta-se em zonas húmidas, sendo que o fungo ataca o próprio fruto. O fungo permanece nos frutos caídos no solo durante o Inverno, reiniciando a sua atividade quando existem condições propícias, como humidade relativa superior a 90% e temperaturas entre os 20-25°C. Para a germinação dos esporos é necessária a presença de água e é tanto mais rápida quanto mais elevada for a temperatura, dando-se o desenvolvimento do fungo a 25°C [3].

Zonas com pouca drenagem do solo são também mais propícias ao desenvolvimento da doença, assim como rega em excesso e má drenagem atmosférica como copas densas, fechadas e mal iluminadas. Outros fatores que favorecem o desenvolvimento da gafa são o grau de maturação do fruto e o ataque da mosca da oliveira (deixa orifícios que constituem uma boa entrada para o fungo) [3].

Reconhece-se pelo aparecimento de manchas castanhas que nascem no interior da azeitona, e que acabam por segregar um líquido cor de laranja de textura viscosa. Os prejuízos causados pela gafa refletem-se na quantidade e qualidade da produção que se veem reduzidas [3].

2.1.5. Tuberculose

Esta doença consiste numa das mais frequentes da oliveira. A sua origem reside numa bactéria conhecida como *Pseudomonas savastanoi* que se encontra quase sempre presente em vários órgãos da oliveira, especialmente na folhagem. A bactéria penetra pelas feridas provocadas por cortes acidentais, nomeadamente os provocados pelo granizo, poda e varejamento, assim como por feridas provocadas pela queda natural das folhas e resultantes do ataque de insetos (por exemplo da mosca da oliveira) [3].

Uma vez infetadas, as árvores desenvolvem tumores e nódulos em qualquer órgão da planta, devido a um desenvolvimento hipertrófico e hiperplásico resultante do aumento da produção de ácido e citoquininas sintetizadas pela bactéria. Estes tumores bloqueiam a circulação da seiva levando à morte de certos ramos da oliveira [3].

Os períodos de maior risco de infeção são durante os meses de Primavera e Outono, uma vez que as condições de temperatura e humidade são favoráveis à propagação da bactéria [3].

Alguns dos fatores favoráveis ao aparecimento desta doença, para além dos fatores de natureza climática são o granizo; as geadas tardias; ventos; olivais com fertilização excessiva sobretudo em azoto; solos ácidos, húmidos e mal drenados e o varejamento [3].

2.2. Patentes

De forma a perceber quais as características desejadas para o protótipo desenvolvido nesta dissertação, foi feita uma pesquisa de eventuais produtos já existentes para colmatar problemas nesta área. Contudo, ainda não existem muitos estudos direcionados a este fim.

De seguida são apresentados alguns dos projetos já desenvolvidos.

2.2.1. Dispositivo e método para avaliação da saúde de uma árvore

Este projeto visa o desenvolvimento de um sistema de examinação capaz de criar uma imagem termográfica de uma árvore (temperatura superficial) por forma a permitir a deteção de problemas internos à mesma. Esta imagem permite, eletronicamente, diferenciar áreas individuais de uma área total captada de acordo com as diferenças de temperatura. Os pixéis nas áreas consideradas danificadas são colorados de outra cor de forma a diferenciá-las de áreas adjacentes consideradas normais. É ainda possível calcular a área de cada secção a cortar assim como a sua densidade. Assim, estas imagens servem de “mapa” para que seja possível cortar ou aparar a árvore no local correto, como o exemplo da figura 2.1 [12].

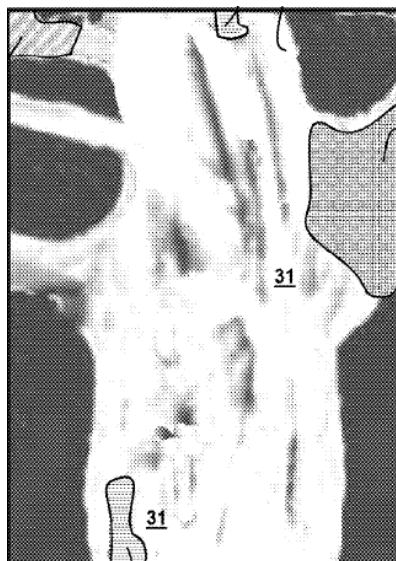


Figura 2.1- Imagem termográfica do interior de uma árvore [12].

Para obter a imagem é utilizado um *drone* que, posteriormente, envia o sinal com a informação que formará a imagem para um computador dotado da capacidade de fazer a análise da mesma. Este computador, por sua vez, vai estar ligado a uma rede que contém a base de dados que permite fazer a comparação entre os dados obtidos e imagens standard. Assim, recorrendo aos dados da temperatura e da densidade de cada zona da árvore e comparando-os com a base de dados, é feita a atribuição das cores a cada pixel e formada a imagem final [12].

Sabendo que as árvores, quando comparadas com outros seres vivos, apresentam baixo metabolismo energético, sempre que uma área estiver danificada vai apresentar um baixo fluxo de absorção de calor e, como tal, na imagem vão aparecer zonas com uma coloração característica de uma zona mais fria [12].

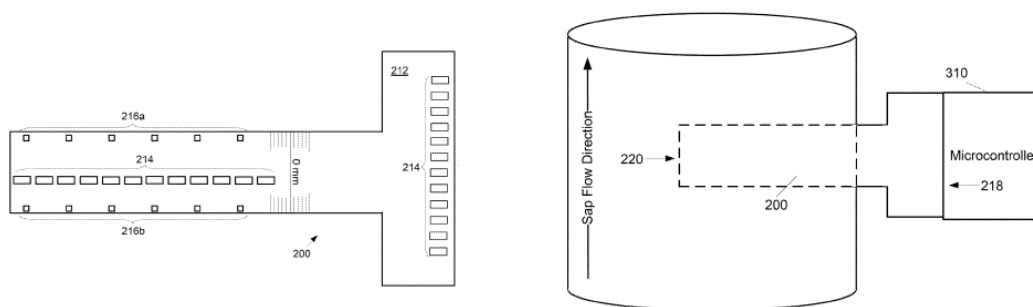
2.2.2. Sensor de uma só placa para medição de fluxo de seiva

Este projeto tem como objetivo a medição do fluxo de seiva de uma árvore. Para tal, tem na sua constituição sensores de temperatura e elementos de aquecimento entre estes sensores, conforme representado na figura 2.2 a) [13].

A taxa de biomassa produzida pelas árvores a partir do processo de fotossíntese, ou seja, a partir de água, dióxido de carbono e luz solar, é um dos fatores cruciais no estudo da saúde das plantas. Esta taxa de produção de biomassa é denominada de produtividade, que por sua vez pode ser determinada através da medição do consumo de água feito pela própria árvore. Sabendo que a água flui das raízes para as folhas sobe a forma de seiva, o estudo do fluxo da seiva ao longo da árvore é uma das técnicas possíveis para a determinação da produtividade [13].

Neste projeto é aplicado um método termodinâmico que recorre ao calor para quantificar a taxa de fluxo de seiva e consequentemente de água através do xilema. Envolve a inserção de uma placa com sensores de temperatura e elementos de aquecimento embutidos ao longo da mesma, como visualizado na figura 2.2 B) [13].

Inicia-se o processo com a aplicação de um estímulo à sonda de aquecimento criando um pulso de calor. Este calor é difundido pela árvore e são detetados os comportamentos da mesma pelas sondas de medição de temperatura. Assim, a taxa de fluxo de seiva pode ser deduzida pela diferença de temperatura entre os sensores de medição [13].



a) Representação do sensor de medição do fluxo de seiva.

b) Representação da implementação do sensor.

Figura 2.2- Sensor de uma só placa para medição de fluxo de seiva [13].

2.2.3. Nota conclusiva

Algumas das vantagens da patente relativa ao dispositivo e método para avaliação da saúde de uma árvore são a capacidade de obter informações da temperatura de zonas muito interiores na árvore e o facto de obter essas informações de zonas mais difíceis de alcançar pelo ser humano. No entanto, pode-se apontar como desvantagens o facto de apenas conseguir analisar uma árvore de cada vez e o tempo que demora a retirar e enviar os dados das imagens de diversos ângulos para posterior formação da imagem completa.

Relativamente à patente do sensor de uma só placa para medição de fluxo de seiva, pode-se apontar como vantagem a sua capacidade para medir um parâmetro complexo, fluxo de seiva, a partir da água presente no mesmo. Contudo, ainda apresenta algumas desvantagens como a possível inserção incorreta do aparelho na árvore que pode levar à danificação de um tubo capilar e o dispêndio de energia por parte do dispositivo, uma vez que este vai apresentar um número considerável de sensores.

Ambos os métodos apresentam boas características, no entanto apenas fazem a medição de um parâmetro e falham no método de comunicação dos dados.

2.3. Dispositivos comerciais para medição de parâmetros das árvores

2.3.1. Sensor de temperatura interna

Desde os tempos mais remotos que a temperatura consiste numa das variáveis mais importantes aquando do estudo nas mais diversas áreas, sendo um parâmetro transversal e de importância redobrada em todos os setores [14].

Para a medição da temperatura existem vários aparelhos que são seleccionados de acordo com os requisitos da aplicação em causa, gama de temperaturas, precisão, velocidade de resposta e os custos. Entre os mais utilizados encontram-se os seguintes:

- Termorresistências
- Termopares
- Termístores

2.3.1.1. Termorresistências

As termorresistências são dispositivos de metal puro ou ligas metálicas à base de níquel ou cobre, que permutam a resistência com a variação da sua temperatura. Apresentam maior estabilidade e precisão quando comparados com os termopares, no entanto, acabam por ser mais caras e deteriorar mais rapidamente quando expostas por longos períodos a altas temperaturas [15].

2.3.1.2. Termopares

Os termopares são dispositivos conhecidos por funcionarem de acordo com o *Efeito de Seebeck*. Segundo este efeito, a geração do efeito termoelétrico é possível a partir da junção de dois metais distintos que leva ao aparecimento de uma diferença de potencial aos terminais, de acordo com os metais em questão e da temperatura a que estes se encontram expostos [15].

Uma das suas grandes características é o facto de suportarem altas temperaturas durante o seu funcionamento. No entanto, apresentam comportamento não linear, dificultando assim a sua implementação [15].

2.3.1.3. Termístor

Um termístor consiste numa resistência feita de cerâmica ou de um polímero, que tem como princípio de funcionamento a alteração do valor da resistência com a mudança na temperatura. Existem dois tipos de termístor que se distinguem entre si pelo seu coeficiente, ou seja, pelo aumento ou diminuição da sua resistência elétrica. Se o coeficiente for positivo denominam-se de PTC (*Positive Temperature Coefficient*), caso contrário, se apresentar um coeficiente negativo, denominam-se de NTC (*Negative Temperature Coefficient*) [15].

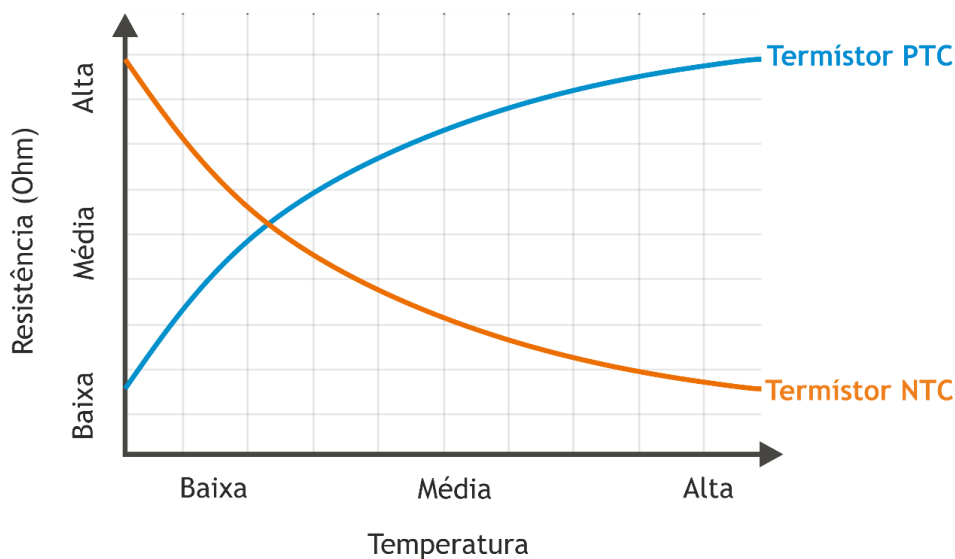


Figura 2.3 - Curvas características de um termistor NTC e de um Termistor PTC.

O termistor PTC é normalmente utilizado como um limitador de corrente, deixando passar corrente até um valor limite a partir do qual, com o aumento consequente da temperatura, aumenta o valor da resistência. Quanto aos seus limites, estes conseguem atuar entre -60°C a 15°C e 0.5Ω a $0.15\text{m}\Omega$. O termistor NTC consiste numa resistência sensível à temperatura e, portanto, variável com a mesma de forma inversamente proporcional [15]. A partir da análise da figura 2.3 pode-se verificar a variação da resistência de cada um dos dois tipos de termistor com a variação da temperatura.

Comparando os diferentes tipos de sensores de temperatura referenciados na literatura, os termístores mostram ser um bom sensor para aplicações que exigem altas sensibilidades, custos mais acessíveis e para aplicações que visam a miniaturização [14].

Quando comparados com os termístores, os termopares apresentam menor sensibilidade e precisão e a sua gama de resposta encontra-se apenas na gama do milivolt, requerendo posterior amplificação. Relativamente às termorresistências, estas apresentam um tempo de resposta geralmente mais lento, menor sensibilidade e menor precisão em comparação com os termístores [14].

2.3.2. Sensor de humidade

A utilização de aparelhos para monitorização da humidade do solo é desde há muito considerado um método essencial para controlar sistemas de rega de plantações, uma vez que este é um dos fatores fulcrais para o desenvolvimento da planta.

Hoje em dia existem diversos aparelhos de medição da humidade do solo que apresentam características distintas de acordo com os requisitos pretendidos. Podem ser encontrados sensores para monitorizações a maiores profundidades, no caso de plantas com raízes mais profundas como a maioria das árvores, ou para medições de plantas mais pequenas e por isso com raízes mais superficiais, como morangueiros, tomateiros e plantações de frutos silvestres. Além disso, os aparelhos existentes também diferem uns dos outros no método como fazem a recolha de informação.

Desta forma, alguns dos dispositivos comerciais mais utilizados nos dias de hoje para a monitorização da humidade do solo são os higrómetros, o sensor WET e o sensor SM150T para alcances de poucos centímetros e, para maiores alcances, a sonda PR2 que permite medições até 1 metro.

A base de funcionamento de um higrómetro e de um sensor WET é a condutividade elétrica, tornando por isso a utilização destes aparelhos e a interpretação dos resultados obtidos muito mais fácil para o utilizador. Já a sonda PR2 recorre à emissão de campos eletromagnéticos para obter os dados relativos à humidade do solo.

2.3.3. Sensor de temperatura e humidade

Para realizar medições de temperatura e humidade do ar em simultâneo existem atualmente diversos sensores que se baseiam na combinação de um sensor de temperatura com um sensor de humidade. Alguns dos mais utilizados devido ao seu baixo custo e fácil implementação são a família SHT1x e a família DHTxx, sendo DHT11 e DHT22 os mais populares.

2.3.3.1. SHT1x

O sensor SHT1x faz parte da família de sensores de humidade e temperatura SHTxx. Tem na sua constituição um sensor capacitivo para medição da humidade relativa e um sensor resistivo para medição da temperatura. Estes sensores são acoplados a um conversor analógico para digital de 14 bits, o que fornece uma melhor amostragem de sinal, tempos de resposta mais curtos e baixa sensibilidade a interferências externas [16].

Existem algumas variantes deste sensor como a versão *low-cost* SHT10, a versão standard SHT11 e a de alta qualidade SHT15 [16]. Na tabela 2.1 é possível ver algumas das especificações técnicas desta série de sensores.

Tabela 2.1 - Especificações técnicas do SHT1x [16].

Parâmetro	Valor
Humidade relativa (faixa de medição)	0% a 100%
Temperatura (faixa de medição)	-40 °C a 125 °C
Precisão (medição da humidade)	±4,5% HR
Precisão (medição da temperatura)	±0,5 °C
Alimentação do sistema	2,4V a 5,5V
Tempo de resposta	8 segundos

2.3.3.2. DHTxx

A série de sensores DHT é uma das mais utilizadas para a medição simultânea da humidade e da temperatura. Este tipo de sensores tem por base a transmissão de um sinal digital para um microcontrolador correspondente aos valores de temperatura e humidade medidos [17], [18].

Regra geral, estes sensores apresentam um sensor de humidade capacitivo, um termistor e um conversor analógico para digital no seu interior. O seu *output* consiste em quatro pinos em linha análogos a todos os sensores DHT [17], [18].

Após serem recolhidos os dados pelos sensores, é enviado um sinal digital para um microcontrolador que irá avaliar os valores recebidos de acordo com limites pré-estipulados [17], [18].

Fazem parte da série DHT os seguintes modelos: DHT11 ou RHT01, DHT21 ou RHT02, DHT22 ou RHT03, DHT33 ou RHT04 e DHT44 ou RHT05. Como exemplo, na tabela 2.2 são apresentadas algumas das especificações técnicas características dos sensores DHT11, DHT21 e DHT22.

Tabela 2.2 - Especificações técnicas dos sensores DHT11, DHT21 e DHT22 [17], [18].

Parâmetro	DHT11	DHT21	DHT22
Humidade relativa (faixa de medição)	20% a 80%	0% a 99,9%	0% a 100%
Temperatura (faixa de medição)	0°C a 50°C	-40°C a 80°C	-40°C a 80°C
Precisão (medição da humidade)	±5,0% HR	±3,0% HR	±2,0% HR
Precisão (medição da temperatura)	±2,0°C	±0,3°C	±0,5°C
Alimentação do sistema	3,3V a 5,5V	3,3V a 5,5V	3,3V a 6,0V
Corrente	Medição: 0,5mA a 2,5mA Stand by: 100 µA a 150 µA	Medição: 1,3mA a 2,1mA Stand by: 15 µA	Medição: 1,0mA a 1,5mA Stand by: 40µA a 50µA
Tempo de medição	1 segundo	2 segundos	2 segundos

2.3.4. Sensor de gases

Para a deteção da concentração de gases presentes no ar envolvente da árvore existem diversos aparelhos comerciais. Estes, por sua vez, podem ser classificados como sensores catalíticos, semicondutores, infravermelhos e eletroquímicos, de acordo com o seu princípio de funcionamento [19]-[22].

Um sensor catalítico é constituído por uma bobina de fio de platina aquecida eletricamente e revestida com uma base de cerâmica constituindo o elemento catalítico. Um gás combustível ao entrar em contato com o elemento catalítico (que se encontra quente) origina uma combustão e o calor resultante deste processo vai aumentar a temperatura do elemento catalítico que, conseqüentemente, altera a resistência da bobina. É esta diferença entre o valor inicial da resistência e o valor da mesma depois da combustão que permite determinar a concentração de gás na atmosfera envolvente da árvore, uma vez que têm uma relação diretamente proporcional. Este tipo de sensor é dos mais utilizados por ser de baixo custo e possuir uma grande diversidade de variantes para inúmeros tipos de gás. No entanto, sofre de um condicionamento que é a possível inibição temporária do sensor por parte de determinadas substâncias químicas como os halogénios presentes em extintores de incêndio [20], [21].

Quanto aos sensores semicondutores, estes são compostos por uma camada de óxido de metal fino, normalmente metais de transição ou metais pesados, depositada sobre uma camada de silício. A superfície do sensor é aquecida a uma temperatura constante e elevada de forma a que, após o contacto entre o gás presente no ar e o sensor, origine uma oxidação deste último. Esta oxidação, tal como acontece no caso dos sensores catalíticos, vai levar à mudança do valor da resistência do óxido de metal, podendo relacionar-se de forma direta esta mudança com a concentração de gás no ar ambiente. Estes sensores diferem dos sensores anteriormente descritos não só no material constituinte como também nos gases que permitem detetar. Apesar

de ser sensível a concentrações muito pequenas de gás, acaba por ter como desvantagem o facto de poder ser facilmente afetado por variações de temperatura e humidade atmosféricas [20]-[22].

Como é sabido, cada gás detém um espectro de absorção de radiação infravermelha característico. Assim, tendo por base este princípio foram desenvolvidos os sensores infravermelhos. Tendo na sua constituição um emissor e dois sensores de radiação infravermelha para comprimentos de onda diferentes, o ar ao passar dentro da superfície do sensor vai ser incidido pela radiação infravermelha e vai emitir um sinal detetado por um dos sensores sempre que se tratarem das partículas de gás alvo e outro sinal detetado pelo outro sensor sempre que incidir nas moléculas de gás não alvo. Desta forma, é através da diferença na intensidade do sinal detetado pelos dois sensores que se consegue determinar a concentração do gás alvo. Como vantagens apresentam uma rápida capacidade de resposta e um elevado tempo de vida útil, mas, no entanto, o preço é muito mais elevado, não permite detetar gases inflamáveis e apresenta uma elevada interferência com vapor de água [19], [21].

Por fim, os sensores eletroquímicos baseiam-se em reações redução-oxidação (redox). Como tal, contém dois eléctrodos imersos num eletrólito, tudo dentro de um invólucro poroso de maneira a que o gás possa entrar. Este, ao entrar em contacto com os eléctrodos vai levar à ocorrência da reação redox, tendo como resultado uma diferença de potencial aos terminais dos eléctrodos e a geração de uma corrente ao longo dos mesmos. Assim, a concentração do gás vai ser linear à corrente gerada pelo processo. Apresenta como desvantagens o facto de a velocidade das reações químicas ser afetada pela temperatura e ser sempre necessária uma pequena quantidade de oxigénio para que se dê a reação. Em contrapartida, tem uma durabilidade de pelo menos dois anos e uma grande diversidade de aplicações [20], [22].

Comercialmente alguns dos mais utilizados são o *Grove* (MH-Z16) para deteção de dióxido de carbono a partir de infravermelhos, o HCHO-WSP2110 que permite detetar Metanol, Benzeno, Álcool e Acetona sendo um sensor semiconductor, o *Grove* (PM2.5-HM3301) para a deteção a laser de poeira e a família de sensores MQ que são sensores catalíticos.

Os sensores de gás MQ são então dos mais utilizados, não só pelo seu baixo custo, mas também por permitirem a deteção de uma ampla gama de gases e consequentemente terem uma grande aplicabilidade. Posto isto, pode ver-se na tabela 2.3 alguns dos sensores desta família bem como os respetivos gases que identificam.

Tabela 2.3 - Sensores da família MQ [21].

Nome do Sensor	Sensibilidade a
MQ-2	Gases inflamáveis: GPL, Metano, Propano, Butano, Hidrogénio, Álcool, Gás Natural e fumo.
MQ-3	Álcool, Etanol e fumo.
MQ-4	Metano, Propano e Butano.
MQ-5	GPL e gás natural.
MQ-6	GPL, Propano, Isobutano e Gás Natural Liquefeito.
MQ-7	Monóxido de Carbono.
MQ-8	Hidrogénio.
MQ-9	Monóxido de Carbono e gases inflamáveis.
MQ-131	Ozono.
MQ-135	Amoníaco, Óxido Nítrico, Álcool, Benzeno, Dióxido de Carbono e Fumo.
MQ-136	Sulfeto de Hidrogénio.
MQ-137	Amoníaco.
MQ-138	n-hexano, benzeno, NH ₃ , álcool, fumo, CO.

2.4. Produção Fotovoltaica

2.4.1. Princípio de funcionamento de um painel fotovoltaico

Um painel fotovoltaico é constituído, como se apresentado na figura 2.4, por células fotovoltaicas de silício agrupadas em módulos associados em série e/ou paralelo, a fim de se conseguir aumentar a potência máxima disponível no painel fotovoltaico [23].

Para que seja possível fazer a extração de energia a partir do painel fotovoltaico é essencial ter conhecimento sobre o que é o efeito fotoelétrico. Este efeito ocorre quando há uma diferença de potencial aos terminais de um semicondutor, gerada sempre que este se encontre exposto a radiação solar. Ou seja, quando os fotões provenientes da radiação solar atingem a superfície de um semicondutor com energia suficiente para a libertação de eletrões deste último, um dos eletrões de valência absorve a energia do fotão e salta para a banda de energia acima, deixando a banda de valência vazia (espaço ao qual se chama de lacuna). O eletrão e a lacuna assumem carga negativa e positiva, respetivamente, criando um par eletrão/lacuna no semicondutor que leva à produção de corrente elétrica e consequentemente de energia elétrica [24].

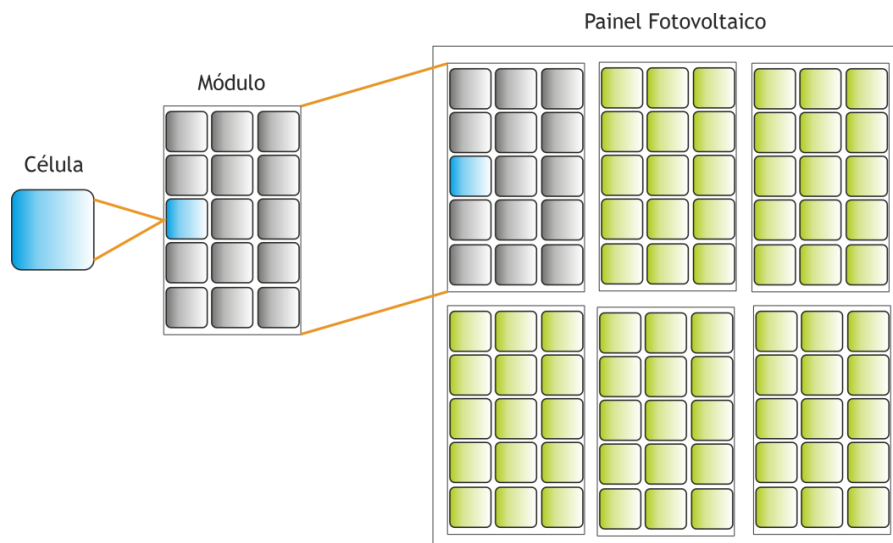


Figura 2.4 - Representação da composição de um painel fotovoltaico.

Contudo, para um melhor entendimento deste processo é apresentada a figura 2.5. Nesta figura é possível verificar que o painel fotovoltaico possui na sua constituição dois tipos de silício alterado, o do tipo n (carregado negativamente) e do tipo p (carregado positivamente). Superiormente e inferiormente às células fotovoltaicas está colocado um metal condutor, com algumas “fissuras” no metal superior para deixar passar a radiação solar. Esta ao atingir o silício, faz ocorrer o efeito fotoelétrico levando à circulação dos elétrons no contacto superior e à circulação das lacunas no contacto inferior (base). Com isto, gera-se uma diferença de potencial entre os dois contactos, produzindo assim uma tensão elétrica [24].

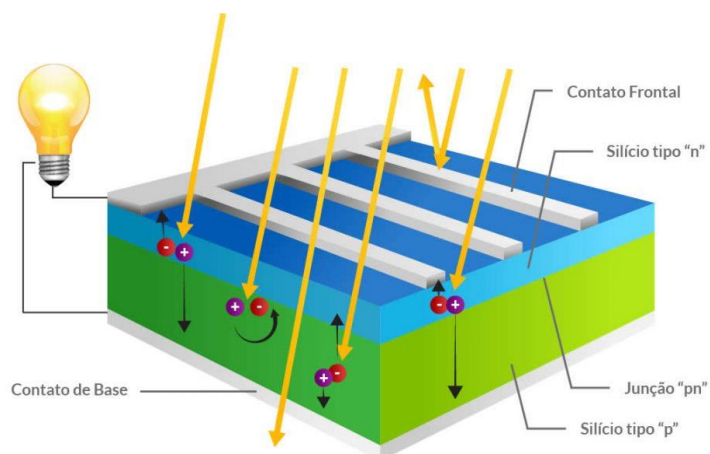


Figura 2.5 - Efeito fotoelétrico num painel fotovoltaico.

Contudo, é ainda importante perceber a relação que a temperatura e/ou a irradiância incidentes nas células fotovoltaicas têm na potência de saída do painel fotovoltaico. Esta relação, por sua vez, pode ser analisada recorrendo ao gráfico da curva corrente-tensão (I-V) ou potência-tensão (P-V), características de cada painel [23], [25]-[27]. Assim, sabendo que a energia produzida pelo painel fotovoltaico depende da temperatura e da irradiância que incide no mesmo, bem como das características elétricas da célula fotovoltaica, pode-se considerar que a eficiência máxima do sistema é obtida quando se mantém o ponto de operação no

denominado ponto de máxima potência (MPP - *Maximum Power Point*). Por sua vez, de modo a que a extração fotovoltaica funcione sempre no MPP durante a operação do dispositivo, são geralmente utilizados algoritmos de procura do ponto de máxima potência (MPPT - *Maximum Power Point Tracking*) [19], [22]-[24].

Em suma, para que seja possível obter conhecimento sobre o desempenho do painel fotovoltaico a utilizar, é necessário ter em conta os três aspetos referidos anteriormente:

- A associação das células do painel fotovoltaico;
- A análise das curvas I-V e P-V;
- O MPPT a utilizar.

2.4.2. Associação em série

Normalmente, um conjunto de células ligadas em série denomina-se *string*. Neste tipo de associação é importante utilizar células do mesmo tipo numa *string* de forma a minimizar perdas de potência do sistema [23].

A corrente de curto-circuito da associação de por exemplo três módulos ligados em série mantêm-se inalterada, já a tensão de circuito-aberto é três vezes superior, como se pode observar nas equações seguintes [23].

$$V_1 = V_2 = V_3 = V \quad (2.1)$$

$$V_{OC} = V_1 + V_2 + V_3 = 3 \times V \quad (2.2)$$

$$I_{SC} = I_1 = I_2 = I_3 \quad (2.3)$$

Para proceder à correta ligação neste tipo de associação em série, os contactos frontais de cada célula são soldados aos contactos posteriores da seguinte, de forma a ligar o polo negativo ao polo positivo da célula seguinte. Na figura 2.6 são ilustradas as curvas I-V para uma associação de três células em série [23].

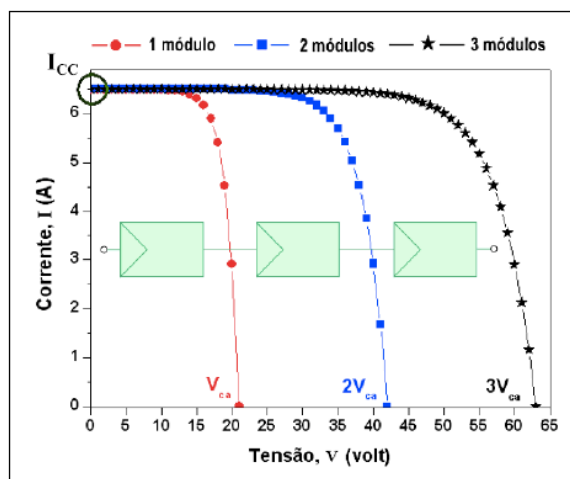


Figura 2.6 - Associação em série com as respectivas curvas I-V [23].

2.4.3. Associação em paralelo

Este tipo de associação é normalmente utilizada nos sistemas autónomos, no sentido de obter correntes mais elevadas. Aqui a tensão em circuito-aberto da associação de, por exemplo, três módulos em paralelo, mantém-se inalterada e a corrente de curto-circuito é três vezes superior, como se pode observar nas equações seguintes [23].

$$I_1 = I_2 = I_3 = I \quad (2.4)$$

$$I_{SC} = I_1 + I_2 + I_3 = 3 \times I \quad (2.5)$$

$$V_{OC} = V_1 = V_2 = V_3 \quad (2.6)$$

Para proceder à correta ligação neste tipo de associação em série, os contactos frontais de cada célula são soldados ao mesmo fio condutor que os contactos frontais das restantes células assim como os contactos posteriores de cada célula são soldados ao mesmo fio condutor que os das restantes células, de forma a ligar os polos negativos num lado e os polos positivo do outro de todas as células. Na figura 2.7 são ilustradas as curvas I-V para uma associação de três células em paralelo [23].

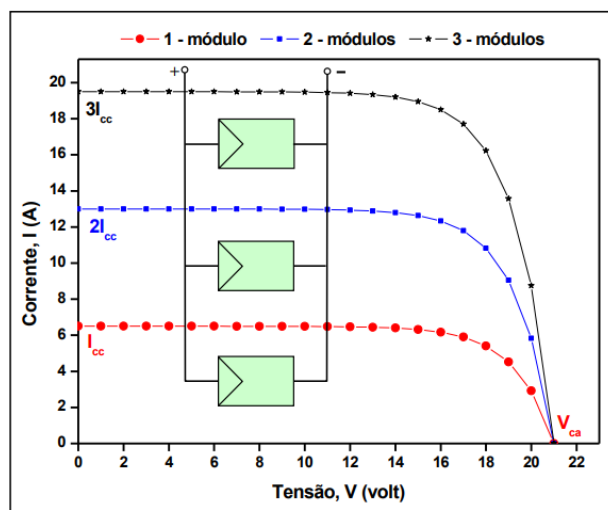


Figura 2.7 - Associação em paralelo com as respectivas curvas I-V [23].

2.4.4. Associação mista

Neste tipo de associação n strings de m módulos em série são ligadas em paralelo. Importa referir que, as strings têm de ter o mesmo número de módulos e estes têm de ser do mesmo tipo e ter as mesmas características (tensão, corrente e potência). Com esta associação obtêm-se as características das associações em série e em paralelo conseguindo-se obter valores mais elevados de corrente e de tensão. Na figura 2.8 são ilustradas as curvas I-V para uma associação mista de três strings, de três células cada, em paralelo [23].

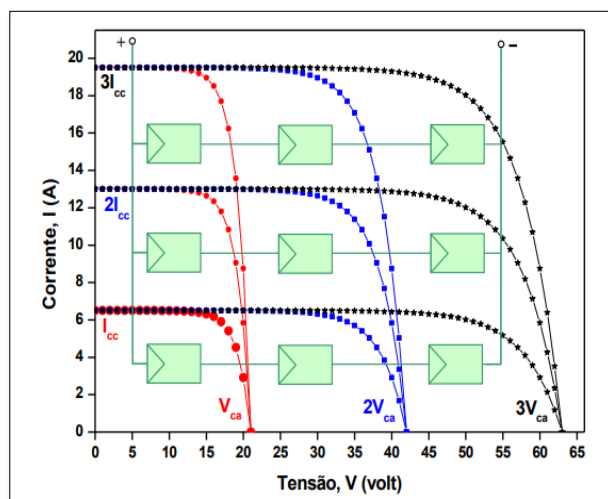


Figura 2.8 - Associação mista com respectivas curvas I-V [23].

2.4.5. Curvas I-V e P-V com base na variação da irradiância e da temperatura

Para entender/prever o comportamento de um painel fotovoltaico exposto a condições atmosféricas variáveis, é importante ter conhecimento sobre as suas curvas características de corrente-tensão (I-V) e potência-tensão (P-V). Estas curvas descrevem o funcionamento destes dispositivos de acordo com as condições de irradiância e temperatura a que estão sujeitos e têm em conta, para tal, o ponto de curto-circuito, o ponto de circuito-aberto e o ponto de máxima potência [25], [30].

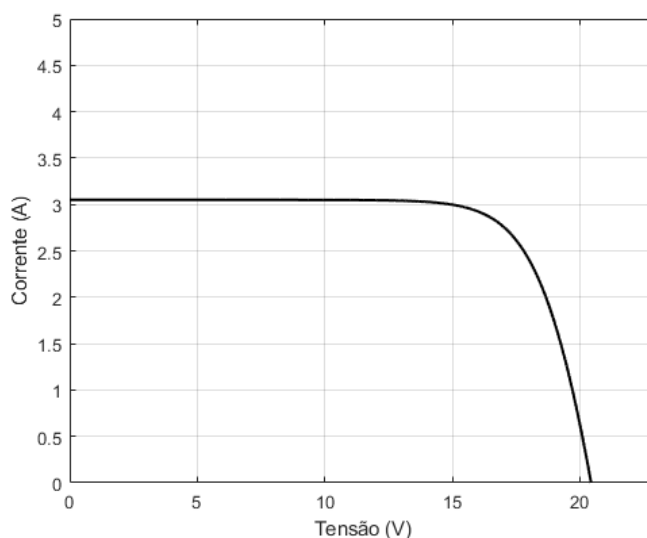


Figura 2.9 - Curva I-V característica de um painel fotovoltaico.

Na figura 2.9 pode-se analisar um exemplo de representação gráfica geral de uma curva I-V de um painel fotovoltaico [30].

O mesmo se verifica na figura 2.10, apenas com a diferença de que neste caso é exposto um gráfico da variação da potência em função da tensão (curva P-V) e o ponto de máxima potência (MPP).

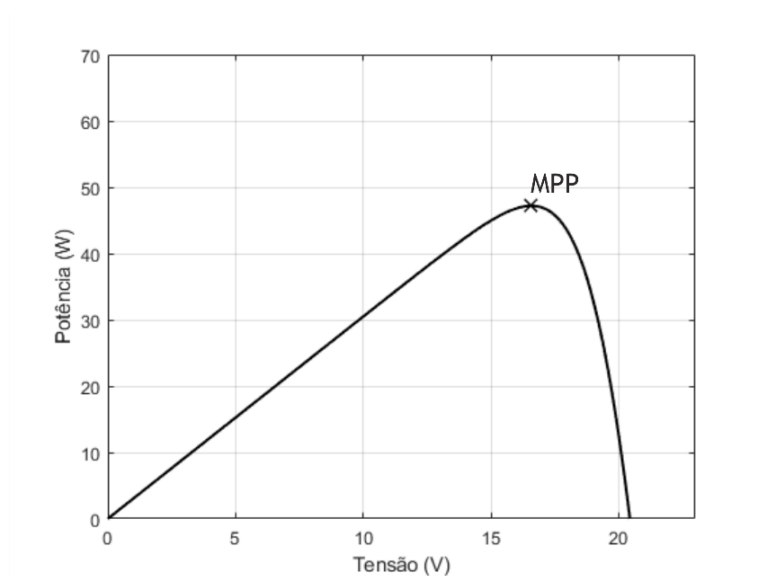


Figura 2.10 - Curva P-V característica de um painel fotovoltaico.

Contudo, tal como referido acima, dois dos fatores que interferem com o funcionamento dos dispositivos fotovoltaicos são a intensidade da radiação solar que atinge o painel e a temperatura a que estes estão sujeitos. Deste modo, observando a figura 2.11 constatamos que, sempre que há um aumento na irradiância para uma mesma temperatura, neste caso um aumento de 200W/m^2 para 400W/m^2 para 600W/m^2 e assim sucessivamente, a corrente de curto circuito (I_{sc}) vai sofrer uma alteração nos seus valores para valores também superiores. Se por outro lado a irradiância estivesse a diminuir, os valores de I_{sc} também iriam diminuir [20], [24].

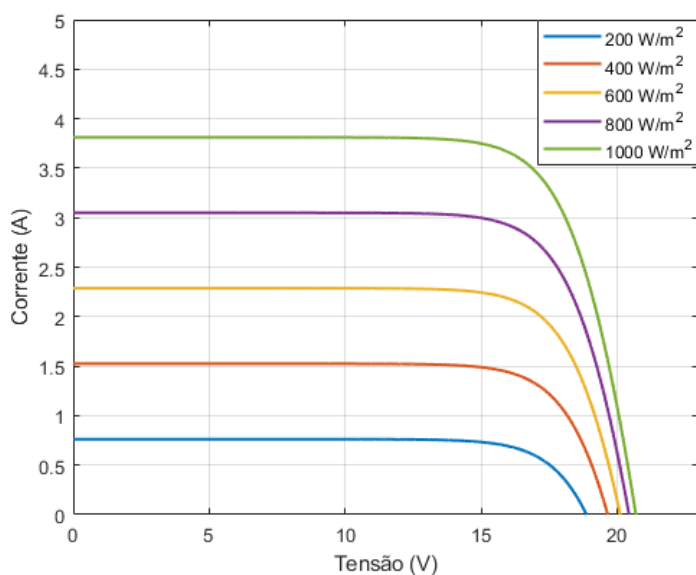


Figura 2.11 - Influência da irradiância na curva I-V das células fotovoltaicas.

Quanto à curva característica da potência em função da tensão (P-V), verifica-se a mesma condição que para o gráfico anterior. Sempre que se der um aumento da irradiância sobre o painel fotovoltaico, vai haver um aumento da potência produzida pelo painel para valores de tensão muito próximos [25], de acordo com a fórmula 2.7, pois neste caso é a corrente que é influenciada pela irradiância.

$$P = I \times V \quad (2.7)$$

Na figura 2.12 pode-se visualizar a influência da irradiância na curva P-V de um painel fotovoltaico.

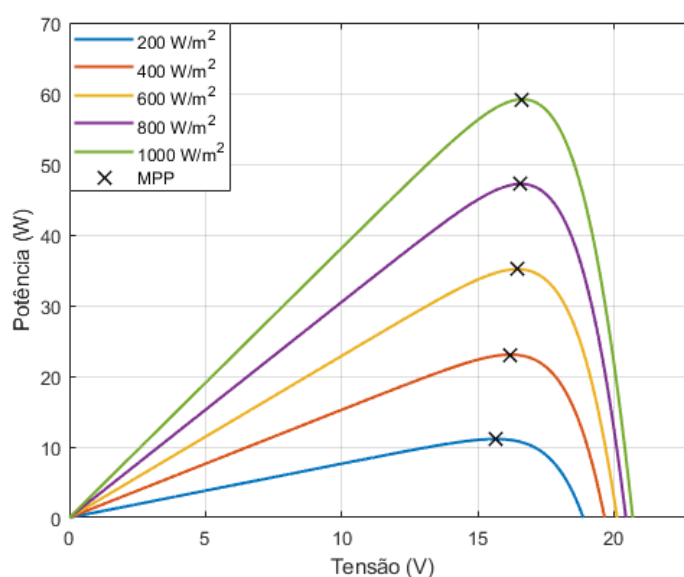


Figura 2.12 - Influência da irradiância na curva P-V das células fotovoltaicas.

No entanto, quando se dão alterações na temperatura, para um mesmo valor de irradiância, o fator alterado é a tensão. Na figura 2.13 pode-se verificar uma diminuição na temperatura com o conseqüente aumento da tensão [30].

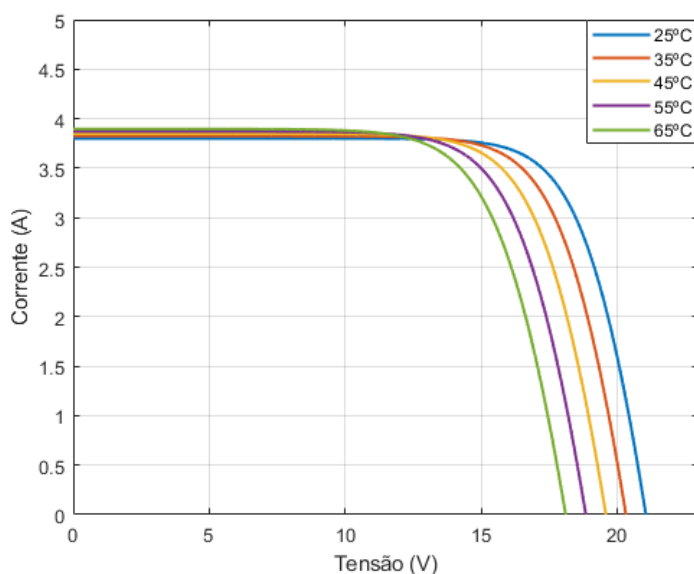


Figura 2.13 - Influência da temperatura na curva I-V das células fotovoltaicas.

Mais uma vez, indo ao encontro da fórmula 2.7 para auxiliar a análise da figura 2.14, pode-se verificar que com um decréscimo no valor da temperatura, consegue-se obter potências mais elevadas, pois a temperatura influencia a tensão [25].

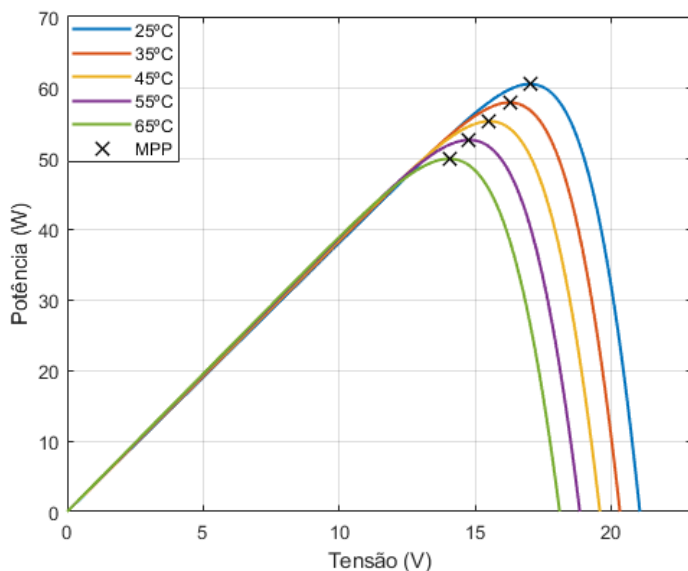


Figura 2.14 - Influência da temperatura na curva P-V das células fotovoltaicas.

Assim, pode-se concluir que a corrente produzida é diretamente dependente da irradiância que incide nas células fotovoltaicas, enquanto a tensão é inversamente dependente da temperatura.

É importante saber analisar estes gráficos, pois existe um ponto, como se viu ao longo dos gráficos anteriores, que caracteriza o ponto de máxima potência (MPP) produzida a cada

instante pelo painel fotovoltaico [19], [21], [24]. Relativamente ao primeiro caso, quando existem alterações na irradiância, irá existir, conseqüentemente, uma alteração do MPP diretamente proporcional. Se a alteração for ao nível da temperatura, esta relação temperatura-MPP vai ser inversamente proporcional [19], [24].

Outra conclusão a que se pode chegar, observando as figuras 2.12 e 2.14, é que alterações na irradiância levam a uma maior discrepância dos valores de potência do painel fotovoltaico [19], [21], [24]. Apesar da figura 2.14 apresentar valores de potência mais próximos, na figura 2.12 consegue-se alcançar uma potência mais elevada sem recorrer a uma alteração significativa da tensão.

Contudo, os casos apresentados apontam apenas a mudança de um dos parâmetros enquanto o outro se mantém constante. Num caso real, a alteração ocorre nos dois parâmetros muitas vezes em simultâneo, o que leva a um pobre rendimento por parte do painel se este não apresentar um método que lhe permita regular o seu ponto de operação para o ponto de máxima potência característico de cada instante [26]-[27]. É aqui que entram os algoritmos de procura do ponto de máxima potência (MPPT).

2.4.6. Algoritmos de procura do Ponto de máxima potência - (MPPT)

A procura pelo ponto de máxima potência (MPP) característico de cada instante, tornou-se um dos objetivos fulcrais aquando da produção de energia a partir de um sistema fotovoltaico, pois maximiza a eficiência do processo minimizando os custos. No entanto, um painel fotovoltaico apresenta uma característica corrente-tensão (I-V) não linear devido às variações, maioritariamente, da irradiância, mas também da temperatura. Assim, é intrínseco o uso de um algoritmo de procura do ponto de máxima potência (MPPT), que procure a cada instante esse ponto de funcionamento [26].

Existe já um abundante número de algoritmos de procura pelo MPP na literatura que diferem entre si de acordo com a sua complexidade, velocidade de convergência, oscilações em torno do MPP, parâmetros medidos, custo, entre outros aspetos. Entre os mais descritos na literatura são referidos os seguintes algoritmos devido à sua simplicidade e baixo custo de implementação.

2.4.6.1. Algoritmo Perturba e Observa

Na sua grande maioria, o algoritmo mais utilizado em conversores comerciais tem por base o método Perturba e Observa pela sua fácil implementação e baixo custo [26]. Analisando o gráfico das curvas da potência em função da tensão do painel fotovoltaico (curvas P-V) a diferentes níveis de irradiância, este algoritmo tem como princípio de funcionamento a aplicação de uma perturbação (incremento ou decréscimo) no *duty cycle* do conversor DC/DC responsável pela extração fotovoltaica e conseqüentemente no valor da tensão de operação do painel fotovoltaico, medindo a alteração do valor da potência nesse instante. Posteriormente, é feita uma comparação entre o valor da potência do painel nesse instante e o valor da potência do painel resultante da perturbação anterior. Caso se verifique uma variação positiva da potência, o ponto de operação foi movido no sentido do MPP e a próxima iteração será no mesmo sentido. Caso o valor da variação da potência sofra uma variação negativa, significa que o ponto de operação se afastou do MPP e o sinal da perturbação deve ser revertido para que o ponto de operação na iteração seguinte vá ao encontro do MPP ao revés de se afastar ainda

mais [29]. No fluxograma representado na figura 2.15 é possível verificar a dinâmica de funcionamento do algoritmo Perturba e Observa.

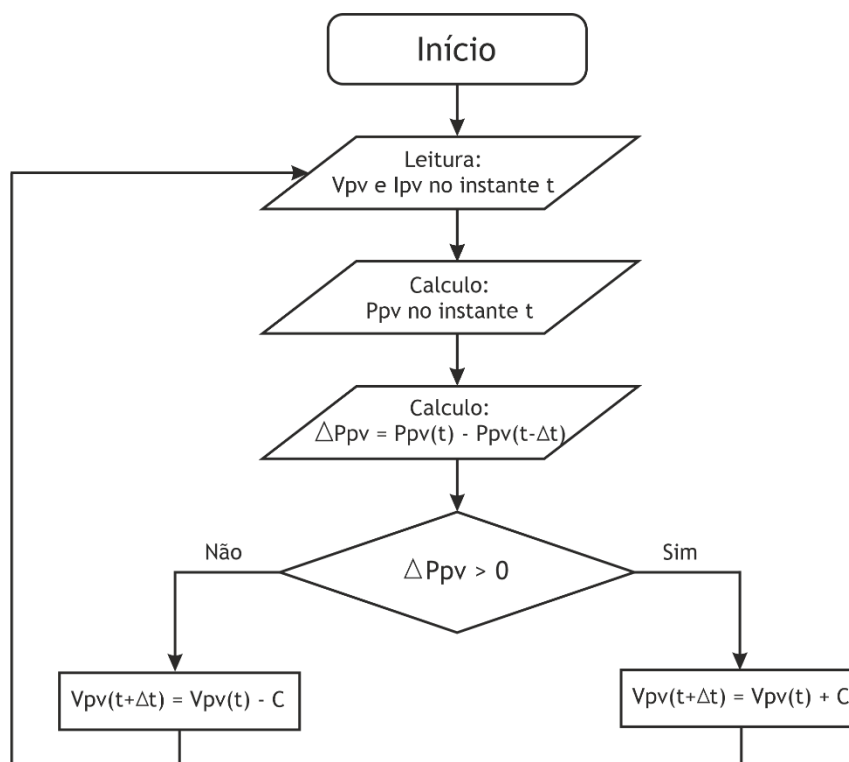


Figura 2.15 - Fluxograma do algoritmo Perturba e Observa.

Um dos problemas que este método apresenta consiste no facto de, mesmo depois de já ter sido alcançado o MPP, o algoritmo continuar a causar perturbações na tensão e, como tal, a potência de saída vai estar sempre a oscilar em torno da potência máxima, o que leva a perdas de energia [25].

Pode existir ainda um problema superior ao referido anteriormente, relacionado com as mudanças climáticas rápidas [25]. Apesar de o sistema funcionar independentemente das condições ambientais, estas têm de ser aproximadamente constantes, ou seja, não devem sofrer mudanças repentinas [27]. Este caso é muito comum em dias nublados.

Tomando como exemplo a figura 2.16 e iniciando a análise no ponto A (MPP da curva 1), se as condições climáticas se mantiveram aproximadamente constantes, o algoritmo, ao realizar uma perturbação na tensão, vai levar o ponto de operação de A para B ou C. De acordo com os princípios deste método, a perturbação vai ser revertida quando o ponto de operação passa para C, pois deu-se um decréscimo na potência. Já se, entretanto, e para uma perturbação igual à que se deu de A para B, os níveis de irradiância aumentarem rapidamente ainda dentro do ciclo de análise, passamos da curva 1 para a curva 2, e o ponto de operação move-se de A para D. Para o sistema de controlo, esta mudança representa um aumento na potência de saída e conseqüentemente uma aproximação ao MPP, acabando esta perturbação por se manter. No entanto, o MPP já não é o mesmo, ou seja, já não é o ponto A, mas sim o ponto E, estando o ponto de operação a afastar-se do suposto. Esta situação mantém-se caso os níveis de irradiância continuem a aumentar rapidamente [25], [28]. Porém, atualmente existem diversas

variantes deste método que visam, acima de tudo, superar o problema causado pelas rápidas mudanças atmosféricas.

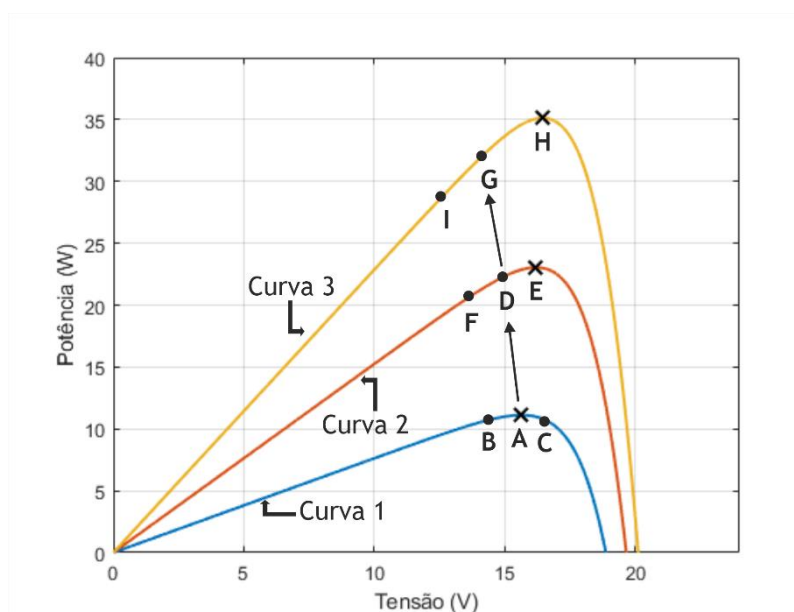


Figura 2.16 - Comportamento errôneo do algoritmo Perturba e Observa devido a alterações de irradiância repentinas.

2.4.6.2. Algoritmo Condutância Incremental

O presente método baseia-se na análise da seguinte equação:

$$\left[\frac{\Delta I_{PV}}{\Delta V_{PV}} \right] + \left[\frac{I_{PV}}{V_{PV}} \right] = 0 \quad (2.8)$$

O algoritmo deteta o MPP comparando a condutância instantânea (I_{pv}/V_{pv}) à condutância incremental ($\Delta I_{pv}/\Delta V_{pv}$) [25]. Na figura 2.17 pode-se então visualizar o fluxograma do algoritmo Condutância Incremental.

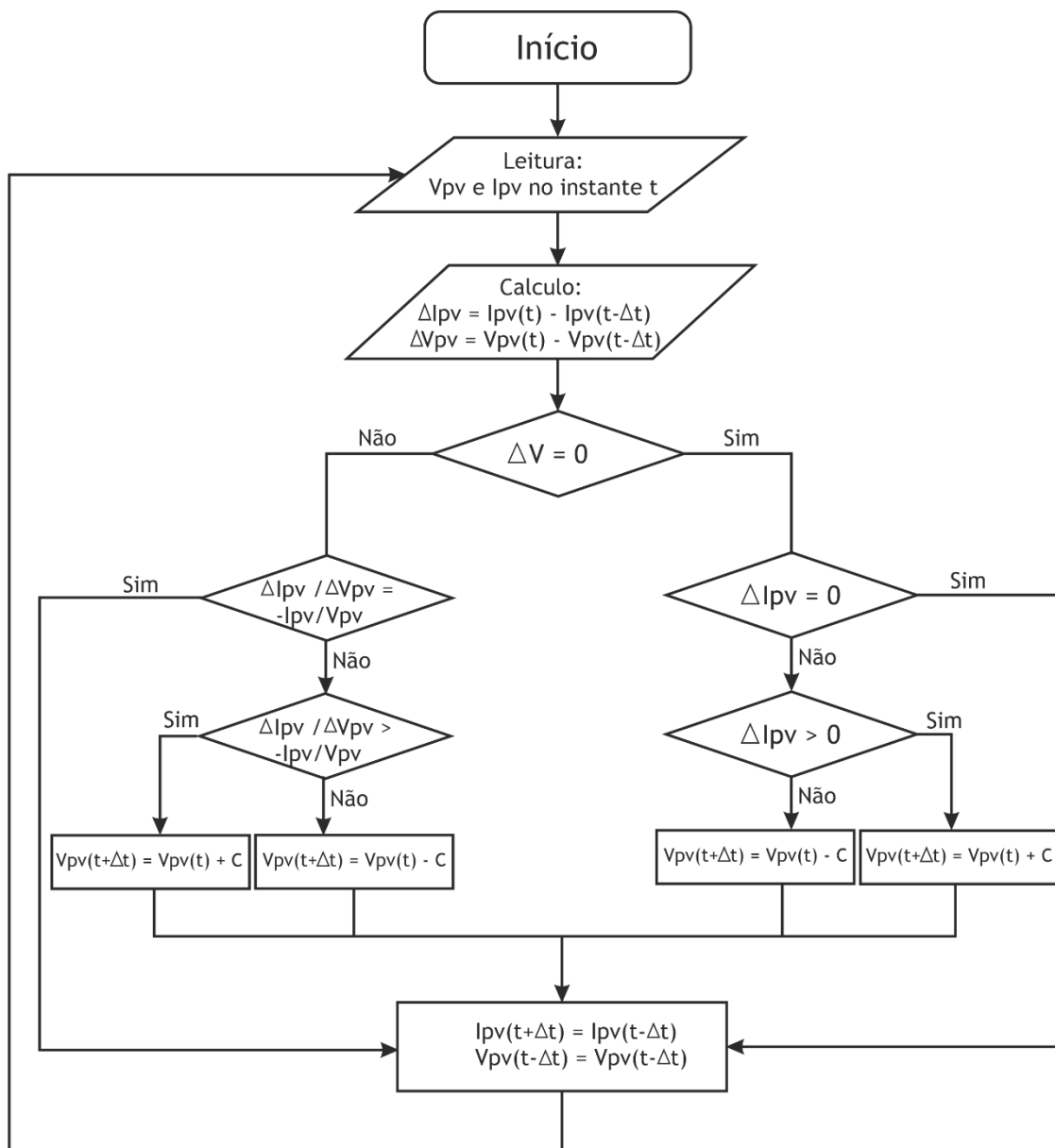


Figura 2.17 - Fluxograma do algoritmo Condutância Incremental.

Como se pode visualizar na figura 2.18, quando o ponto de operação, tendo em conta a curva P-V, está do lado direito do MPP, o resultado da equação 2.8 é inferior a zero. Quando o ponto se encontra à esquerda do MPP, o resultado da equação é superior a zero. De acordo com esta análise, o algoritmo sabe em que sentido tem de se realizar a perturbação para chegar ao MPP. Uma vez alcançado o MPP, as perturbações param de maneira a manter o ponto de operação nesse local. Apenas se retomam as perturbações uma vez que haja uma alteração da ΔI_{pv} . Nesse caso, vai ser dado um novo valor de tensão para se chegar ao novo MPP [25].

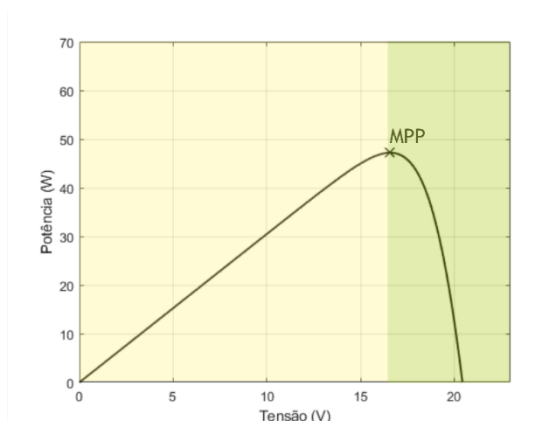


Figura 2.18 - Curva de potência em função da tensão (P-V).

Uma das grandes vantagens desta técnica é o seu bom desempenho em situações de rápidas mudanças atmosféricas [25].

2.4.6.3. Algoritmo Tensão Constante

O algoritmo Tensão Constante é o MPPT mais simples. Segundo este método, o ponto de operação do painel fotovoltaico é mantido perto do MPP através da regulação da tensão, fazendo-a ir ao encontro de uma tensão de referência (V_{ref}) fixa. O valor da V_{ref} vai ser igual ao valor da tensão no MPP (V_{mpp}), valor este atribuído e calculado pelo fabricante do painel em questão ou a outro V_{ref} considerado mais preciso, calculado pelo próprio utilizador [25]. No fluxograma representado na figura 2.19 é possível verificar a dinâmica de funcionamento deste algoritmo.

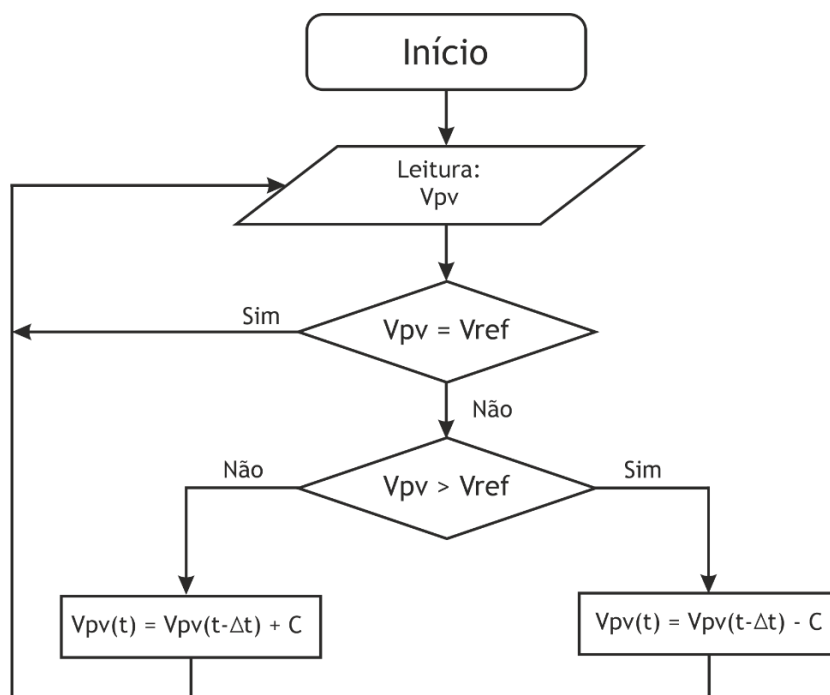


Figura 2.19 - Fluxograma do algoritmo Tensão Constante.

Este algoritmo não é influenciado por mudanças significativas na irradiância, apenas na temperatura, como é possível verificar pela análise da figura 2.20, o que constitui uma vantagem em comparação com os métodos de Perturba e Observa e Condutância Incremental. Contudo, uma das suas grandes desvantagens é o facto de assumir que o valor de V_{ref} é uma boa aproximação ao valor do V_{mpp} , nunca sendo possível alcançar o verdadeiro MPP [25].

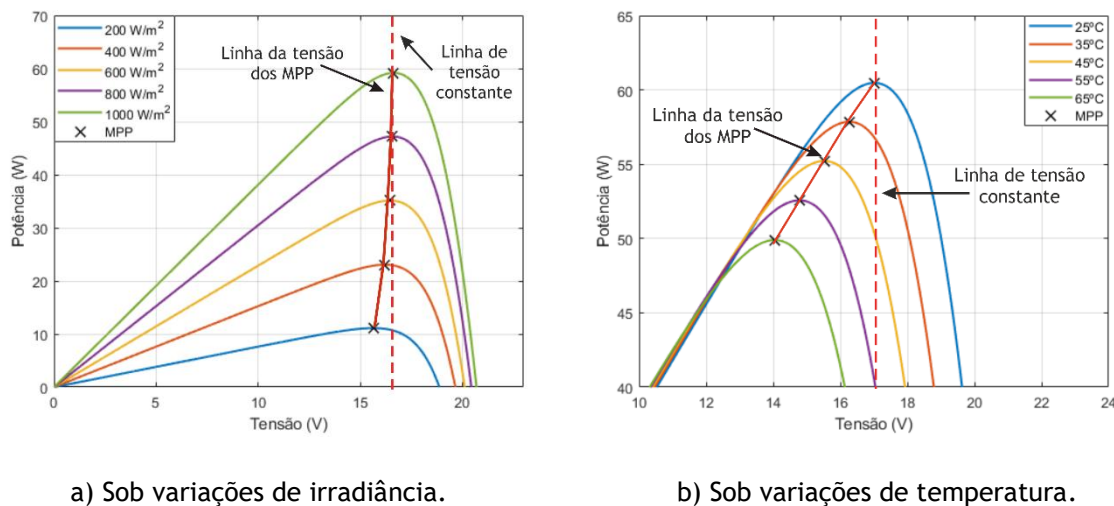


Figura 2.20 - Algoritmo Tensão Constante.

2.4.6.4. Algoritmo Corrente de Curto-Circuito

Este método alcança o MPP com base na corrente de operação I_{op} . Este algoritmo considera que a I_{op} correspondente ao MPP é proporcional à corrente de curto-circuito I_{sc} [25], como mostra a equação:

$$I_{MPP} = K_{SC} \times I_{SC} \quad (2.9)$$

A desvantagem deste método consiste no momento de obtenção da corrente de curto-circuito. Para obter esta medição é necessário introduzir um *switch* em paralelo com o painel para criar a situação de curto-circuito. Durante este acontecimento, a tensão do painel é zero, logo, não há produção de energia. Ao atingir-se a I_{op} , é possível determinar a V_{ref} [25]. No fluxograma da figura 2.21 é possível confirmar a dinâmica de funcionamento do algoritmo Corrente de Curto-Circuito.

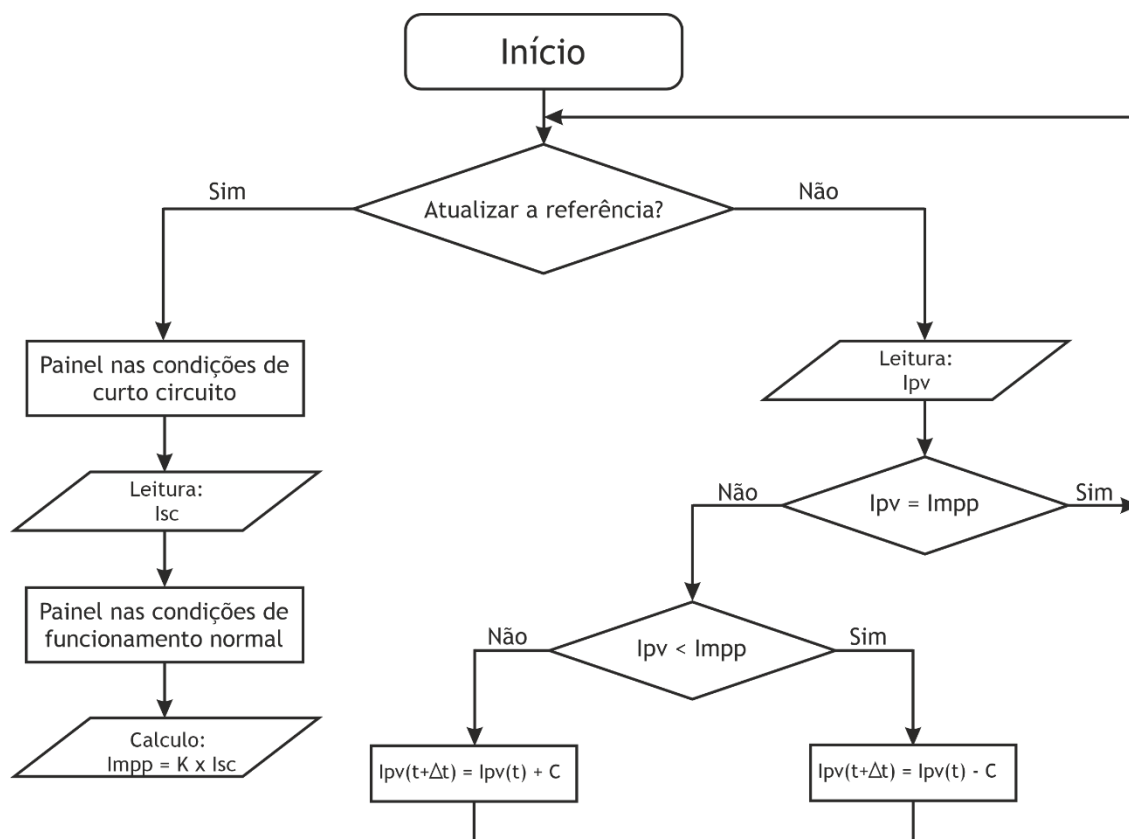


Figura 2.21 - Fluxograma do algoritmo Corrente de Curto-Circuito.

2.4.7. Conversor DC/DC não isolado

O uso de um conversor DC/DC é essencial quando se pretende realizar a transição de potência entre dispositivos com características diferentes, ou seja, um conversor DC/DC vai permitir converter uma tensão contínua com um certo valor noutra tensão contínua com outro valor, conversão esta feita através da comutação do sinal. É, desta forma, fundamental a sua utilização aquando da otimização do processo de extração de energia de um painel fotovoltaico.

Relativamente a este tipo de conversores ainda se pode fazer a sua divisão de acordo com duas topologias: conversores não isolados, como o *Boost*, *Buck*, *Buck-Boost* e conversores isolados, como é o caso do *Push-Pull*, *Flyback* e *Forward*. Ainda dentro destas categorias podem existir duas subcategorias: unidirecional ou bidirecional. A principal diferença entre um conversor isolado de um não isolado é a presença de um transformador no caso do isolado. A estrutura destes conversores não isolados é semelhante, apenas se modifica a disposição dos seus componentes. Como tal, apresentam na sua estrutura transístores, díodos essenciais à comutação do sinal e indutores e condensadores para o armazenamento de energia [31], [32].

2.4.7.1. Conversor Boost

Esta topologia de conversor é elevadora de tensão, ou seja, capaz de gerar à saída uma tensão superior à de entrada [33]. Na figura 2.22 é apresentado o circuito genérico de um conversor *Boost*.

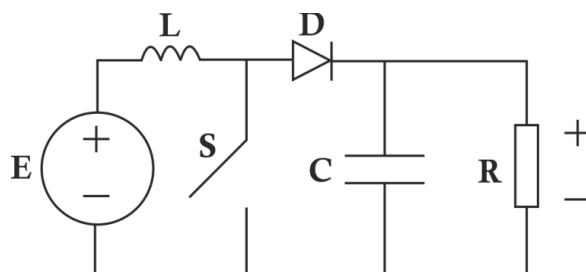


Figura 2.22 - Conversor *Boost*.

O condensador serve para manter a tensão constante e a bobina serve para manter a corrente constante [33].

A corrente percorre uma de duas malhas [33]:

- Com o diodo ao corte, a corrente vai passar pela bobina e pelo transistor.
- Com o transistor ao corte, a polarização da bobina inverte e a corrente passa pelo diodo até à carga carregando também uma parte o condensador. O facto de a bobina ter invertido a sua polarização vai levar a uma soma de tensão, permitindo a chegada à carga de uma tensão mais elevada.

O ganho deste tipo de conversor é representado pela equação [33]:

$$V_{out} = \frac{1}{1-D} \times V_{in} \quad (2.10)$$

É importante que o transistor não fique nem sempre ligado nem sempre desligado. No primeiro caso o *duty cycle* vai tender para zero e a tensão de saída vai ser igual à de entrada. No segundo caso o *duty cycle* vai tender para um e a tensão de saída vai tender para infinito levando a um curto-circuito [33].

2.4.7.2. Conversor Buck

Esta topologia de conversor é redutora de tensão, ou seja, capaz de gerar à saída uma tensão inferior à tensão na entrada [34], [35]. Na figura 2.23 é apresentado o circuito genérico de um conversor *Buck*.

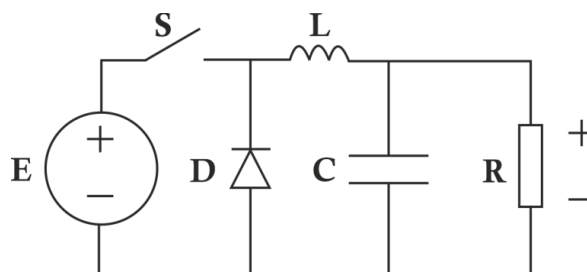


Figura 2.23 - Conversor Buck.

O condensador serve para manter a tensão constante e a bobina serve para manter a corrente constante.

A corrente percorre uma de duas malhas [34], [35]:

- Com o diodo ao corte, a corrente vai passar pelo transistor e carrega a bobina.
- Com o transistor ao corte, a corrente da bobina passa até à carga, carregando também uma parte o condensador e fecha o circuito passando pelo diodo.

O ganho deste tipo de conversor é representado pela equação [35]:

$$V_{OUT} = V_{in} \times D \quad (2.11)$$

2.4.7.3. Conversor Buck-Boost

Este conversor é capaz de gerar à saída tensão superior ou inferior à tensão de entrada. O *duty cycle* é o que vai permitir definir qual dos dois métodos vai estar em ação. Se o $D > 50\%$, entra em funcionamento o método *Boost*. Caso contrário, $D < 50\%$, entra em funcionamento o método *Buck* [36]-[38]. Na figura 2.24 é apresentado o circuito genérico de um conversor *Buck-Boost*.

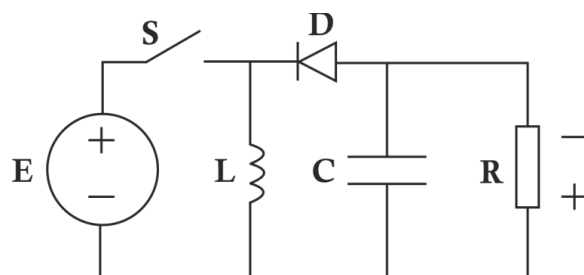


Figura 2.24 - Conversor *Buck-Boost*.

O condensador serve para manter a tensão constante e a bobina serve para manter a corrente constante.

O ganho deste tipo de conversor é representado pela equação [36]:

$$V_{OUT} = -\frac{D}{1-D} \times V_{in} \quad (2.12)$$

A desvantagem da utilização de conversores DC/DC recai sobre o maior custo, maior complexidade e emissão de ruídos. No entanto, garante uma eficiência e versatilidade maiores [36]-[38].

2.5. Sistemas de Carregamento

As baterias utilizadas na alimentação de um sistema, têm na sua constituição um conjunto de células associadas. As células mais utilizadas atualmente, por apresentarem características mais vantajosas não só relativamente ao tempo de vida útil como também por serem recarregáveis, são as células de iões de lítio (*Li-Ion*) [39].

Regra geral, o sistema de carregamento de uma célula *Li-Ion* tem por base a limitação da tensão da mesma. Sabendo que a célula tem na sua constituição um ânodo (elétrodo negativo), um cátodo (elétrodo positivo) e um eletrólito, ocorre o processo de carregamento quando se dá um fluxo de iões pelo eletrólito do cátodo para o ânodo (oxidação do cátodo e redução do ânodo) e durante a descarga da célula acontece o oposto, os iões fluem do ânodo para o cátodo [39].

Para o carregamento das células existem vários métodos documentados na literatura, entre os quais [40], [41]:

- Carregamento *Constant Current/Constant Voltage (CC/CV)*
- Carregamento *Multistage*
- Carregamento *Pulse Current*

2.5.1. Carregamento Constant Current/Constant Voltage (CC-CV)

Este método de carregamento é um dos mais referenciados na literatura devido à sua simplicidade e fácil implementação. O processo de carregamento desta técnica consiste em três fases, como se pode verificar na figura 2.25.

Inicialmente começa na *trickle charge* (TC) que corresponde à fase inicial em que a tensão da célula se encontra abaixo do valor crítico. Assim, a célula é carregada com baixa corrente até atingir a tensão crítica (V_{trickle}) [40], [41].

Numa segunda fase, a célula começa por ser sujeita a uma tensão constante (CC), cujo valor depende das especificações da célula em questão, até se atingir o valor de tensão denominado por tensão de regulação (no caso das células *Li-Ion* é de 4.2V) [40], [41].

Por conseguinte, entra-se na terceira fase do carregamento, a fase de tensão constante (CV). É nesta etapa que a célula fica com uma tensão constante enquanto a corrente sofre um decaimento até aproximadamente 16% da corrente nominal, sendo considerado nesse momento que o carregamento da célula se encontra concluído [40], [41].

A principal desvantagem deste método é o tempo que leva para carregar a célula.

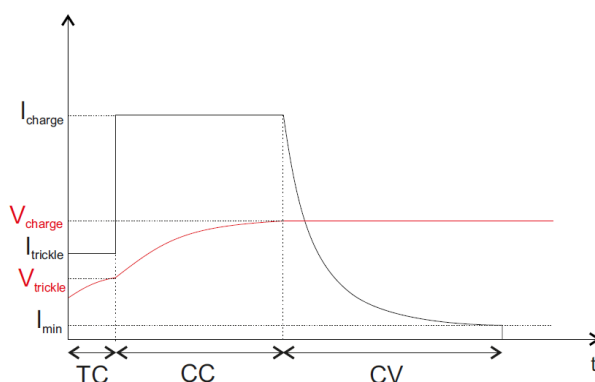


Figura 2.25 - Perfil de carregamento CC / CV [40].

2.5.2. Carregamento *Multistage*

Este método de carregamento, tal como o nome indica, apresenta n estágios de carregamento. Duas das questões essenciais para entender este método são: o que leva à mudança entre estágios e qual a corrente apropriada para ser aplicada a cada estágio [40], [41].

Existe uma mudança de estágio sempre que a tensão da célula atinge a tensão de regulação. Esta mudança é acompanhada por uma pequena queda de tensão e por uma diminuição de corrente. Quanto à corrente aplicada em cada estágio, esta é determinada com recurso a algoritmos de otimização como o *PSO*, algoritmos genéticos entre outros ou a controladores *fuzzy* [40], [41].

Neste método o número de estágios mais utilizado é $n = 5$, onde o último é realizado a tensão constante para determinar o perfil ótimo de carregamento [40], [41]. Na figura 2.26 é apresentada um perfil de carregamento *multistage*.

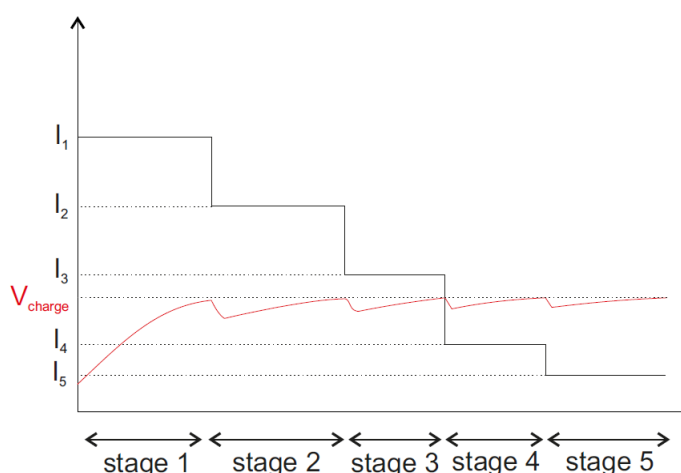


Figura 2.26 - Perfil de carregamento *multistage* [40].

2.5.3. Carregamento *Pulse Current*

Este método pode ser subdividido em duas metodologias: *Variable Frequency Pulse Charge* (VFPC), figura 2.27, e *Variable Duty Pulse Current* (VDPC), figura 2.28 [40].

Para que haja uma maior transferência de energia, o VFPC tem como objetivo otimizar a frequência do pulso de corrente através da minimização da impedância da célula. O VDPC utiliza uma de duas abordagens: variando a amplitude do pulso a partir da fixação da largura do pulso ou o inverso, variando a largura do pulso fixando a amplitude do mesmo [40].

Os algoritmos de carregamento baseados tanto na primeira metodologia, VFPC, como na segunda, VDPC, são compostos por três modos de operação: *detection mode* (DM), *search mode* (SM) e *charge mode* (CM). O algoritmo inicia a operação no modo DM onde vai detetar o estado da célula. Ao finalizar este passo, entra em modo de operação SM onde determina qual a frequência ótima. Por fim, entra no modo CM, repetindo este processo até que a célula esteja carregada por completo [40].

É prevista uma redução de tempo de carregamento comparativamente ao método CC / CV ao recorrer ao algoritmo baseado no VFPC e ao algoritmo baseado no VDPC de 24% e 3.4%, respetivamente [40]. Apesar de ter um carregamento mais rápido e ser mais eficiente, este método é o pior em termos de implementação e complexidade.

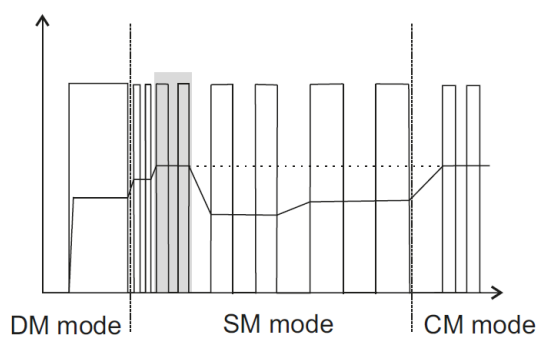


Figura 2.27 - Perfil de carregamento *Pulse Current* metodologia VFPC [40].

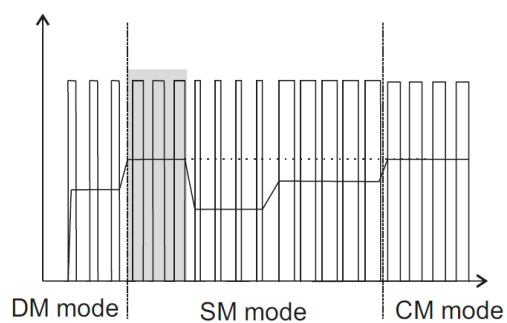


Figura 2.28 - Perfil de carregamento *Pulse Current* metodologia VDPC [40].

Se a célula se encontrar parcialmente ou mesmo completamente descarregada, ao se iniciar o carregamento da mesma vai-se dar um pico de tensão inicial [40].

Capítulo 3

Internet das Coisas (Internet of Things - IoT)

3.1. Introdução

Num mundo cada vez mais tecnológico e competitivo a capacidade de monitorização constante é crucial e tornou-se extremamente relevante. Como tal, muitos dispositivos estão a ser conectados à Internet por todo o mundo [42], [43].

O conceito *Internet of Things (IoT)* surgiu como fruto do trabalho desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), tendo como objetivo inicial criar um sistema global de registo de bens usando um sistema de numeração único chamado *Electronic Product Code* que recorria ao uso de *Radio-frequency identification* (RFID) e redes de sensores sem fios (*RSSF ou WSN - Wireless Sensors Network*) [42]-[44]. Atualmente, refere-se a uma extensão da internet que permite criar uma rede de partilha de informação entre aparelhos eletrónicos que utilizamos no nosso dia-a-dia, como carros, eletrodomésticos e telemóveis, ligando-os não só à internet como entre si. Esta nova temática permite que os objetos sejam detetados e controlados remotamente estando, desta forma, a integrar o mundo físico no mundo computacional/digital, beneficiando de uma melhor eficiência e precisão de funcionamento dos aparelhos, de uma redução da intervenção humana e sobretudo de vantagens do ponto de vista económico [42].

Para possibilitar a comunicação entre os objetos e mesmo a deteção de anomalias é essencial que estes tenham uma identificação. Inicialmente, começou por ser feita por *Radio-frequency identification*, como referido anteriormente, passando mais tarde a assumir outras formas como *QR codes*, *Near Field Communication* (NFC) e *Bluetooth* [42]. A tecnologia RFID usa frequências de rádio na identificação dos objetos e é vista como uma grande impulsionadora da *Internet of Things*. Estes sistemas oferecem não só a identificação do objeto como informações importantes sobre o seu estado e a sua localização [42]-[45].

Para além dos objetos mais comuns do nosso dia-a-dia, a IoT é também já muito utilizada em áreas como a medicina no que toca a implantes de monitorização cardíaca por exemplo, na agropecuária nos *biochips* para observação animal, em vários ramos da indústria e ainda em dispositivos que auxiliam entidades como os bombeiros em operações de resgate [42]. Com o avançar dos estudos e a ambição de englobar o maior número possível de aparelhos e atividades neste novo domínio, atualmente pode-se presenciar a implementação desta temática nos parques de estacionamento, nas luzes de rua e até mesmo na monitorização de consumos [45].

Para que tudo isto se concretize, um dos fatores principais a ter em conta é o tipo de comunicação que se irá utilizar.

3.2. Tipos de Comunicação

De acordo com o dispositivo que se utiliza, com a finalidade da sua utilização e com a sua localização, pode-se ter diferentes tipos de comunicação e, conseqüentemente, de alcance. Desde um alcance sem fios e, portanto, mais curto como acontece quando se usa o *Bluetooth*, até alcances mais longos como a Ethernet. De seguida são expostos alguns exemplos de tecnologias de comunicação.

Comunicação sem fios de curto alcance:

- *Bluetooth* - Tecnologia utilizada para troca de dados entre aparelhos fixos e móveis que utiliza ondas de rádio de alta frequência que se encontram dentro do espectro de ondas de rádio ISM.
- *Radio frequency identification* - Tecnologia que faz uso de campos eletromagnéticos para ler a informação. Ajuda não só na identificação do objeto como com a sua localização.
- *Light-Fidelity* - Semelhante ao *Wifi* normal, mas usa luz visível para comunicar.

Comunicação sem fios de médio alcance:

- *Wifi* - Tecnologia que faz uso de ondas de rádio para fornecer internet de alta velocidade e para permitir conexões em rede.
- *HaLow* - Variante do *Wifi* que fornece alcance alargado para comunicações de baixa potência.
- *LTE* - Comunicação de alta velocidade para redes móveis.

Comunicação sem fios de longo alcance:

- *GSM* - Tecnologia muito utilizada nas comunicações entre aparelhos móveis.
- *NB-IoT* - Derivada da *LTE* permite realizar comunicações de longo alcance com um consumo de energia mais reduzido.
- *Sigfox* - Tecnologia que permite dos maiores alcances de comunicação.
- *LoRaWAN* - Permite uma comunicação a longas distâncias com baixo consumo energético.

Comunicação por fios:

- *Ethernet* - Permite conectar computadores a uma *local area network* (LAN).
- *PLC* - Realiza a comunicação através de instalações de potência já existentes.

3.3. Low Power Wide Area Network (LPWAN)

Uma *LPWAN* refere-se a tecnologias que permitem uma comunicação de longo alcance, com recurso a aparelhos de baixa potência [46]. *LoRaWAN*, *Sigfox* e *NB-IoT* são opções de tecnologias de comunicação para os aparelhos IoT que podem ser classificadas como *LPWAN* [46]-[48].

As características principais destas tecnologias recaem sobre o baixo consumo de energia, um grande alcance de comunicação e uma baixa taxa de transferência de dados. Esta última característica, apesar de parecer uma desvantagem acaba por tornar este tipo de tecnologias excelentes para aparelhos IoT, visto que estes normalmente não enviam dados continuamente e são suportados por uma bateria.

A faixa de frequências utilizada é também uma característica a ter em consideração. Existem frequências específicas de cada continente que são abertas à utilização por qualquer pessoa, outras frequências também são livres para utilização gratuita mas encontram-se limitadas a uma aplicação específica e existem as frequências que precisam de ser pagas para serem usadas [46].

Para serem analisadas as características técnicas de cada tecnologia e perceber qual a mais indicada para a finalidade em questão, é necessário primeiro definir quais as especificações que se pretendem cumprir. Algumas dessas especificações que as permitam comparar são:

- Alcance teórico em linha de vista e em ambiente urbano;
- Débitos binários máximos no *uplink* e *downlink* e capacidade de tráfego nos dois sentidos;
- Topologias e arquiteturas físicas e/ou protocolares do sistema;
- Tamanho máximo do *payload* de dados permitido;
- Número de dispositivos permitidos na rede;
- Duração de baterias e eventual consumo energético do mesmo;
- Banda de frequências e canais utilizados;
- Segurança das transmissões;
- Disponibilidade no mercado, custo de aquisição e de funcionamento;

3.3.1. Narrow Band IoT (NB-IoT)

A tecnologia *Narrow Band* IoT foi primeiramente desenvolvida com o intuito de melhorar as comunicações *indoor* [49]. Oferece uma infraestrutura muito estável e dos melhores alcances e capacidade de conectividade [47].

Esta tecnologia deriva da LTE (*Long Term Evolution*), sendo por isso que o seu design permite que esta coexista com sistemas tanto LTE como GSM (*Global System for Mobile Communications*) [47], [49].

As redes NB-IoT são direcionadas para aplicações portáteis com necessidades de alta durabilidade de bateria e grande alcance e para quando o aparelho vai operar em zonas em que, por exemplo, as tecnologias 2G, 3G e 4G não conseguem aceder. Consegue atingir até 10 km de alcance com débitos máximos de 234 kbps em *downlink* e 204 kbps em *uplink* [47], [50].

Embora apresente bastantes características positivas, o uso desta tecnologia implica o pagamento regular de uma taxa para que se possa usufruir destas frequências de comunicação, uma vez que utiliza zonas do espectro LTE [47], [50].

3.3.2. Sigfox

Sigfox é uma tecnologia proprietária desenvolvida pela empresa francesa Sigfox. Tem como princípio fornecer uma comunicação, disponível a nível mundial, de grande alcance e baixo consumo [48].

A operadora afirma que o alcance pode ir entre 30-50 km em áreas rurais e 3-10 km em zonas urbanas, para além de suportar cerca de 1 milhão de aparelhos conectados na mesma rede [46], [48], [50].

Permite comunicação bidirecional entre os dispositivos e os *gateways* privilegiando a comunicação do primeiro para o segundo (*uplink*) [46].

Contudo, é exigido o pagamento de uma taxa para que se possa usufruir deste serviço por não se ter acesso aos protocolos e à arquitetura do sistema [46], [50]. A transmissão de mensagens por *uplink* é limitada a 140 mensagens por dia e as mensagens de *downlink* a 4 por dia [48], [50].

3.3.3. LoRaWAN

3.3.3.1. Princípio de Funcionamento

Desde as primeiras comunicações sem fios, abertas para utilização de qualquer indivíduo, até ao desenvolvimento das tecnologias de comunicação como as conhecemos hoje, o principal obstáculo encontrando sempre foi a comunicação a longas distâncias sem o consumo de elevada potência, e consequentemente sem um gasto económico desnecessário.

A *LoRaWAN* tal como o próprio nome indica, veio superar este problema. Até à data da sua criação, sabia-se que para comunicar a longas distâncias teria de se aumentar a potência, contudo, existiam situações onde o aumento da potência não era possível, limitando assim a

transmissão de dados a longas distâncias. Esta nova tecnologia trouxe, assim, um terceiro fator que permite a comunicação de longo alcance com o consumo de baixa potência, a largura de banda do canal. No entanto, a largura de banda é diretamente proporcional à capacidade do canal, o que significa que quanto mais diminuimos a largura de banda para permitir comunicações a maiores distâncias estamos, por sua vez, a diminuir a capacidade do canal, ou seja, a transmissão de bits por segundo (*baud rate*) [48].

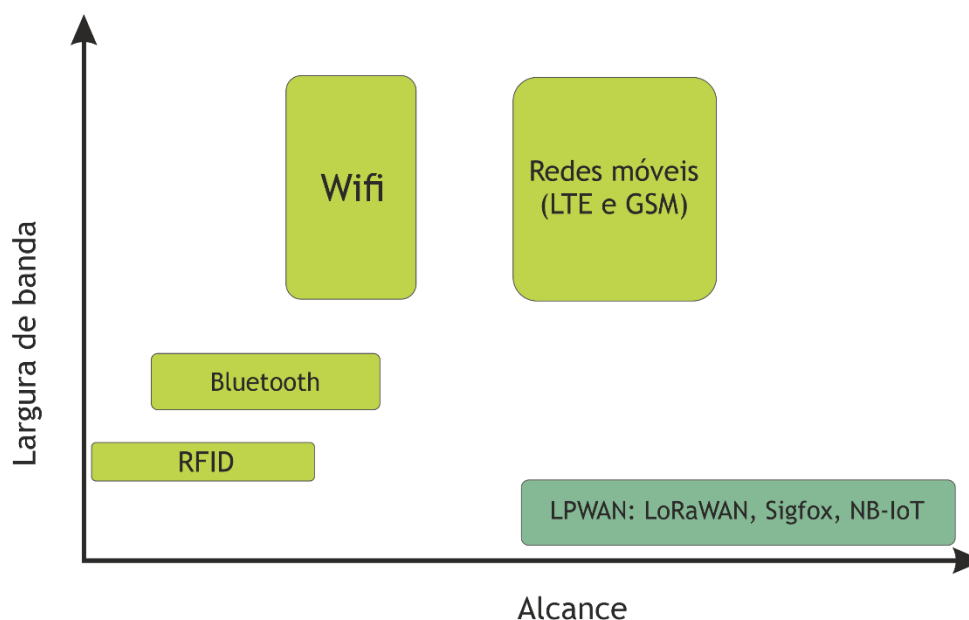


Figura 3.1 - Gráfico comparativo da largura de banda vs alcance de diferentes tecnologias de comunicação.

Desta forma, observando a figura 3.1, consegue-se verificar que a tecnologia *LoRaWAN* permite maior alcance que as demais tecnologias recorrendo à utilização de larguras de banda mais reduzidas.

Como se fala de alcance, é crucial falar do *Link Budget*. Medido em decibéis (dB), o *Link Budget* está relacionado com a conexão entre o emissor e o recetor [51]. Desta forma, é deduzido tendo em conta todos os obstáculos entre o emissor e o recetor, desde a própria distância, a cabos, paredes, árvores, entre outros. Quanto mais espesso e condutor for o obstáculo menor será o *Link Budget*. Para além dos obstáculos mais comuns, o facto de não haver uma linha de comunicação direta e mesmo, em certas zonas urbanas, a existência de reflexão do sinal, leva à redução do *Link Budget* [46], [52]. Em contrapartida, como forma de aumentar o *Link Budget*, pode-se colocar um amplificador ou uma antena com um ganho entre o emissor e o recetor, de maneira a compensar as perdas [46].

Os alcances podem chegar a 15 km em campo aberto e 5 km em ambiente urbano [46], [48], [50] com taxas de transmissão de dados (*data rate*) entre os 290 bps e os 50 kbps [53], [50].

Ou seja, o longo alcance é conseguido com a diminuição da taxa de transferência de dados e com a utilização de bandas de frequências mais baixas, pois sofrem de menos perdas de propagação no meio [50].

3.3.3.2. Arquitetura da rede

Muitas redes existentes utilizam uma arquitetura de rede em malha. Nesse tipo de rede, os nós finais encaminham as informações de outros nós para aumentar o alcance da comunicação. Isto não só aumenta o alcance, como também aumenta a complexidade, reduz a capacidade da rede e reduz a vida útil da bateria, pois os nós recebem e encaminham informações de outros nós. Desta forma, a arquitetura em estrela faz mais sentido para preservar a vida útil da bateria [51]. De seguida são definidos alguns conceitos utilizados na arquitetura de uma rede de comunicação:

Dispositivo - sensor que recolhe os dados e os envia para o *gateway* [48];

Gateway - recebe os dados do dispositivo e envia-os sem meio físico (via aérea) para o servidor (*uplink*) e vice-versa (*downlink*) [48];

Servidor - gere os *gateways* de maneira a evitar colisões de dados e processa os dados recebidos. Pode ainda enviar informação para os dispositivos [48].

Aplicação - Armazena os dados recebidos e permite a comunicação entre o utilizador e os sensores [48].

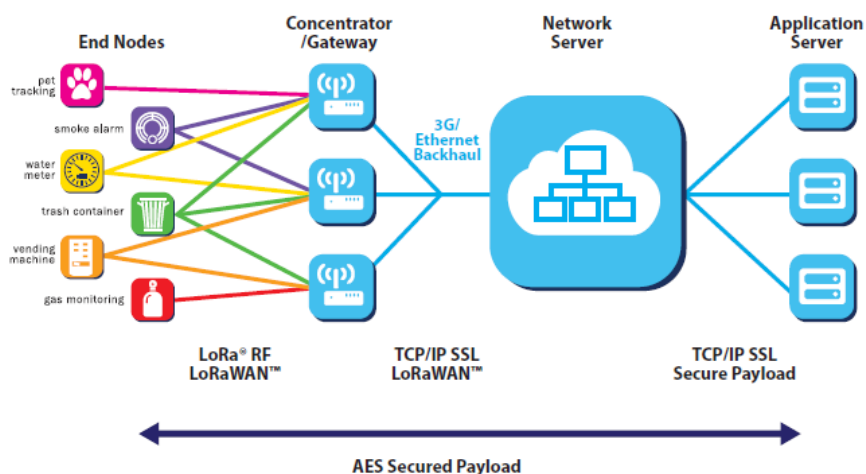


Figura 3.2 - Arquitetura da rede [51].

Como mostra a figura 3.2, os dispositivos não estão associados a um gateway específico. Em vez disso, os dados transmitidos por um dos dispositivos são geralmente recebidos por vários gateways. No caso de uma transmissão ser detetada por vários gateways, o servidor decide qual o gateway a utilizar. Cada gateway encaminha o pacote recebido do dispositivo final para o servidor de rede através de Ethernet, Wi-Fi ou outro meio, sendo que a sua principal função é a conversão dos dados do formato RF para o formato IP e vice-versa [51].

Esta tecnologia rege-se pelo modelo OSI, alcançando até às camadas PHY e MAC. Apesar de pertencer à SEMTECH, o seu protocolo, representado na figura 3.3, é desenvolvido pela *LoRa Alliance* [46], [48], [52], [53].

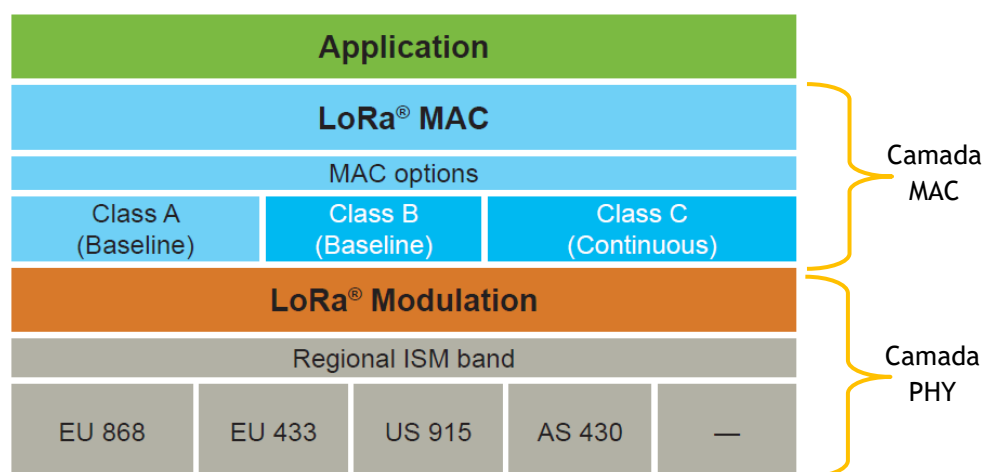


Figura 3.3 - Protocolo LoRaWAN (Adaptado de [51]).

A largura de banda de um canal corresponde à gama de frequências por onde os sinais que contêm os dados estão a ser transmitidos. Em LoRaWAN, os canais podem ter larguras de banda de 125, 250 ou 500 kHz [48], [50].

Na Europa, a banda de frequências utilizadas será nos 868 MHz e 433 MHz, enquanto nos Estados Unidos será nos 915 MHz. Noutras zonas do mundo serão outras frequências [46], [48], [52].

3.3.3.3. Modulação LoRa

Enquanto o termo LoRaWAN define o protocolo de comunicação e a arquitetura do sistema para a rede, LoRa designa a modulação utilizada para permitir a comunicação de longo alcance. Ou seja, LoRa faculta a comunicação entre o aparelho IoT e a aplicação e LoRaWAN é a rede de ligação entre diversos aparelhos IoT com gateways e por sua vez destes com a internet [52].

Existem vários tipos de modulação sendo que as mais comuns têm por base modulação da amplitude, modulação da frequência ou modulação da fase [50]. LoRa é uma modulação que utiliza uma técnica de espalhamento espectral baseada na técnica de *Chirp Spreading Spectrum*. Esta traduz-se num sinal sinusoidal de frequência variável e aleatória, chamado de *Chirp*, que vai utilizar toda a largura de banda do canal para realizar a sua propagação [50], [52].

Ao ser recolhida a informação do meio exterior, esta é transformada num sinal eletromagnético para posterior transmissão. Este sinal, precisa primeiramente de ser modulado para poder propagar-se até ao recetor, tendo em conta a distância e a quantidade de dados a transmitir. É aqui que entra a modulação LoRa [52], [53].

Assim como o próprio nome sugere, são utilizados *Chirps* como transportadores do sinal [52], [53]. Como meio de permitir uma comunicação mais viável, estes *Chirps* têm de ser transmitidos a frequências diferentes e selecionadas aleatoriamente a cada transmissão. Cada um destes *Chirps* codifica então x bits e vai ser rearranjado em x *chips* (vários pedaços do mesmo *Chirp* dispostos ao longo da largura de banda a frequências diferentes de maneira a perfazerem o seu valor) [48]. Podemos ver um exemplo de um sinal não modulado e de um modulado por LoRa na figura 3.4.

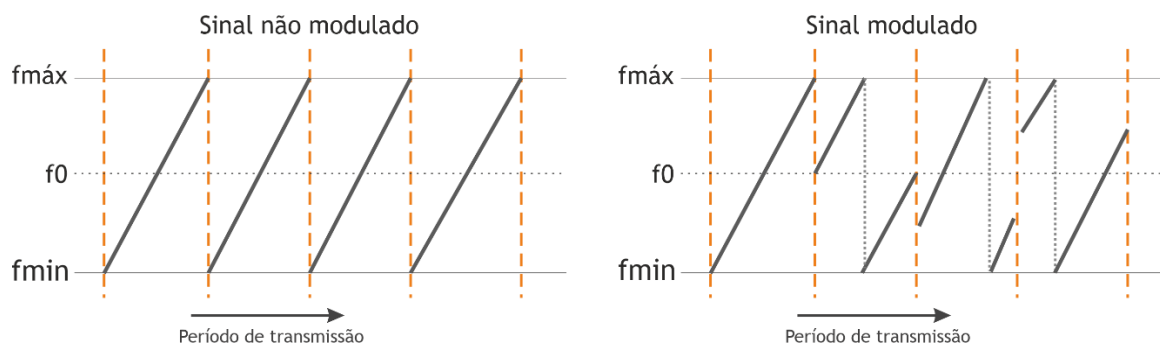


Figura 3.4 - Representação da modulação do sinal.

Estes valores são determinados a partir do fator de espalhamento (SF). Sabendo que este pode ir de 6 a 12, o número de bits em cada *Chirp* vai ser igual ao próprio SF e o número de chips igual a 2^{SF} [48], [50], [53].

Com o fator de espalhamento temos também conhecimento do tempo de propagação do *Chirp* com recurso à equação [48], [54]:

$$t_s = \frac{2^{SF}}{B} \quad (3.1)$$

Sabendo o período do *Chirp* (t_s), pode-se ainda saber o número de *Chirps* por segundo, ou seja, qual o *baud rate* [48], [54]:

$$R_s = \frac{B}{2^{SF}} \quad (3.2)$$

Por sua vez, o *bit rate* pode ser calculado pela expressão [48], [54]:

$$R_b = R_s \times SF \quad (3.3)$$

Desta forma, percebe-se que, fixando a largura de banda e incrementando o SF, o tempo por *Chirp* aumenta ao mesmo tempo que o ritmo binário diminui.

O SF também é importante no que refere à distância entre o transmissor e o recetor. Quanto mais afastados estes estiverem, maior deve ser o SF, pois o sinal com a distância tende a ficar mais fraco. Assume-se, assim, que para que a comunicação seja mais robusta deve ser selecionado um fator de dispersão mais elevado. Mas quanto mais elevado este for, mais elevado vai ser também o tempo de transmissão do sinal, o que leva ao aumento do consumo de energia [48], [53]. É então importante saber qual a finalidade de cada aplicação de forma a selecionar o SF correto.

Fazendo uma exemplificação com valores de modo a tornar mais perceptível o funcionamento da modulação apresenta-se o seguinte caso:

Supondo o uso de um canal de 125 kHz, na banda 868,1 MHz e um SF=6 bits/*Chirp*. Este SF corresponde a 64 chips e a frequências mínima e máxima de 868,0375 MHz e 868,1625 MHz, respetivamente. O período do *Chirp* terá a duração de $t_s = 512 \mu s$.

Admitindo que se pretende transmitir um valor binário de 6 bits igual a 001010_b, correspondente ao valor decimal 10_d, o que a modulação vai fazer é alterar o ponto de salto do *Chirp* para a posição 10 (correspondente ao valor a modular).

A frequência inicial do *Chirp* passa a ser dada por [54]:

$$f_0 = f_{min} + \frac{B}{2^{SF}} \times Valor\ decimal \quad (3.4)$$

Assim, a frequência será $f_0 = 868\,074,606\,kHz$.

São estes saltos/rearranjos dos chips do *Chirp* ao longo da frequência mínima e máxima que determinam como é que a informação fica codificada e por sua vez qual é o valor da mensagem codificada.

O facto desta modulação usar toda a largura de banda do canal e fazer a transmissão do sinal com base na técnica *Chirp Spread Spectrum*, promove resistência às interferências e ao desvanecimento do sinal, o que é ideal para ambientes urbanos [52].

3.3.3.4. Classes

Tendo em conta que os sensores servem diferentes aplicações e requisitos e sabendo que um dos principais objetivos da tecnologia *LoRaWAN* é otimizar o consumo de energia, os aparelhos são colocados no modo *sleep* durante certos períodos de tempo previamente determinados ou até receberem uma ordem em contrário. Durante o tempo em que se encontram neste estado de *sleep* não recebem informações [50], [51]. Assim, pode-se classificar os dispositivos em 3 classes fazendo um balanceamento entre a altura em que se pretende que este desperte e o tempo de vida da bateria.

Classe A - Nesta classe é permitida uma comunicação bidirecional. O *uplink* (transmissão do módulo para o gateway) é seguido de dois espaços de tempo para *downlinks* (transmissão de uma mensagem do gateway para o módulo). É a classe que permite o menor consumo de energia e torna-se a melhor escolha para casos em que o módulo não precisa de estar constantemente ativo para recolher informação. Estas transmissões *uplink* são feitas apenas por períodos pré-determinados de acordo com as necessidades e apenas após estas transmissões é que o dispositivo pode receber *downlinks*. Apesar de existirem dois espaços de tempo para *downlink* as respostas por parte do *gateway* somente podem ser transmitidas num deles. Em caso de ser utilizada a primeira janela, o dispositivo não precisa de abrir a segunda janela, mas em caso negativo tem de abrir. No caso de o módulo precisar de fazer um *uplink* de 2 mensagens, tem de esperar que as janelas de transmissão do primeiro envio passem para poder enviar a segunda mensagem [50], [51], [53].

Classe B - Nesta classe é permitida uma comunicação bidirecional. É semelhante à classe A, mas caracteriza-se por abrir janelas de *downlink* extra. Este período extra é sinalizado por parte do gateway para que ambos, o gateway e o dispositivo, se encontrem sincronizados e, desta forma, para o gateway saber quando é que o módulo está ativo para receber *downlinks* extra [50], [51], [53].

Classe C - Nesta classe é permitida uma comunicação bidirecional. Os dispositivos referentes a esta classe estão sempre ativos, pelo que podem receber a qualquer momento um *downlink* exceto quando estão a transmitir (*uplink*). Os aparelhos desta classe consomem muito mais energia, pelo que apenas devem ser utilizados em aplicações onde o consumo não constitui um problema. Os *gateways*, por exemplo, pertencem a esta classe [50], [51], [53].

3.3.3.5. Protocolo de Segurança

São definidos protocolos de forma a implementar segurança do dispositivo até ao servidor. Para encriptar as mensagens enviadas é utilizado o algoritmo AES que certifica a segurança da mensagem encriptando duas vezes com recurso a duas chaves diferentes [51]:

Application Session Key (AppSKey) - apenas o dispositivo e o servidor da aplicação têm acesso a esta chave [55].

Network Session Key (NwkSKey) - usado para encriptar a encriptação anterior juntamente com os dados de transmissão. Apenas o dispositivo e o *gateway* têm acesso a este código [55].

O *payload* (parte do corpo da mensagem que tem a informação relevante) fica encriptado pela primeira chave (*AppSKey*). Caso o sistema seja corrompido antes de chegar ao *gateway* não é possível ter acesso a nenhuma informação. Se for depois de ter sido recebido pelo *gateway* apenas se tem acesso aos dados de controlo. O *payload* apenas é desencriptado no servidor usando a primeira chave [55].

3.3.3.6. Resolução de problemas reais com LoRaWAN

Por permitir comunicações a longas distâncias com aparelhos remotos de baixa potência, a comunicação por *LoRaWAN* veio permitir a resolução de muitos problemas de forma mais económica e acessível [56].

Hoje em dia algumas das áreas nas quais se tem aplicado esta tecnologia vão desde a área industrial e médica, à melhoria dos processos agrícolas e a processos para obtenção de um planeta sustentável [56].

Muitas das aplicações em estudo visam a conservação de florestas e de água, a redução de poluição, a monitorização exata de gastos domésticos (gás, eletricidade e água), o controlo dos estacionamento, a melhoria dos cuidados de saúde e a poupança de energia (no caso das luzes de rua automatizadas) [56].

Alguns dos projetos ainda em desenvolvimento são o controlo da poluição das águas dos rios e das cheias, o controlo da desflorestação ilegal e a diminuição das emissões de gases poluentes dos veículos [56].

Porém, já existem projetos desenvolvidos como os que se encontram sintetizados a seguir.

Agricultura - Monitorização de culturas

Este caso de estudo estava relacionado com a produção de tabaco. Sabendo que o processo de produção de tabaco passa por várias atividades, desde semear, plantar, colher, secar e curar, o cliente pretendia monitorizar o último processo de forma a saber quando é que o produto se encontrava pronto para recolha, evitando assim perdas [56].

Tendo em conta que o cliente pretendia ter acesso aos dados de vários agricultores, este deparou-se com algumas limitações relacionadas com o processo agrícola em si. Começando com o facto de que cada agricultor inicia o processo de cura em alturas diferentes e passando por problemas relacionados com a comunicação, com a dificuldade em alcançar a conectividade em zonas rurais, bem como problemas económicos. Este último problema está relacionado com a necessidade de utilização de sensores que trabalhem durante meses até a troca da bateria ocorrer. A utilização da comunicação por *LoRaWAN* veio então suprimir os problemas de comunicação e económicos mostrando uma redução de perdas até 8% [56].

Aparelhos de medição

A realização deste estudo baseou-se na procura, por parte das autoridades competentes, da automatização dos sistemas de medição de água. O objetivo era facultar a monitorização do fluxo, de fugas e do consumo de água em tempo real aos cidadãos [56].

Contudo, não existia maneira de realizar estas medições em tempo real. O sistema de faturação não estava atualizado e não era possível determinar a fonte de perdas, recaindo todas estas questões sobre uma maior, o elevado custo para possibilitar a solução destes problemas [56].

A solução passou, mais uma vez, pela utilização de *LoRaWAN*. Os dados são enviados para a *Cloud* que por sua vez é acedida pela aplicação que procede à faturação e a envia para o email do cliente. Desta forma, consegue-se uma redução de 10% dos valores associados a contagens relativas a perdas [56].

Controlo de estacionamento automatizado

Com o intuito de reduzir o congestionamento do tráfego devido a veículos estacionados ilegalmente, as autoridades procuraram automatizar o controlo do estacionamento, enviando notificações em tempo real para o posto da polícia cada vez que um veículo estacione numa zona marcada como zona de estacionamento proibido [56].

Como limitações à resolução deste problema as autoridades indicaram a impossibilidade de monitorização física constante e o mau rastreio dos bilhetes de estacionamento [56].

A solução consiste na colocação de sensores pelas diversas zonas de forma a enviar, via *LoRaWAN*, uma notificação para a polícia que segue para o local para resolver o problema [56].

Indústria - Rastreio de veículos

Neste projeto, os clientes pretendiam monitorizar o percurso dos camiões de forma a terem um conhecimento da localização do veículo e conseqüentemente melhorar as operações logísticas dos armazéns [56].

No entanto, para além de neste tipo de caso se tratarem de 8 hectares de armazéns, muitos deles não possuíam uma *LAN* e mesmo os sistemas de leitura de *RFID* que existiam não conseguiam enviar informação para a *Cloud* [56].

Com o recurso à *LoRaWAN* os dados lidos pelo *RFID* são enviados para a *Cloud* para posterior avaliação, reduzindo os custos de transporte em 50% [56].

3.4. Nota Conclusiva

Apesar de apresentar um custo adicional para a configuração dos *gateways*, e da baixa taxa de transferência de dados, a tecnologia *LoRaWAN* mostra ser a mais apropriada para aplicações da IoT, pois permite comunicações de longo alcance com baixo consumo de energia e é acessível a qualquer pessoa sem custos adicionais. Acaba, assim, por ser a tecnologia mais vantajosa e menos dispendiosa em comparação com as restantes.

Em jeito de comparação e conclusão é apresentada a tabela 3.1 que mostra algumas das especificações que permitem perceber quais as principais diferenças entre as três tecnologias apresentadas anteriormente.

Tabela 3.1 - Características das três tecnologias LPWAN: *LoRaWAN*, Sigfox e NB-IoT.

	<i>LoRaWAN</i>	Sigfox	NB-IoT
Alcance	Zona rural:10-15 km Zona urbana:3-5 km	Zona rural:30-50 km Zona urbana:3-10 km	Zona rural:10 km Zona urbana:1 km
Largura de banda do canal	125 kHz, 250 kHz ou 500 kHz	100 Hz	200 kHz
Taxa de transmissão de dados	290 bps - 50 kbps	100 bps-600 bps	-200 kbps
Link budget	154 db	151 db	150 db
Consumo	A enviar:44 mA Em <i>sleep</i> : 0,1 μ A	A enviar:49 mA Em <i>sleep</i> : 0,1 μ A	A enviar:220 mA Em <i>sleep</i> : 3 μ A
Espectro de radiofrequências	ISM Não licenciado	ISM Não licenciado	LTE Licenciado
Open Source	Sim	Não	Sim
Cobertura	100 países	45 países	78 países

Pela análise da tabela, poderia considerar-se tanto a utilização da Sigfox como da NB-IoT antes de se considerar a tecnologia *LoRaWAN*. No entanto, tanto a primeira como a segunda exigem um pagamento regular. No primeiro caso por se tratar de uma tecnologia não *open source* e no segundo caso por se tratar de uma tecnologia que opera numa zona do espectro licenciada [46], [47], [50].

Como era de esperar, a *LoRaWAN* apresenta algumas limitações, estando a principal relacionada com o *baud rate*, como referido anteriormente, e por não ser uma tecnologia apropriada para aplicações onde os dados obtidos mudam numa fração de tempo muito pequena. Por outro lado, ao pretender-se medir a humidade de uma planta, já se torna mais vantajosa a aplicação desta tecnologia, pois os sensores utilizados para tal apresentam baixa taxa de transferência por unidade de tempo como desejado. Numa noção mais específica destes valores, a tecnologia

LoRaWAN consegue atingir um *baud rate* máximo de 50 kbps enquanto, por exemplo, a internet móvel pode atingir na ordem dos Mbps [50].

Outro aspeto também importante de referir está relacionado com a comunicação em si. Assim como se pode observar com os *walkie talkies*, a transmissão do sinal entre o emissor e o recetor é feita pelo mesmo canal, o que significa que apenas se pode transmitir uma mensagem à vez, ou do emissor para o recetor ou vice-versa. Assim, e de forma a facilitar o processo de comunicação, esta tecnologia favorece a transferência de dados do emissor para o recetor, como mostra o subcapítulo das classes.

Para uma melhor comunicação deve-se ainda ter em conta a disposição das antenas. A orientação da antena transmissora e da recetora deve ser a mesma, para que não se verifique perda de sinal, e a distância entre as duas antenas deve ser de pelo menos 3 metros de forma a evitar interferências eletromagnéticas.

Capítulo 4

Protótipo

4.1. Funcionamento do dispositivo de monitorização

Com o intuito de mitigar algumas desvantagens presentes nas patentes já existentes para a análise dos parâmetros internos e externos das árvores de fruto, possibilitar um maior número de dados analisados e ainda proporcionar um bom método de comunicação da informação obtida, foi desenvolvido o protótipo apresentado neste capítulo.

Um dos grandes problemas encontrados na produção agrícola é o correto controlo de doenças e pragas nas árvores de fruto (mais propriamente nas Oliveiras). Apesar de já existirem algumas tecnologias que permitem uma monitorização mais exata dos parâmetros necessários, esta continua a ser dispendiosa e de difícil aquisição, pois muitas vezes os pomares possuem um número considerável de hectares, o que torna a comunicação da informação para um servidor complicada ou mesmo impossível. Desta forma, neste protótipo é utilizada a tecnologia *LoRaWAN*.

Na figura 4.1 está representada a estrutura de funcionamento proposta. Esta estrutura de comunicação, foi desenhada de modo a requerer o mínimo de alterações evasivas, tanto na oliveira em si, quanto nas infraestruturas existentes e ao mesmo tempo maximizar a facilidade de acesso aos dados monitorizados. Para tal, foi desenvolvido um dispositivo que se fixa ao tronco da oliveira a ser monitorizada, procedendo assim à leitura de todos os parâmetros de estudo, tal como ilustrado na figura 4.2. De modo a receber os dados de todas as oliveiras monitorizadas em um olival, foi também desenvolvida uma estação repetidora central, ilustrada na figura 4.4 e 4.5.

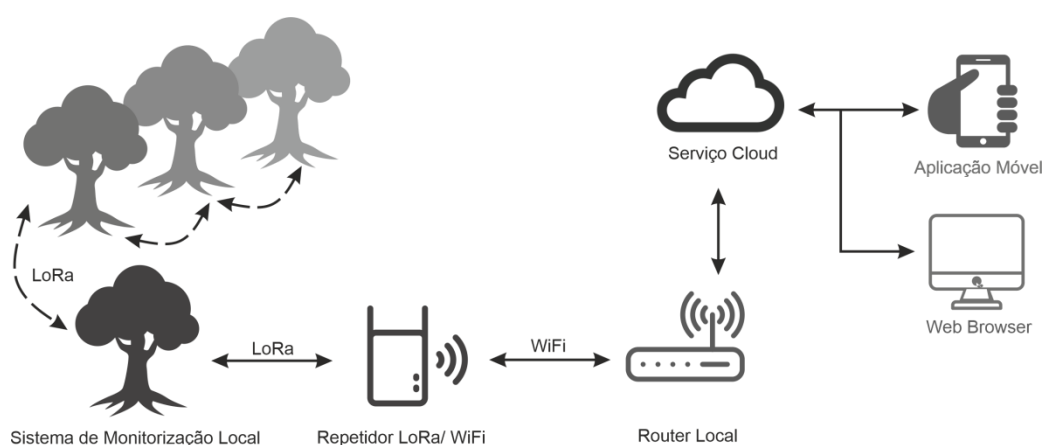


Figura 4.1 - Representação da estrutura de funcionamento proposta.

Na fase de implantação, todo o olival deve ser dividido em pequenos sectores, sendo que deve existir pelo menos um dispositivo de monitorização por sector. Este dispositivo deve também

ser colocado em uma zona central do sector, de modo a partilhar as mesmas condições ambientais que todas as oliveiras ao seu redor. Esta prática permitirá a redução do número de dispositivos necessários e consequentemente do custo de implementação. Quanto ao repetidor central, este deverá ficar instalado numa infraestrutura que se encontre dentro do alcance de comunicação *LoRaWAN* e que possua acesso à internet através de *Wifi*.

Numa ótica funcional, todo o processo de monitorização de dados é iniciado com o envio de um sinal de ativação por parte do repetidor central para cada um dos dispositivos de monitorização. Esta comunicação seletiva entre o repetidor e cada um dos dispositivos é realizada com recurso ao endereço de identificação de cada dispositivo. Este sinal de ativação é repetidamente enviado pelo repetidor central com um intervalo de tempo pré-determinado pelo utilizador, o que vai definir a taxa de amostragem. Ao receber o sinal de ativação, o dispositivo, que se encontrava em *sleep mode* (de modo a reduzir o consumo de energia e alargar a sua autonomia), desperta e é então iniciada a rotina de leitura dos sensores e o posterior reenvio dos dados monitorizados para o repetidor central. Toda a comunicação entre o repetidor e os dispositivos de monitorização é realizada com recurso à tecnologia *LoRaWAN*.

Se, porventura, existir um dispositivo que não consiga comunicar diretamente com o repetidor central devido a obstruções, interferências ou uma grande distância entre os dois, a comunicação entre o dispositivo e o repetidor pode ser feita por nós, ou seja, fazendo uma ponte entre ambos por meio de outros dispositivos intermédios.

Para facilitar a análise da informação obtida através dos dispositivos presentes em cada um dos sectores do olival, o repetidor central, após a receção dos dados monitorizados, vai realizar um *upload* dos mesmos para um serviço de *Cloud*, com recurso a uma rede *Wifi* local pré-existente. Desta forma, é possível aceder à informação obtida e ao seu histórico em qualquer local do mundo, tanto através de qualquer *Web browser* como também por meio de uma aplicação móvel para a plataforma *Android* desenvolvida especialmente para o efeito.



Figura 4.2 - Render do dispositivo instalado numa oliveira.

Antes da elaboração do dispositivo, este foi desenhado numa ferramenta CAD (SolidWorks), encontrando-se os desenhos técnicos em anexo com as respetivas dimensões externas e internas, e foram feitos *renders* do mesmo, visualizados na figura 4.3. Ambos os processos referidos foram realizados com o intuito de perceber qual o formato mais indicado para que todos os constituintes do sistema se encontrassem na disposição adequada, para que o próprio dispositivo ficasse bem colocado na árvore e de forma a evitar eventuais problemas, como contato da chuva ou de animais com a parte elétrica e até mesmo para tentar evitar a entrada de poeiras.

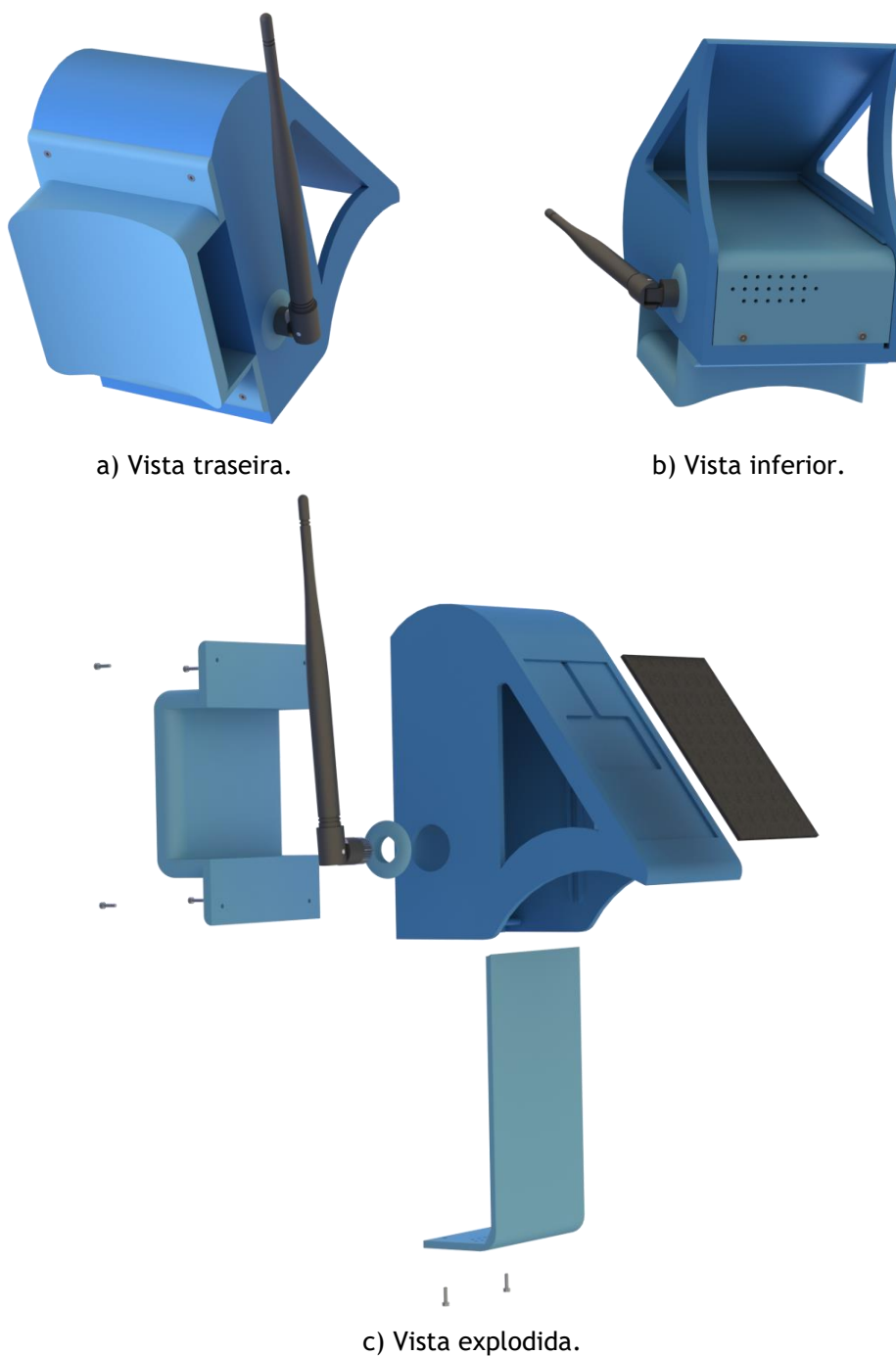
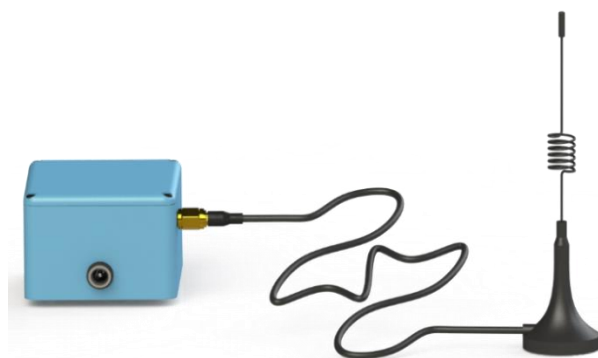
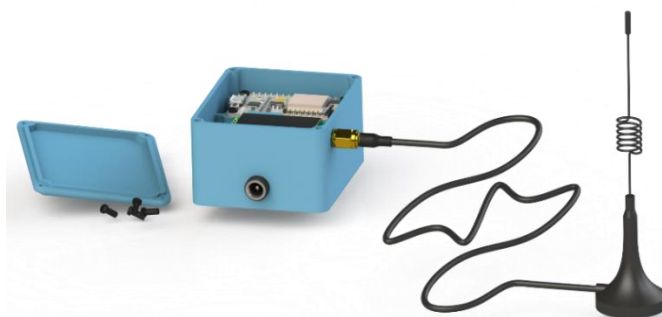


Figura 4.3 - Renders do protótipo do dispositivo de monitorização.

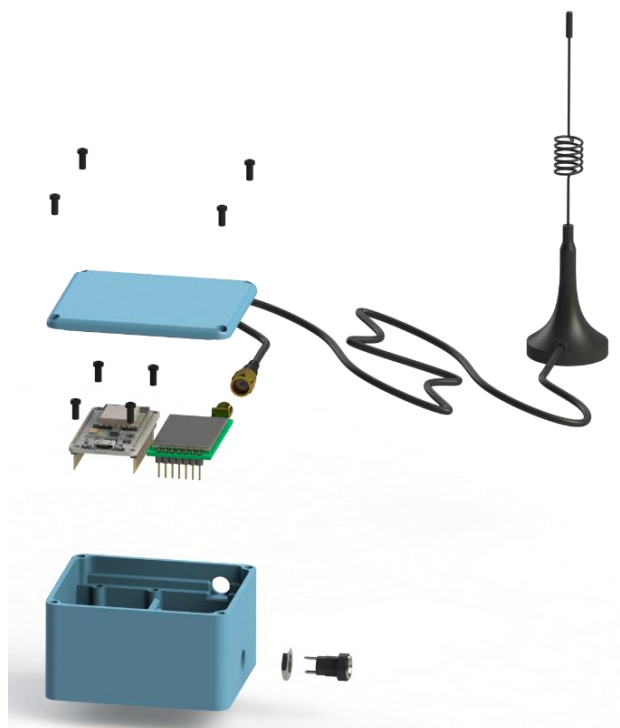
O mesmo foi feito com o repetidor central. Assim, com recurso à figura 4.4, foi possível perceber qual a melhor maneira de encaixar os componentes que constituem o repetidor.



a) Vista geral.



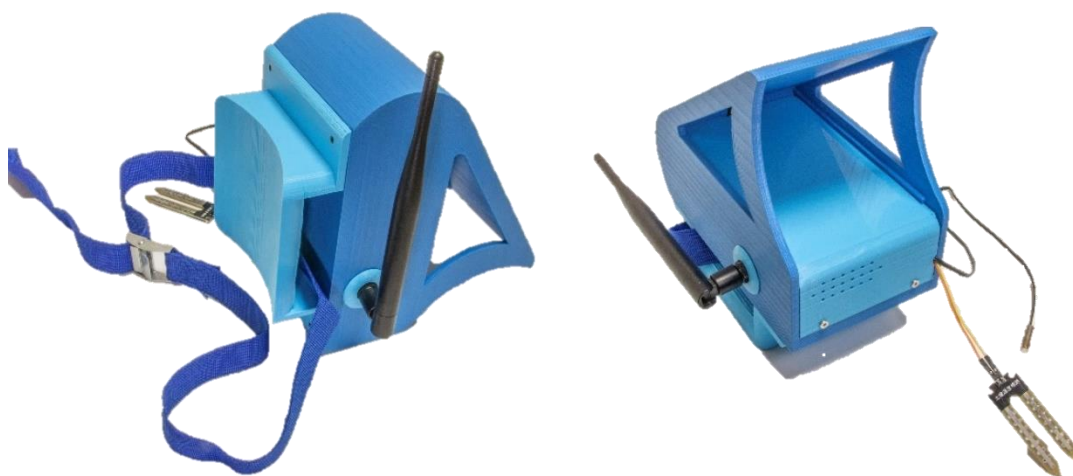
b) Vista geral com interior do repetidor.



c) Vista explodida.

Figura 4.4 - Renders do repetidor central.

Desenvolvidos todos os desenhos técnicos, os *renders* e escolhidas as medidas e disposições ideais, foi então impressa numa impressora 3D, em PLA, a versão definitiva do dispositivo que se pode ver, em vários ângulos, na figura 4.5 já com os respetivos componentes.

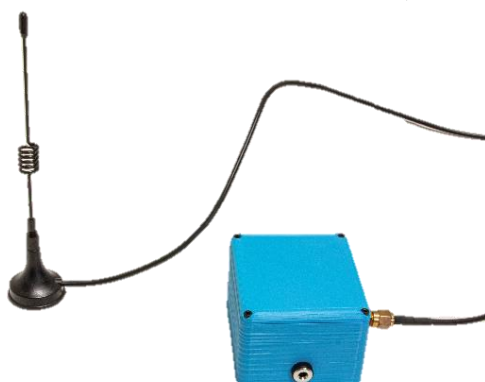


a) Vista traseira.

b) Vista inferior.



c) Vista Interior.



d) Vista geral do repetidor.



e) Vista do interior do repetidor.

Figura 4.5 - Fotografias diversas do dispositivo e do repetidor.

Por fim, na figura 4.6 é possível visualizar uma comparação entre o desenho computacional realizado na ferramenta CAD e o dispositivo construído.

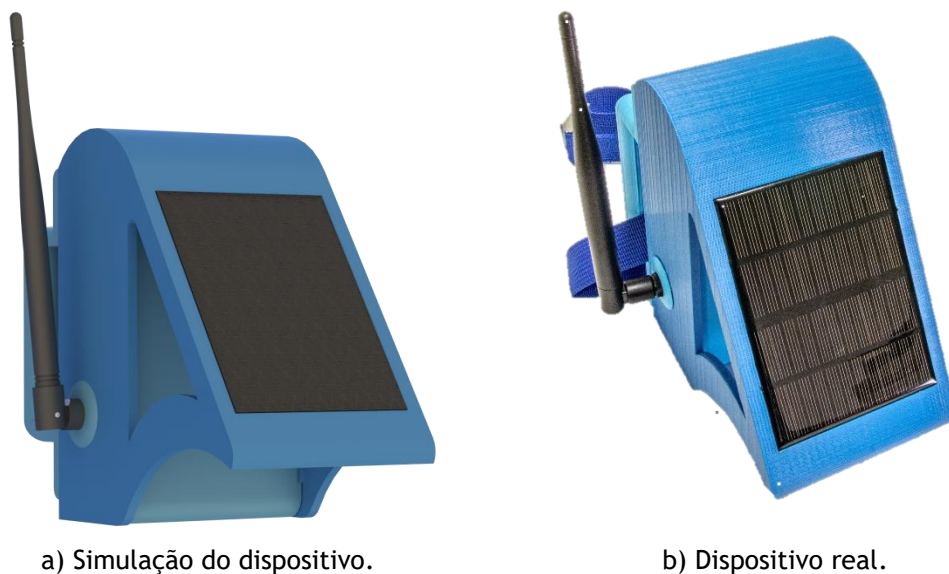


Figura 4.6 - Comparação entre o desenho computacional e o dispositivo construído.

Uma vez compreendido o funcionamento deste protótipo, será realizada nos próximos subcapítulos uma elucidação mais aprofundada dos elementos escolhidos para constituir este dispositivo. De forma a entender e definir devidamente os constituintes e o método pelo qual este se rege, os subcapítulos seguintes vão estar separados em *hardware* e *software*.

4.2. Hardware

A figura 4.7 apresenta a topologia em diagrama de blocos do sistema implementado. Como ilustrado, a alimentação do dispositivo é feita através de energia fotovoltaica. Para que a extração de energia fotovoltaica seja eficiente e o carregamento da bateria *Li-Ion* siga o perfil apropriado é utilizado um conversor DC/DC isolado de topologia *Buck* com um algoritmo MPPT do tipo Tensão Constante incorporado. De forma a respeitar a gama de tensões do microcontrolador, do módulo de comunicação e dos diversos sensores é ainda utilizado um segundo conversor DC/DC *Buck-Boost* não isolado. Com isto, será possível ao sistema continuar operacional mesmo em casos em que os níveis de tensão da bateria se encontrem reduzidos. Foi utilizada uma bateria *Li-Ion* 18650 de 2600 mAh, que vai ser carregada a partir do método de carregamento *Constant Current/Constant Voltage (CC-CV)* apresentado no capítulo 2.

De seguida serão detalhados os pormenores referentes ao funcionamento de cada constituinte do diagrama de blocos.

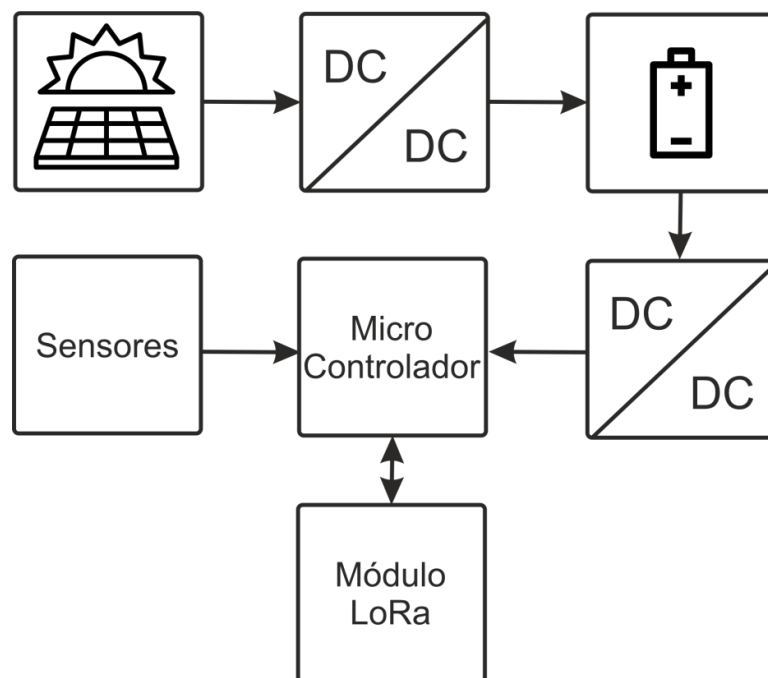


Figura 4.7 - Esquema de funcionamento do dispositivo.

4.2.1. Produção e extração fotovoltaica

4.2.1.1. Painel Fotovoltaico

As características (parâmetros elétricos, térmicos ou mecânicos) dos módulos que constituem o painel fotovoltaico são medidas nas condições de referência pelos fabricantes. No entanto, em contexto de utilização real, as condições de referência muito raramente ocorrem. Na verdade, mesmo que um módulo fotovoltaico opere num cenário que eventualmente se caracterize por uma temperatura atmosférica igual a 25°C, a temperatura do módulo será superior. Por este motivo, muitas vezes é especificada a temperatura nominal de funcionamento do módulo fotovoltaico (NOCT), definida como sendo a temperatura atingida pelas células de um módulo quando sujeitas a uma intensidade da radiação solar incidente na superfície de 800 W/m²; uma temperatura atmosférica de 20°C e uma velocidade do vento de 1 m/s. Assim, a temperatura das células do painel pode ser calculada de acordo com a equação [57]:

$$T = T_A + \frac{NOCT - 20}{800} \quad (4.1)$$

onde T é a temperatura da célula em °C, T_A é a temperatura atmosférica em °C e G corresponde à intensidade da radiação incidente em W/m².

Assim, o painel fotovoltaico selecionado para este dispositivo foi escolhido de modo a maximizar a relação potência/dimensão. Como tal, este apresenta uma potência de MPP de 1,5 W para uma superfície de 115x85 mm. Apresenta ainda uma tensão de circuito aberto de 12 V e uma corrente de curto circuito de 100 mA.

4.2.1.2. Conversor Buck responsável pela extração fotovoltaica

Para que a tensão de saída do painel fotovoltaico não exceda a tensão nominal da bateria *Li-Ion* e de modo a que se possa extrair a máxima potência disponível a cada instante, é necessária a aplicação de um conversor DC/DC controlado por um algoritmo de MPPT.

Face a esta condição, a unidade de extração fotovoltaica aplicada no sistema consiste num conversor DC/DC e é controlada pelo circuito integrado CN3791. Este circuito integrado consiste num controlador de carregamento de baterias concebido especialmente para o carregamento de baterias *Li-Ion* com um modo de comutação PWM comutado por um *P-channel MOSFET*. As principais características deste controlador consistem na alimentação do circuito a partir de uma célula fotovoltaica e na procura pelo ponto de máxima potência extraída do painel fotovoltaico [58].

Na figura 4.8 está presente o circuito de extração fotovoltaica aplicado no dispositivo. Neste, a corrente de carregamento é determinada pela resistência R_{CS} , que se encontra ligada numa das extremidades ao pino CSP e na outra ao pino BAT. A tensão final na bateria, denominada de tensão de regulação, que consiste no valor limite no modo de tensão constante, é de 4,2 V.

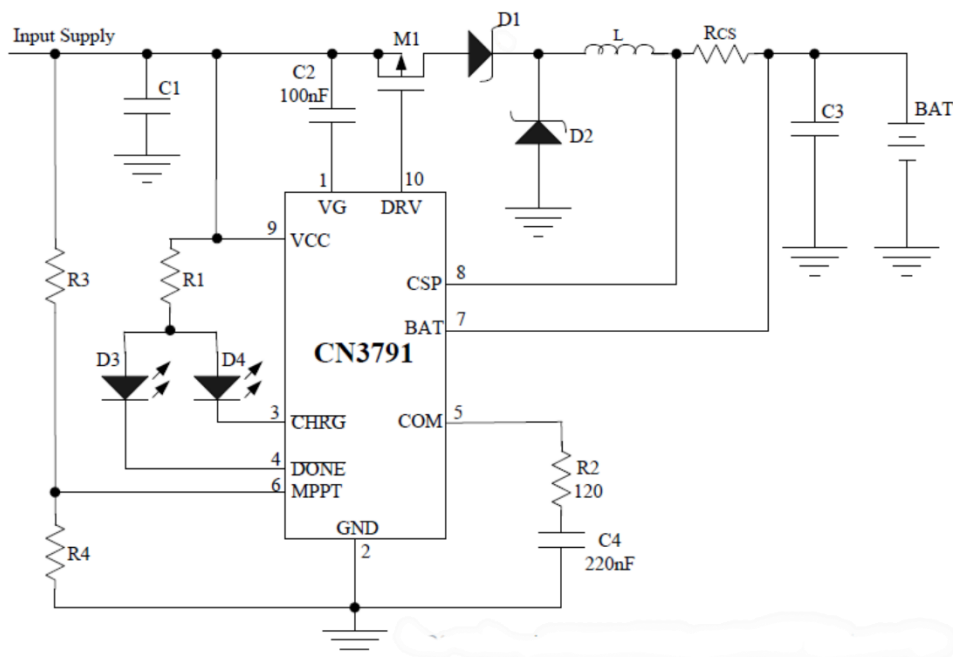


Figura 4.8 - Representação do circuito aplicado [58].

No circuito estão presentes dois condensadores que servem de proteção do sistema. O condensador de entrada, C1, absorve parte da corrente de *ripple* (oscilação de corrente) presente na alimentação do circuito integrado CN3791, ou seja, tem como função diminuir as oscilações aquando do processo de comutação entre o estado ligado e desligado do MOSFET. Por sua vez, o condensador de saída, C3, é necessário para minimizar a tensão de *ripple* (oscilações/picos de tensão) também proveniente do processo de comutação do MOSFET.

Os díodos D1 e D2 são do tipo *schottky* [58] e, como tal, existirá uma maior tensão na carga pois este tipo de diodo apresenta uma baixa queda de tensão. O D1 desempenha um papel importante no circuito, pois permite controlar a direção do fluxo da corrente, é usado como

díodo de bloqueio para prevenir o fluxo de corrente da bateria para o VCC em caso de ausência de tensão de alimentação do sistema.

Com a análise do gráfico representativo da curva I-V do painel fotovoltaico, a uma determinada temperatura, a tensão do painel no ponto de máxima potência é praticamente constante independentemente das diferenças de irradiância. Assim, o ponto de máxima potência pode então ser alcançado com a regulação da tensão de saída, como dita o algoritmo MPPT aqui utilizado, feita a partir do divisor de tensão representado na figura 4.8 por R3 e R4. A tensão referente ao MPP é determinada com a fórmula seguinte [58]:

$$V_{MPP} = 1,205 \times \left(1 + \frac{R3}{R4}\right) \quad (4.2)$$

Um ciclo de carregamento começa quando a tensão no pino VCC se sobrepõe a V_{UVLO} , a tensão na bateria passa V_{SLPR} e a tensão no pino MPPT é maior que 1,23 V. Inicialmente, se a tensão da bateria for inferior a 66,5% da tensão de regulação, V_{REG} , é feito um carregamento lento. A corrente de carregamento fica em 17,5% da corrente de carregamento nominal. Quando a bateria excede os 66,5% de V_{REG} , o carregamento passa a ser feito com o máximo de corrente, entrando no modo de corrente constante. Nesta fase, a corrente de carregamento é então determinada pela R_{CS} em conjunto com uma referência de 120 mV. Uma vez alcançada a tensão de regulação por parte da bateria, passa ao modo de tensão constante, onde a corrente de carregamento começa a decair. O ciclo termina quando a corrente atinge os 16% da corrente nominal. Uma representação gráfica desta explicação é apresentada na figura 4.9. A corrente máxima de carregamento é calculada a partir da seguinte fórmula [58]:

$$I_{CH} = \frac{120 \text{ mV}}{R_{CS}} \quad (4.3)$$

No gráfico da figura 4.9 é visível o perfil de carregamento CC-CV realizado com o auxílio do conversor DC/DC Buck, como explicado acima.

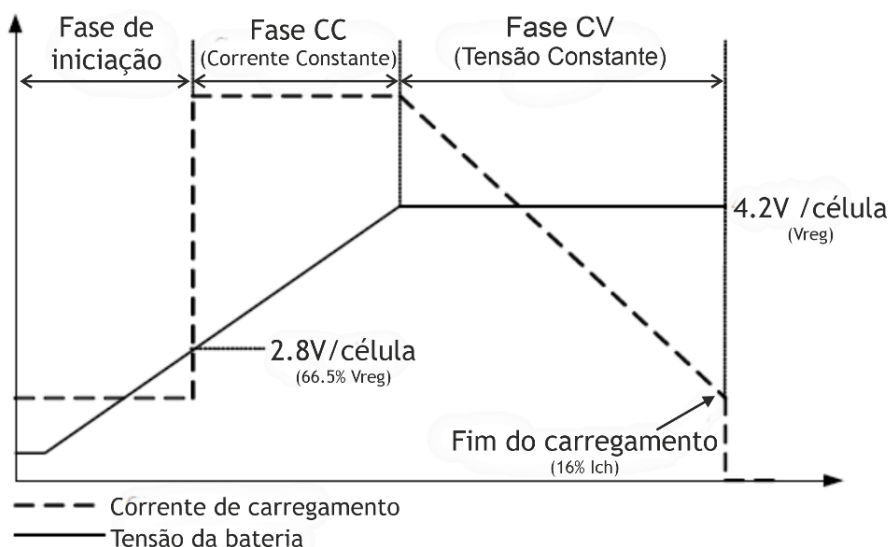


Figura 4.9 - Perfil de carregamento da bateria *Li-Ion*. (Adaptado de [58]).

Para reiniciar o ciclo de carregamento existem duas opções. A primeira consiste em remover e voltar a aplicar a tensão de entrada. A segunda opção acontece sempre que a tensão da bateria fica abaixo do limite estabelecido para recarregamento, que é qualquer valor inferior a 95,5% da tensão de regulação. Desta forma, mantém-se a capacidade da bateria sempre superior a 80% automaticamente. No caso de não estar presente uma tensão de alimentação ou quando a tensão de alimentação do sistema é inferior à tensão da bateria o controlador entra automaticamente no estado de *sleep*, estado que desliga todos os circuitos internos [58].

A sinalização do estado de carregamento, descrita na tabela 4.1, é feita pelo pino CHRG e pelo pino DONE. Quando um ciclo de carregamento termina o pino DRV é puxado para VCC, o *P-channel* MOSFET é desligado e um comparador interno desliga o *pull-down N-channel* interno do MOSFET associado ao pino CHRG. Por sua vez, um outro *pull-down N-channel* interno do MOSFET associado ao pino DONE é ligado para indicar o fim do carregamento [58].

Tabela 4.1 - Estado de carregamento. [58].

Pino CHRG	Pino DONE	Descrição do estado
Low (LED vermelho ligado)	Alta impedância (LED verde desligado)	Em carregamento
Alta impedância (LED vermelho desligado)	Low (LED verde ligado)	Carregamento completo
Em pulso (LED vermelho a piscar)	Em pulso (LED verde a piscar)	Ausência de bateria
Alta impedância (LED vermelho desligado)	Alta impedância (LED verde desligado)	A tensão no pino VCC encontra-se abaixo do limite de bloqueio de tensão ou A tensão no pino VCC encontra-se abaixo da tensão da bateria

4.2.2. Microcontrolador

A unidade de controlo consiste no microcontrolador da Atmel ATmega328P. Trata-se de um microcontrolador de 8 bits de arquitetura RISC, com uma frequência de trabalho de 16 MHz com 2 kb de RAM e uma memória *flash* de 32 kb. Além disso, contém 18 canais ADC com 10 *bits* de resolução. Também possui recursos de comunicação I²C, UART e SPI. Encontra-se disponível comercialmente em empacotamentos do tipo DIP e TQFP, sendo que tendo em conta o espaço reduzido no protótipo desenvolvido foi utilizado o empacotamento TQFP [59], ilustrado na imagem 4.10.

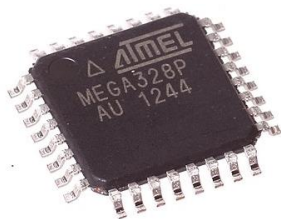


Figura 4.10 - Microcontrolador Atmel ATmega328P.

4.2.3. Módulo LoRa

O módulo de comunicação consiste no módulo EBYTE E32 433t30d, ilustrado na figura 4.11. Trata-se de um módulo de comunicação UART com uma frequência de funcionamento de 410-441 MHz, que tem por base o circuito integrado de radiofrequência SX1278 da SEMTECH e a tecnologia de comunicação *LoRaWAN*. A sua tensão de alimentação encontra-se entre os 3,3 V-5,2 V, pelo que se apresenta como um módulo ideal para dispositivos alimentados a bateria. Ademais, permite vários modos de comunicação normal, *wake up*, *power saving* e *sleep* [60].

O facto de empregar a tecnologia *LoRaWAN* permite alcançar maiores distâncias de comunicação de forma segura, na banda ISM e com baixo consumo. De acordo com testes já realizados, estes módulos permitem uma comunicação de pelo menos 8 km [60].

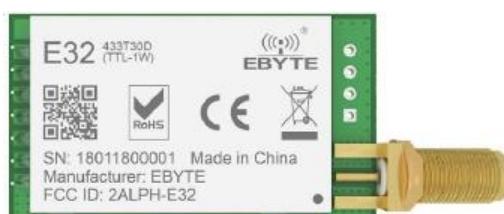


Figura 4.11 - Módulo de comunicação EBYTE E32 433t30d [60].

4.2.4. Sensores

Os sensores utilizados no dispositivo foram um sensor de temperatura interna (Termístor NTC), um sensor de temperatura e humidade atmosférica (DHT11), um sensor de humidade do solo (higrómetro) e um sensor concentração de gases (MQ-135). De seguida são apresentadas em detalhe as suas características de funcionamento.

4.2.4.1. Termístor NTC

Um termístor NTC é maioritariamente composto por óxidos de metal de transição provenientes do níquel, manganês, cobalto e cobre por exemplo, como constituintes da estrutura principal. São utilizados estes materiais, pois em comparação com os metais normais apresentam altos coeficientes de resistência de temperatura negativos [14].

O Termístor NTC consiste numa resistência sensível à temperatura e, portanto, variável com a mesma. A variação da resistência é inversamente proporcional à variação da temperatura e, portanto, à medida que a temperatura aumenta a resistência diminui e vice-versa.

Observando a figura 4.12, consegue-se perceber que a leitura da temperatura é realizada com recurso a um termístor NTC incorporado num divisor de tensão, podendo o NTC encontrar-se como representado na figura, ou comutado com a resistência R1. A equação 4.4 constitui a equação de um divisor de tensão característico do termístor.

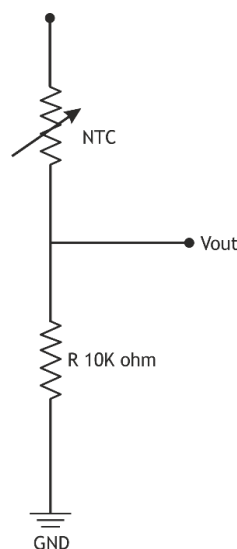


Figura 4.12 - Representação interna de um Termístor NTC.

As suas grandes vantagens consistem no seu rápido tempo de resposta, alta sensibilidade a mudanças de tensão e corrente e a estabilidade elevada.

$$V_0 = \frac{R_{baixo}}{R_{cima} + R_{baixo}} \times V_i \quad (4.4)$$

Normalmente os termístores NTC são utilizados como sensores de temperatura interna de um determinado ambiente ou como indicadores da temperatura de uma amostra líquida que se encontra em processo de arrefecimento ou aquecimento. São por isso muito aplicados em aparelhos médicos, em aparelhos de telecomunicação, eletrodomésticos, na vertente automobilística, entre outros.

4.2.4.2. DHT11

O sensor DHT11, ou também conhecido como RHT01, tem incorporado como elemento sensor de temperatura um termistor NTC e como elemento sensor de humidade um HR202, ambos ligados a um microcontrolador de 8-bits [18]. O sensor de humidade traduz-se num sensor resistivo designado por químio-resistência no geral, e no caso de leituras da humidade do ar de higro-resistência. Neste tipo de componentes a resistividade está em função da concentração de agentes químicos presentes no ambiente em causa, ou seja, dá-se a deposição de um óxido metálico de um cristal orgânico ou de um polímero condutor num material inerte. Estas resistências apresentam um coeficiente de variação negativo [61].

Na prática o funcionamento do sensor consiste no seguinte, o módulo DHT11 deteta a humidade e a temperatura com recurso aos sensores respetivos. O conversor A/D incorporado no circuito interno faz a leitura dos valores dos sensores, converte-os para sinal digital e comunica/envia os dados através de um sinal serial para um microcontrolador para a entrada digital [18].

Como referido anterior, este sensor apresenta 4 pins, Vcc, OUT, NC, GND, sendo que é necessário colocar uma resistência entre o pin Vcc e o pin OUT que irá funcionar como uma resistência *pull-up* para o pin digital do microcontrolador ao qual se encontra conectado o pin OUT [18].

A fonte de alimentação do sensor deve ser entre 3,0 V-5,5 V, sendo importante não enviar nenhuma informação/sinal ao sensor durante o primeiro segundo de forma a permitir que este passe o estado inicial instável [18]. Na tabela 4.2 é possível ver as demais especificações técnicas do sensor.

Tabela 4.2 - Especificações técnicas DHT11 [18].

Parâmetro	Valor
Humidade Relativa (Faixa de medição)	20 a 90% HR
Temperatura (Faixa de medição)	0°C a 50°C
Precisão (medição da humidade)	±5,0% HR
Precisão (medição da temperatura)	±2,0°C
Alimentação do sistema	3 V a 5 V - 5,5 V máximo
Corrente	200 µA a 500 mA a medir 100 µA a 150 µA em stand by
Tempo de resposta do sensor de humidade	Mínimo: 6 s Máximo: 15 s
Tempo de resposta do sensor de temperatura	Mínimo: 6 s Máximo: 30 s
Erro (medição da humidade)	Média: ±4% HR Máximo: ±5% HR
Erro (medição da temperatura)	Mínimo: ±1°C Máximo: ±2°C

A comunicação e sincronização entre o microcontrolador (MCU) e o sensor são feitas a partir de *single-bus data format*, ou seja, barramento único. A informação transmitida consiste em duas partes, uma decimal e uma integral, tendo a informação transmitida um total de 40 bits transmitidos em 4 ms. Os 40 bits de informação são então constituídos por: 8 bits de dados integrais de humidade relativa + 8 bits de dados decimais de humidade relativa + 8 bits de dados integrais de temperatura + 8 bits de dados decimais de temperatura + 8 bits de *checksum*. Se os dados transmitidos estiverem corretos, os últimos 8 bits serão os de *checksum* [18].

A comunicação entre o MCU e o DHT11 e a respetiva comunicação do sinal consistem em 3 passos como se pode ver na figura 4.13.

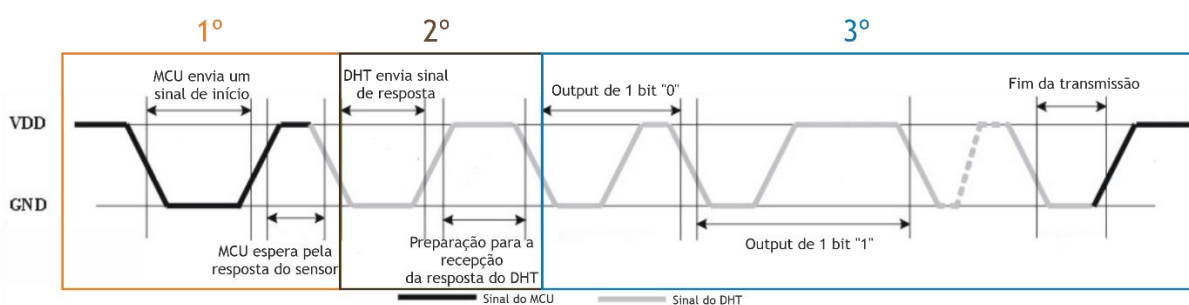


Figura 4.13 - Representação geral do processo de comunicação (Adaptado de [62]).

1º e 2º Envio do sinal de início do MCU para o DHT11 e resposta do DHT11 para o MCU μ

Como apresentado na figura 4.14, inicialmente o barramento encontra-se a um nível de tensão elevado por se encontrar livre. Quando a comunicação entre o MCU e o DHT11 começa, o MCU vai colocar a tensão do barramento num nível baixo por pelo menos 18 ms de forma a assegurar que o DHT11 recebeu o sinal vindo do MCU. De seguida, MCU vai elevar a tensão do barramento novamente e aguardar entre 20 μ s a 40 μ s pela resposta do sensor DHT11 [18].

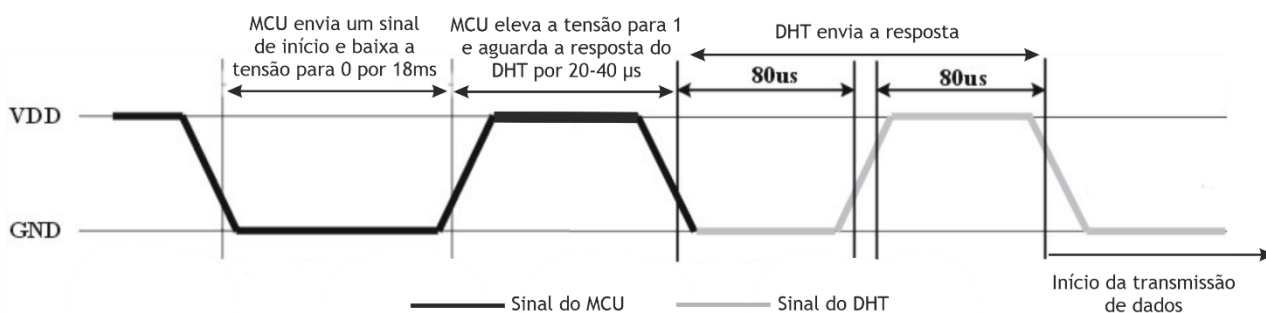


Figura 4.14 - Início da comunicação entre o MCU e o DHT11 (Adaptado de [62]).

Uma vez detetado o sinal de início pelo sensor, este vai enviar um sinal de resposta de baixa tensão que dura 80 μ s, após o qual o programa do DHT11 coloca a tensão do barramento novamente a alto durante 80 μ s de forma a permitir a preparação do DHT11 para a emissão do sinal [18].

3º Transmissão do sinal

Ao iniciar a transmissão de informação do sensor DHT11 para o MCU, cada bit de informação enviado começa num nível de tensão baixo durante 50 μ s e o comprimento do sinal seguinte, já a um nível de tensão elevado, vai determinar se o bit de informação é 0 ou 1 [18]. Se o tempo de transmissão for de 26 μ s a 28 μ s significa que o bit é 0, como mostra a figura 4.15 [18].

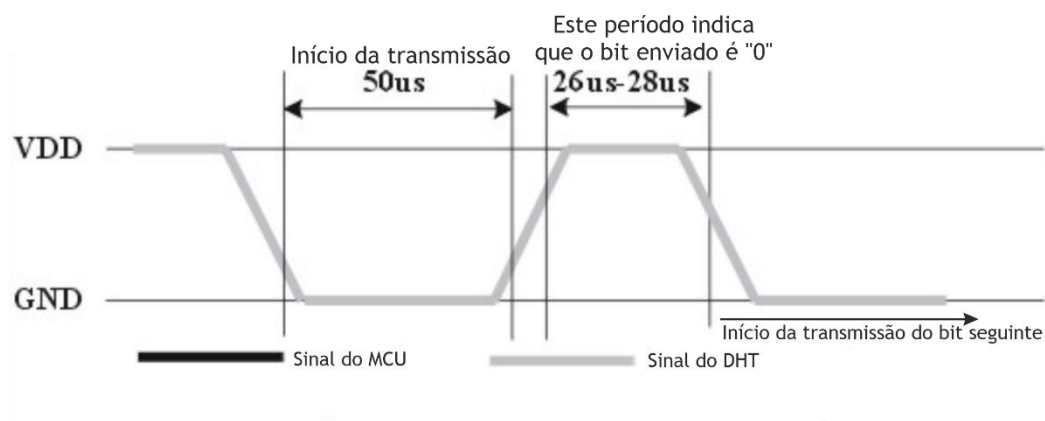


Figura 4.15 - Transmissão do sinal caso 1 (Adaptado de [62]).

Se o tempo de transmissão for de 70 μ s significa que o bit é 1, como ilustrado na figura 4.16 [18].

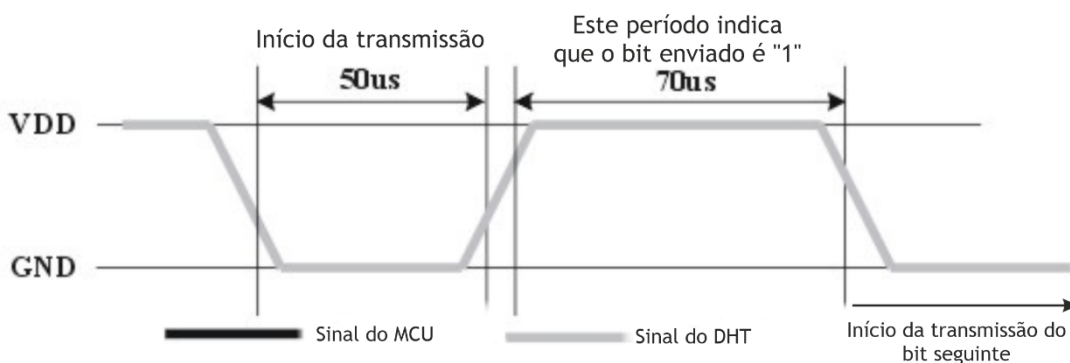


Figura 4.16 - Transmissão do sinal caso 2 (Adaptado de [62]).

Quando o último bit de informação é transmitido, o sensor DHT11 fica num nível baixo de tensão durante 50 μ s, tempo após o qual a tensão do barramento volta a ser elevada para um nível alto de forma a ficar novamente livre para comunicar [18].

Aquando da utilização deste sensor, na prática, é importante que este trabalhe dentro das condições de operação normais, que seja montado o mais longe possível de componentes que possam gerar calor e deve ainda estar protegido contra longas exposições a luz solar ou radiação

ultravioleta, todas estas condições como forma de evitar o envelhecimento precoce do sensor bem como a sua performance. [18]

O sensor DHT11 é muito semelhante ao DHT22 com a pequena desvantagem de ter uma ligeira diferença na escala de leitura dos dados, mas apresentando um custo mais reduzido.

Estes sensores são utilizados para os mais diversos fins, desde para pequenas finalidades como regular a temperatura ambiente de uma sala ligando e desligando um ar condicionado para determinados limites definidos, remover a humidade também a partir de certos valores, como para objetivos maiores como detetar a temperatura e humidade de um local em curtos intervalos de tempo, para manter a qualidade de um determinado produto, por exemplo numa horta ou num pomar, pois permite ao agricultor ter medições mais precisas e confiáveis constantemente.

4.2.4.3. Sensor de humidade do solo

O sensor de humidade do solo do tipo higrómetro, apresentado na figura 4.17, foi desenvolvido para detetar as variações de humidade do solo a partir do princípio de condutividade elétrica.

Este dispositivo consiste em duas superfícies metalizadas isoladas eletricamente uma da outra, que apenas vão estar interligadas quando existir uma substância condutora no meio, que neste caso será a água. Desta forma, o processo para o funcionamento deste sensor passa primeiramente por enterrar o mesmo na zona a monitorizar e pela aplicação de uma tensão de alimentação entre os 3,3-5,0 V que gera a passagem de corrente nos elétrodos. Se o solo se encontrar húmido, a condutividade elétrica será mais elevada entre os dois elétrodos, ou seja, irá dar-se um maior fluxo de corrente. Em contrapartida, se o solo se encontrar mais seco, existe pouca condutividade elétrica e como tal pouca passagem de corrente entre os dois elétrodos. Nesta situação, o solo vai desempenhar um papel análogo ao de uma resistência, o que significa que a corrente ao fluir de um elétrodo para o outro através do solo que lhe aplica uma certa resistência, vai criar uma diferença de potencial entre os terminais deste sensor (elétrodos). Por sua vez, é esta diferença de potencial que é lida pelo microcontrolador. Assim, pode-se concluir que sempre que o solo estiver mais seco, o sinal recebido é mais elevado e sempre que o solo estiver mais húmido, o sinal é mais baixo.



Figura 4.17 - Higrómetro.

4.2.4.4. MQ_135

O sensor utilizado, MQ-135, presente na figura 4.18, tem uma capacidade de detecção de concentrações na faixa dos 10 a 1000 ppm, conseguindo operar sempre que as temperaturas estejam entre os -10°C e os 70°C [63].



Figura 4.18 - Sensor MQ-135.

Além do gás amoníaco, o sensor MQ-135 pode detetar outros gases nocivos para a saúde da árvore e dos consumidores como o Benzeno, o Óxido Nítrico e ainda Dióxido de Carbono, resultante das reações químicas que ocorrem durante um incêndio [63]. É possível analisar a sensibilidade do sensor para estes gases no gráfico da figura 4.19.

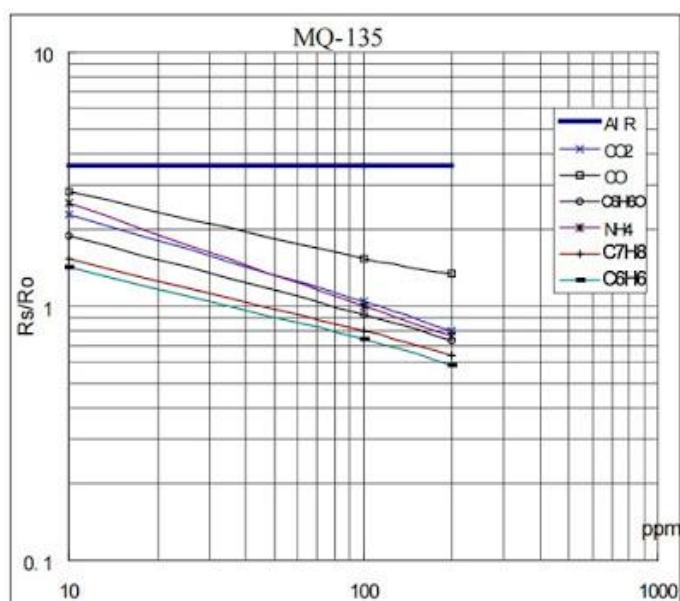


Figura 4.19 - Sensibilidade do sensor MQ-135 para os diferentes gases a 20°C e 65% HR [63].

Como grande parte dos sensores, o MQ-135 tem uma resposta ao ambiente dependente da temperatura e humidade local como mostra o gráfico da figura 4.20.

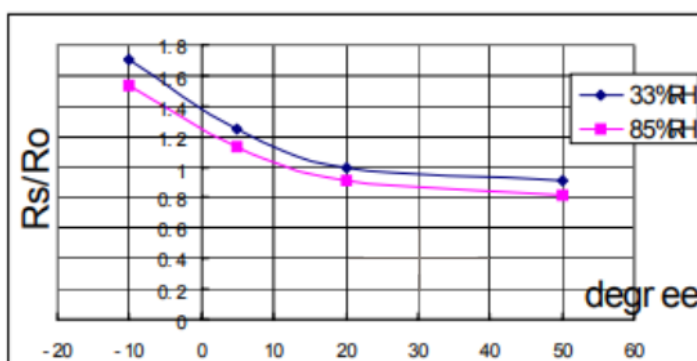


Figura 4.20 - Relação da sensibilidade do sensor MQ-135 com a variação da temperatura e da humidade [63].

Na figura 4.21 é possível ter uma noção de como é o interior do sensor MQ-135. No centro da figura está a bobina responsável por aquecer o ar envolvente e nas extremidades os H's que fazem a ligação um ao pino de alimentação e o outro ao GND. Quanto à letra A e B, estas representam o local do sensor responsável pela deteção do gás. Um gás combustível ao entrar em contato com o elemento catalítico (bobina) origina uma combustão e o calor resultante deste processo vai aumentar a temperatura do elemento catalítico que, conseqüentemente, altera a resistência da bobina medida entre A e B. A alteração do valor da resistência entre A e B vai, por sua vez, influenciar a tensão de saída (V_{out}). Assim, se a resistência entre A e B diminuir, significa que vai haver uma maior tensão à saída e por isso uma maior concentração de gases nocivos. Caso a resistência aumente, vai haver uma menor tensão à saída e com isso pode-se perceber que existe também uma menor concentração de gases nocivos [63].

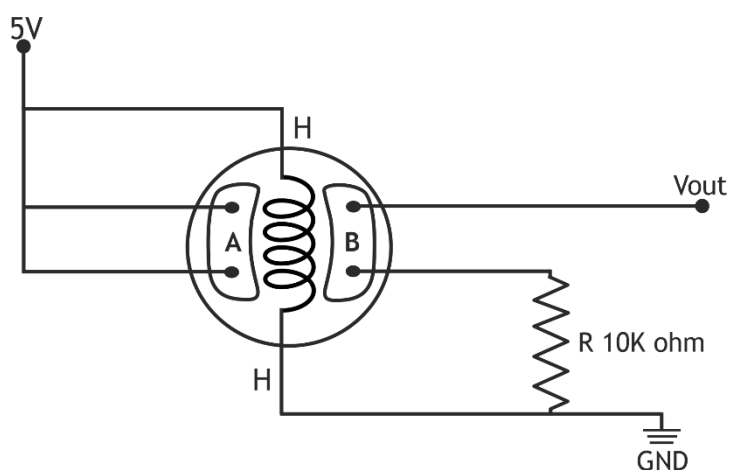


Figura 4.21 - Circuito do sensor MQ-135.

Este sensor opera com uma alimentação de 5 V consumindo uma corrente de 150 mA, aproximadamente [63].

É ainda importante aguardar um tempo denominado por *Preheat*, pois é o tempo necessário para que a resistência do sensor aqueça até à temperatura ideal de funcionamento do sensor. Esse tempo varia de acordo com o modelo a utilizar, mas normalmente basta alguns minutos até estabilizar [63].

4.3. Software

4.3.1. Lógica interna/Representação gráfica do programa

O fluxograma que se encontra neste subcapítulo, retrata a sequência operacional de etapas e decisões a realizar para obter os dados relativos aos parâmetros internos e externos de uma árvore de fruto.

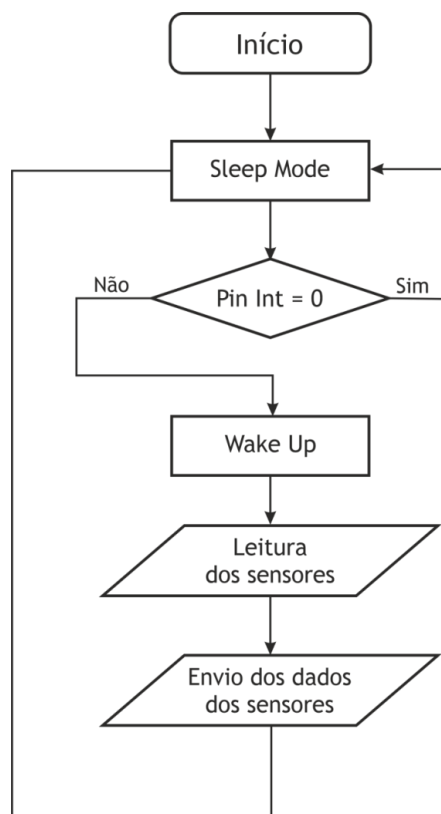


Figura 4.22 - Fluxograma descritivo do processo de funcionamento do microcontrolador.

No fluxograma da figura 4.22 encontram-se os passos fundamentais para o desenvolvimento do código implementado no microcontrolador, responsável pelo controlo do dispositivo de monitorização, que permite obter as informações adquiridas da árvore e do seu meio envolvente.

Primeiramente, ao ser iniciado o sistema, o microcontrolador vai entrar num estado de repouso chamado de *sleep mode* essencial para o controlo do dispêndio de energia. Na sua constituição, este apresenta um pino destinado para interrupções deste estado de *sleep*, sendo que sempre que esse pino estiver a 1, ou seja, sempre que receber algum comando vai despertar (*wake up*) e faz a leitura dos sensores. Posteriormente, é feito o envio destes dados via *LoRaWAN* e o sistema volta a entrar em *sleep mode* até novo estímulo do pin de interrupção.

4.3.2. Aplicação móvel

De maneira a permitir ao utilizador aceder aos dados de monitorização em qualquer parte do mundo, foi desenvolvida especialmente para o efeito uma aplicação móvel para a plataforma Android.

Nesta aplicação é possível visualizar os dados atuais de cada um dos sectores do olival, como ilustrado na figura 4.23, bem como gráficos com o histórico de todos os dados monitorizados. Assim, torna-se mais versátil e fácil a análise das variações dos parâmetros medidos ao longo do tempo.

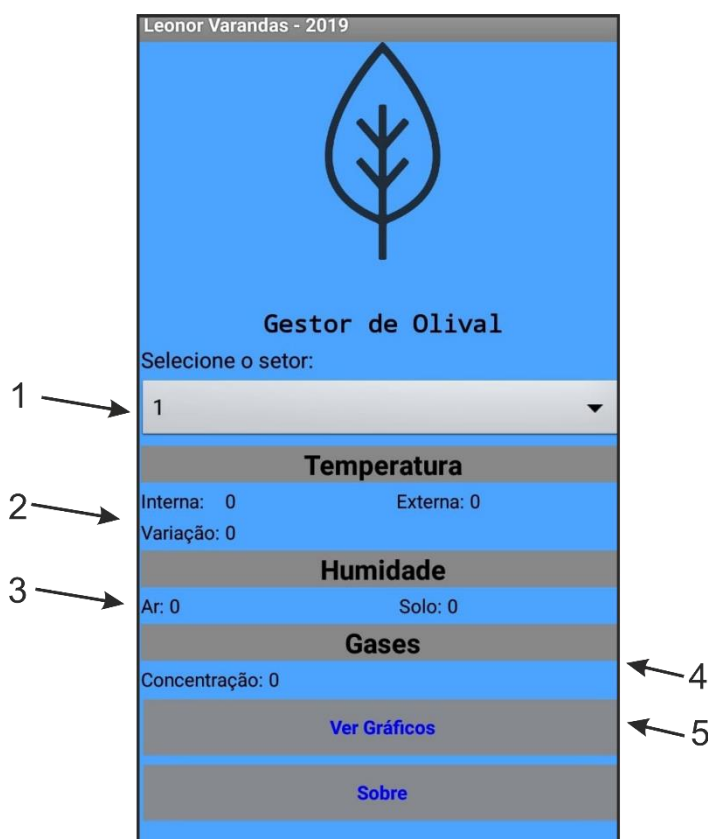


Figura 4.23 - Aplicação gestora dos dados recolhidos pelo dispositivo.

- 1- Seleciona-se o setor do qual se pretende obter informação.
- 2- Neste segmento é possível ver qual é a temperatura do interior da árvore e do ar ambiente, assim como fazer uma comparação entre as duas.
- 3- Aqui obtemos as informações referentes à humidade do ar envolvente e do solo.
- 4- Mostra a percentagem de concentração de gases nocivos.
- 5- Apresenta os gráficos dos dados recolhidos em tempo real bem como o dia e a hora a que foram obtidos.

Na figura 4.24 estão ilustradas as imagens representativas dos gráficos obtidos em tempo real com a aplicação. Para além da curva dos dados monitorizados é ainda possível ver o dia, mês, ano, dia da semana e hora de cada aquisição.

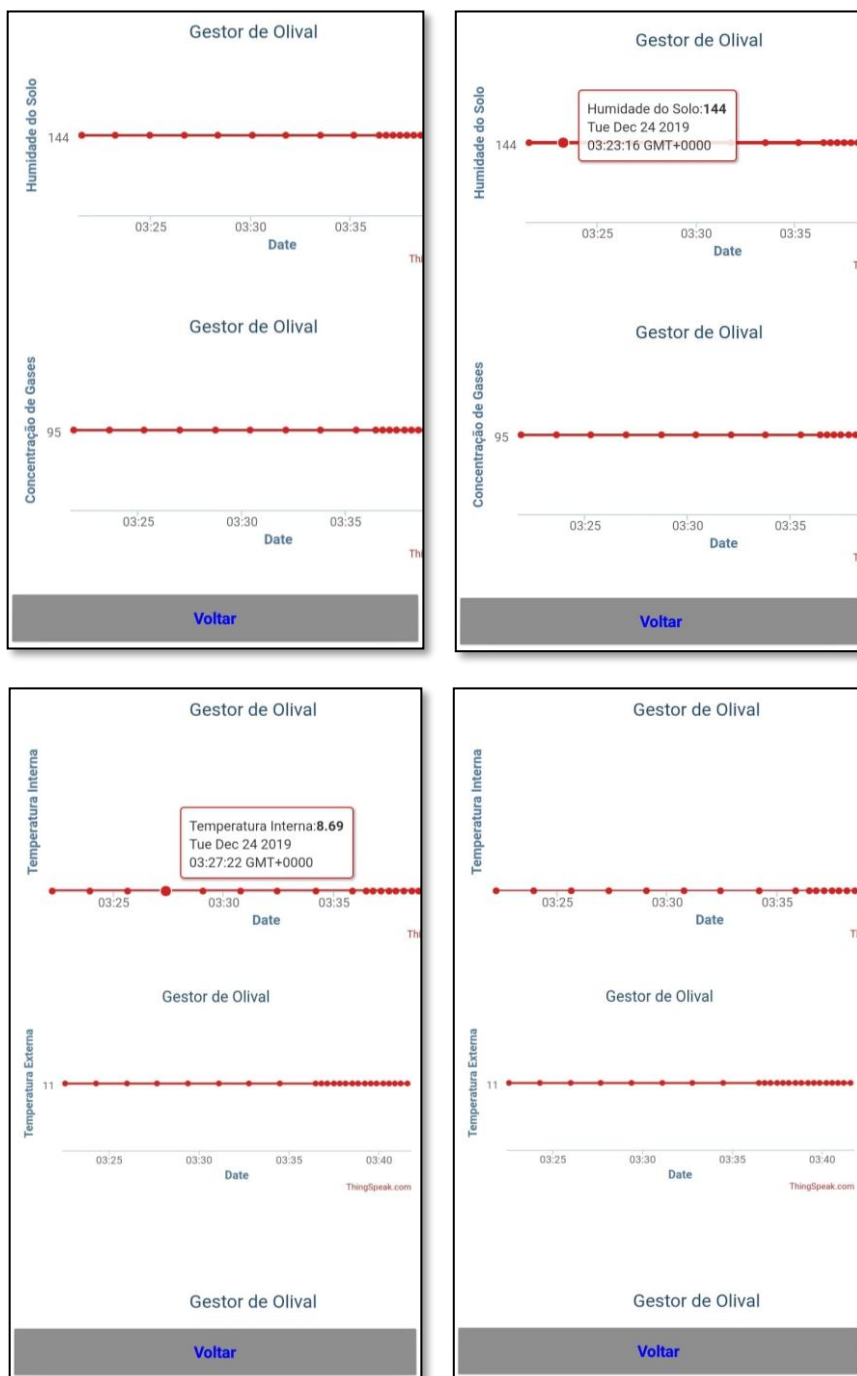


Figura 4.24 - Gráficos dos parâmetros medidos pela aplicação.

Capítulo 5

Testes Experimentais e Discussão de Resultados

De modo a testar a precisão e robustez do dispositivo desenvolvido nesta dissertação, foram efetuados dois testes experimentais numa oliveira. Para ambos os ensaios o tempo de amostragem foi de 15 segundos.

De modo a proporcionar a visualização dos dados obtidos em tempo real sob a forma de gráfico, primeiramente foi desenvolvido um *software* em ambiente *Matlab*, tendo sido, posteriormente, desenvolvida a aplicação móvel apresentada no capítulo 4.

5.1. Ensaio experimental 1

O primeiro ensaio foi realizado após um dia de chuva com algum sol nas primeiras horas e depois com o aparecimento de nuvens. O ensaio experimental 1 decorreu durante 12 h, tendo começado às 6 h e terminado às 18 h. Na figura 5.1 é apresentado o gráfico que mostra a variação da temperatura no interior e no exterior da árvore ao longo do tempo.

Começando a análise pela curva representativa da variação da temperatura ambiente, observa-se que esta inicialmente foi de 15°C às 6 h e que, com o aparecer do sol, continuou a subir até às 8 h. Aproximadamente às 12 h verifica-se uma diminuição gradual da temperatura até ao final das medições, devido ao aparecimento de nuvens que evoluiu para céu encoberto. Contudo, a variação da temperatura, quando comparadas as medições iniciais e finais, é praticamente nula e quando comparada a medição da temperatura de valor mais baixo com a de valor mais elevado, a diferença é de apenas 1°C.

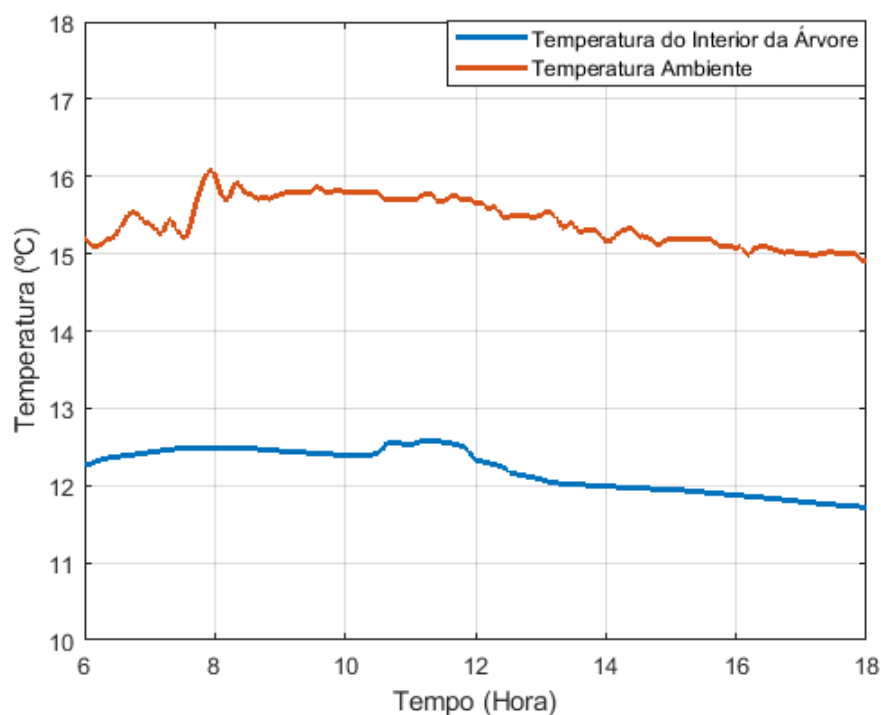


Figura 5.1 - Evolução da temperatura [°C] no interior e no exterior da árvore ao longo do tempo.

Quanto à temperatura do interior da árvore, como seria de esperar, esta apresenta um comportamento muito semelhante à temperatura ambiente, mostrando, como apresentado na figura 5.1, que a variação da temperatura interna é influenciada pela variação da temperatura ambiente. No início das medições o sensor detetou 12,2°C e no fim não mais que 11,9°C. Entre as 10 h e as 12 h observa-se um pico na temperatura interior decorrente do aumento da temperatura ambiente que ocorreu até as 8 h. Este pico não foi coincidente no gráfico com o aumento da temperatura ambiente, uma vez que se tem de ter em conta as características térmicas (condutividade térmica) da madeira e cortiça da árvore em particular. Mais uma vez, a variação de temperatura entre a primeira medição e a última é de apenas 0,3°C e entre a medição mais alta e a mais baixa de 0,6°C, aproximadamente.

Comparando os valores das temperaturas ambiente e do interior da árvore, verifica-se uma diferença aproximada de 3°C. Assumindo que a maioria das doenças tem um desenvolvimento mais rápido a partir de 25°C, e tendo em consideração em Portugal no histórico de 1971-2000, que o valor médio de número de dias com temperatura do ar superior a 25°C foi de 81 dias (IPMA; 2020), é perceptível a necessidade da utilização de produtos fitofarmacêuticos para combater estas doenças. Porém, ao existir uma diferença para a temperatura interna da árvore de cerca de 3°C, os dados fornecidos pelo sistema de monitorização permitem ao agricultor a tomada de decisão acerca da aplicação destes produtos, reduzindo-a, pois apesar de manterem a saúde das árvores, apresentam um impacto relevante no ambiente e na sua sustentabilidade a longo prazo.

Passando seguidamente à análise das humidades, é exposto na figura 5.2 um gráfico com duas curvas, uma representativa da humidade atmosférica e a outra da humidade do solo. Pode

observar-se que as medições de ambas as humidades começam elevadas, pois antecedeu-se ao ensaio um período de chuva. Porém, e apesar de se verificar em ambos os casos um decréscimo gradual e semelhante ao longo do dia, a humidade do solo não é influenciada da mesma forma pela humidade do ar, tal como acontece no caso das temperaturas.

Relativamente à humidade do ar, a variação entre o pico mais alto e o pico mais baixo das medições foi de 11%, aproximadamente. Todavia, a humidade experienciou um reduzido decréscimo devido à falta de sol na grande maioria do tempo em que decorreram as medições.

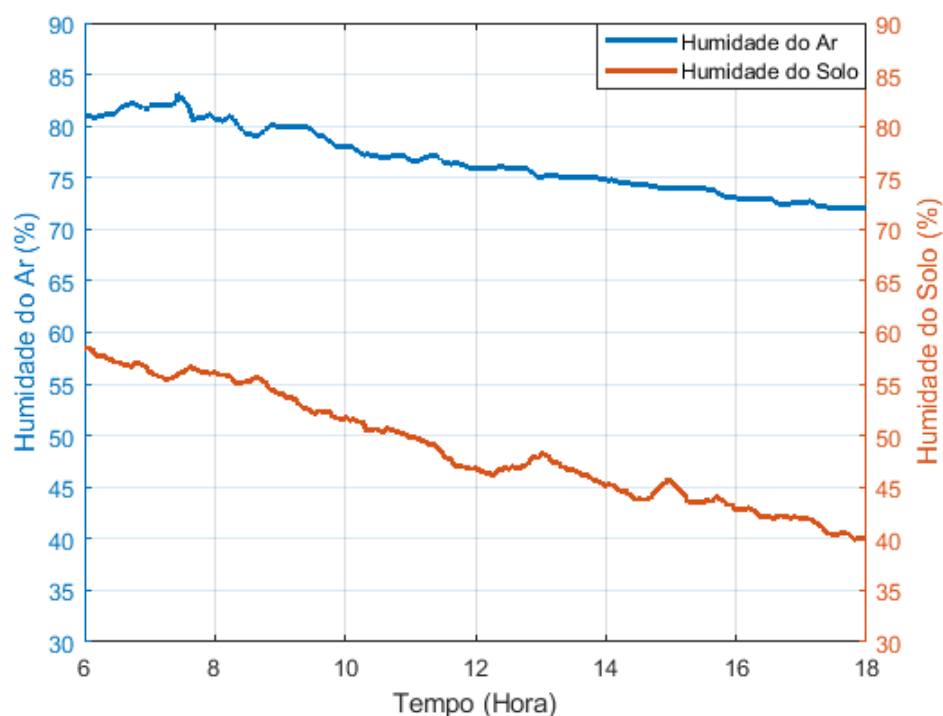


Figura 5.2 - Evolução da humidade [%] atmosférica e do solo ao longo do tempo.

Quanto ao comportamento da humidade do solo, observando mais uma vez a figura 5.2 constata-se que a humidade começou com um valor próximo dos 59% e foi diminuindo gradualmente até aos 40%. Além disso, observa-se que a humidade do solo é inferior à humidade do ar, situação justificada pelo facto de o sensor de medição se encontrar debaixo da copa da árvore aquando do período de medições, onde a chuva acabava por ter menos acesso bem como por se encontrar inserido na zona das raízes, onde parte da água, essencial para o processo de medição do sensor, foi sendo absorvida. Assim, a variação de humidade entre o pico mais alto e o pico mais baixo é de 19%.

Por fim o gráfico da figura 5.3, referente à concentração de gases medidos pelo sensor MQ-135, permite determinar qual a percentagem de gases presentes no meio envolvente ao sensor. Pode-se constatar que a percentagem de gases na atmosfera envolvente da árvore é relativamente baixa, não chegando sequer a atingir 1% numa escala de 0% a 100% de gases nocivos detetados pelo sensor. Apesar de haver um crescimento ao longo do período de medições, este é de apenas 0,009%, não se mostrando significativo. Esta situação seria expectável, caso não houvesse qualquer fenómeno físico, natural ou forçado pelo Homem, que levasse a que grandes concentrações de gases fossem encontradas em ambiente externo.

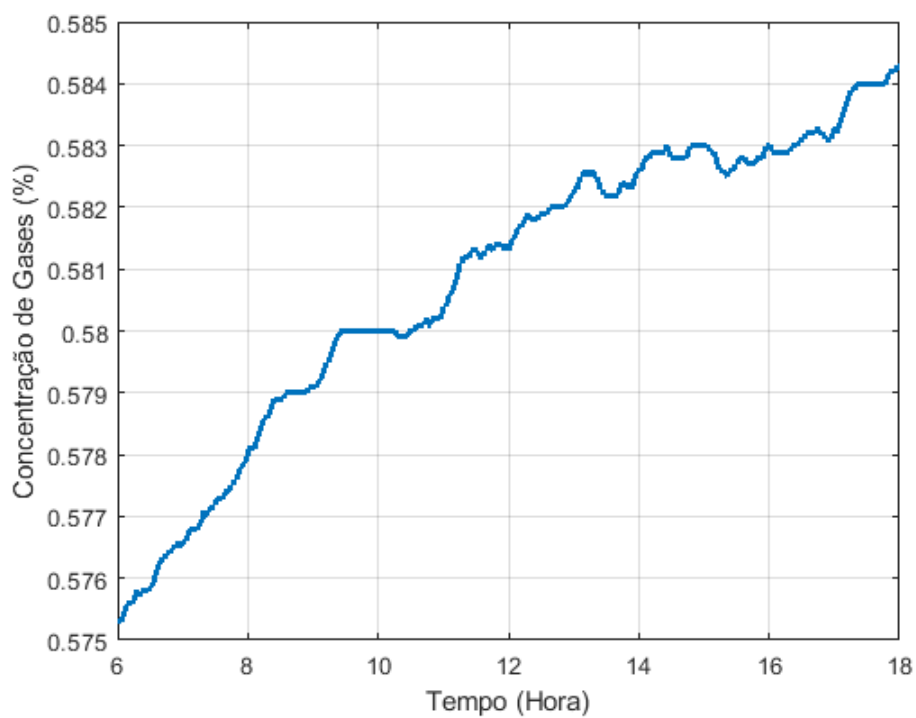


Figura 5.3 - Evolução da concentração de gases [%] do ar envolvente da árvore ao longo do tempo.

5.2. Ensaio experimental 2

O ensaio número 2 foi realizado num período de 24 horas, num dia com períodos de sol e tempo encoberto e uma madrugada com alguma chuva. As medições começaram às 00 h e acabaram às 00 h do dia seguinte. Na figura 5.4 é apresentada a evolução da temperatura no interior e no exterior da árvore.

Iniciando a análise com a curva da temperatura ambiente, pode verificar-se que o ensaio começou com valores na ordem dos 15,5°C e terminou nos 19,5°C, aproximadamente. Até ao aparecimento do sol, por volta das 14 h, houve maioritariamente um decaimento do valor da temperatura, seguido por um aumento significativo. Este aumento deveu-se muito à disposição do dispositivo na direção do sol. Os picos presentes entre as 18 h e as 24 h dizem respeito a erros de leitura do sensor, como consequência de um mau contato ou pequenas falhas na comunicação.

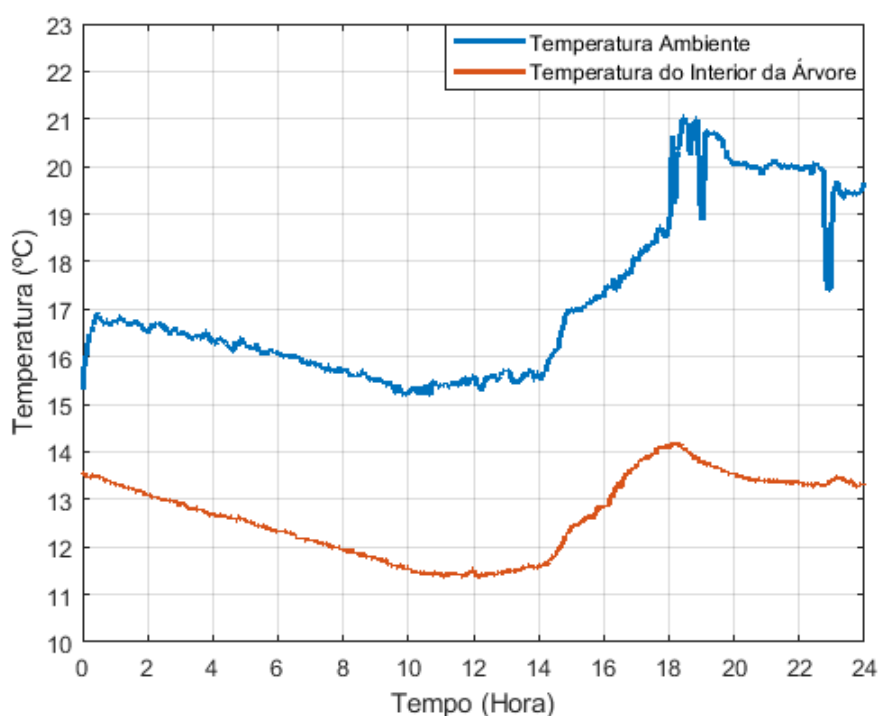


Figura 5.4 - Evolução da temperatura [°C] no interior e no exterior da árvore ao longo do tempo.

Relativamente à temperatura do interior da árvore, ao longo das medições o sensor experienciou, num primeiro período, um decréscimo de temperatura de 13,5°C até 11,5°C, resultado de uma diminuição da temperatura externa. Da mesma maneira, com o descobrir do sol e com a disposição do dispositivo na direção do mesmo nessa altura do dia, a temperatura conseguiu subir num período de 4 h cerca de 2,5°C. Por fim, com o pôr do sol, a temperatura diminuiu gradualmente cerca de 0,9°C em 6 h. Comparando os valores das temperaturas ambiente e do interior da árvore, verifica-se uma diferença aproximada de 4°C. As conclusões indicadas anteriormente são deste modo fortalecidas.

Uma vez que ocorreu um período de chuva inicial, ambas as curvas características da variação da humidade do ar e do solo representadas no gráfico da figura 5.5 apresentam valores iniciais de sensivelmente 90%. Como explicado no ensaio 1, a humidade do solo não é influenciada da mesma forma pela humidade do ar, como acontece no caso das temperaturas e, como tal, é possível observar no gráfico que a variação da humidade do ar sofreu muito mais perturbações que a variação da humidade do solo. A humidade do ar começou elevada, em torno dos 90%, mantendo-se dentro de níveis elevados até ao final das medições. As mudanças bruscas experienciadas entre as 10 h e as 19 h estão relacionadas com as elevadas deslocações de ar que facilitam a chegada ao sensor de pequenas partículas características do tempo húmido sentido nesse dia. Sensivelmente às 18 h e as 23 h, observa-se um pico devido a erros de leitura do sensor, assim como se pode verificar no gráfico da temperatura atmosférica. A variação da humidade, quando comparados o pico mais alto e o mais baixo atingidos com as medições, é de aproximadamente 20%.

Quanto à humidade do solo, esta apresenta-se coincidente com a humidade do ar, porém, com um perfil mais estável de decaimento, pois a variação da humidade do solo nunca é exatamente igual à da humidade do ar por não estarem inteiramente relacionadas. Os seus valores variam, assim, entre os 66% e os 90%, como mostra a figura 5.5.

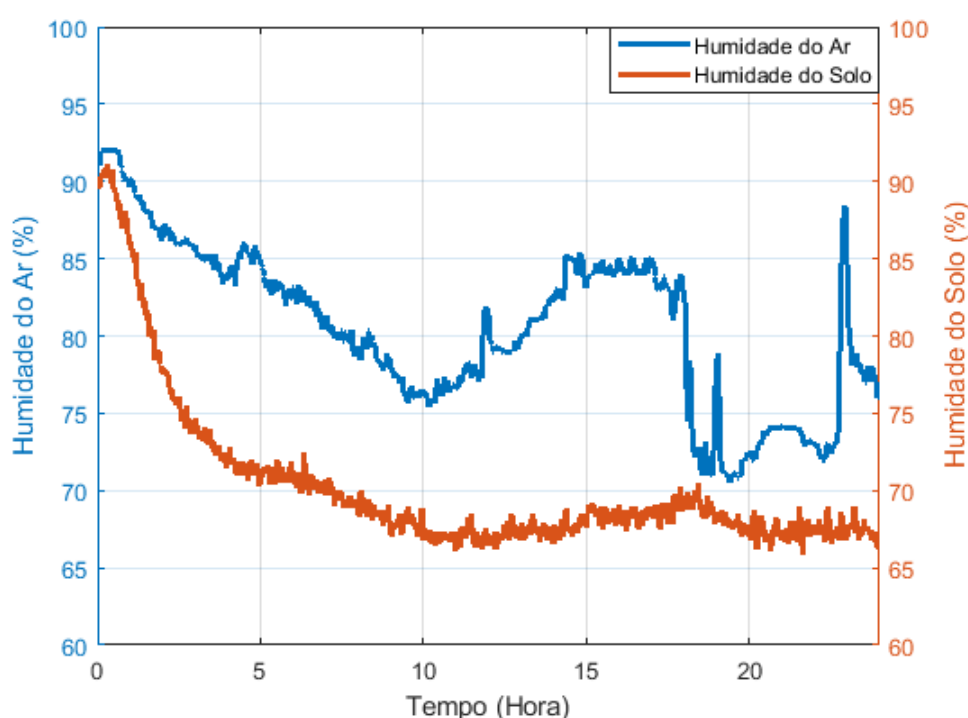


Figura 5.5 - Evolução da humidade [%] do ar e do solo ao longo do tempo.

Por fim, o gráfico da figura 5.6 apresenta a concentração de gases presentes na atmosfera envolvente da árvore durante o período do ensaio 2. Esta concentração mostrou-se sempre baixa, nunca passando dos 0,18% numa escala de 0% a 100% de gases nocivos detetados pelo sensor. No que diz respeito ao pico inicial, este está relacionado com o tempo de *PreHeat* durante o qual as leituras são um pouco inconstantes até o sensor estabilizar e o pico entre as 18 h e as 20 h está relacionado com erros na leitura por parte do sensor.

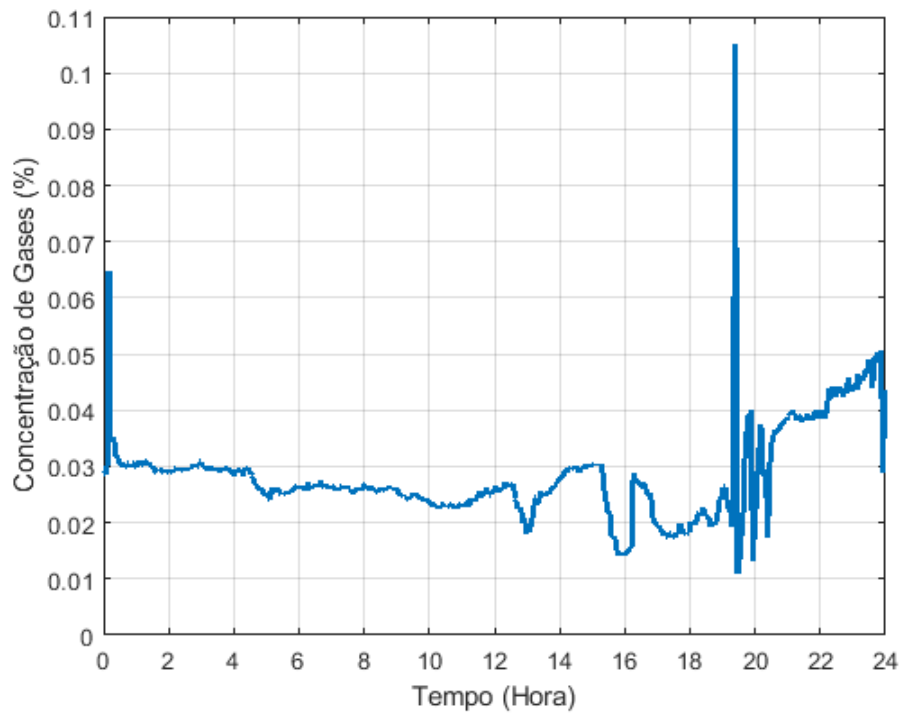


Figura 5.6 - Evolução da concentração de gases [%] do ar envolvente da árvore ao longo do tempo.

5.3. Teste de alcance

Para além dos testes desenvolvidos ao funcionamento do dispositivo, foi ainda realizado um teste com o intuito de perceber qual o alcance máximo de comunicação conseguido pelo aparelho. Para a realização deste teste foi colocado o dispositivo de monitorização dos parâmetros da envolvente de uma árvore numa oliveira localizada no ponto A da figura 5.11 e o gateway, ligado a um *datalogger*, no ponto B. Entre estes dois pontos existia linha de vista, tendo sido por isso atingidos aproximadamente 10 km de alcance de comunicação. No entanto, a transmissão sofreu de algumas falhas.

Na figura 5.11 é então possível visualizar a localização entre o local do gateway (B) e o local do dispositivo (A), bem como a linha entre os dois pontos e o respetivo alcance.

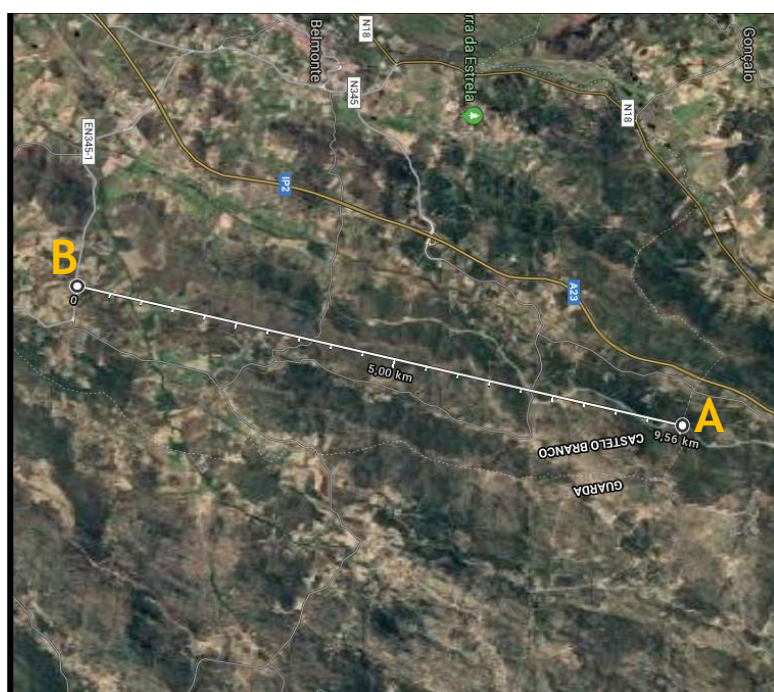


Figura 5.7 - Imagem de satélite representativa do alcance de comunicação.

5.4. Nota conclusiva

Após a realização dos testes e da análise dos respetivos dados monitorizados, podem fazer-se algumas conclusões sobre este método de monitorização.

Começando pelos gráficos das temperaturas e fazendo uma breve comparação entre os dados obtidos em cada um dos mesmos, pode-se concluir que a temperatura interna da árvore é sempre mais baixa que no exterior, pois com temperaturas baixas, constantes mudanças de temperatura ambiente envolvente (sempre dentro de valores considerados baixos) e sabendo que a madeira tem, em certa parte, isolamento térmico, a árvore não consegue reter muito calor no seu interior. O oposto também acontece em tempos muito quentes. Por ter isolamento

térmico e por estar sujeita a temperaturas muito elevadas, a árvore absorve calor e não consegue dissipar algum desse calor para o exterior, porque a temperatura envolvente continua a ser muito elevada. Os valores das temperaturas ambiente e do interior da árvore diferem cerca de 3,5°C. Esta diferença é muito relevante quando se trata da temperatura limiar de aplicação de produtos fitofarmacêuticos para combate às doenças e pode ditar a menor/maior aplicação destes produtos, com impacto nos custos e na sustentabilidade ambiental da exploração.

Passando pelos gráficos das humidades, a humidade atmosférica e a humidade do solo nunca vão variar da mesma forma, não só porque são humidades de matérias diferentes, num caso de um gás e no outro de um sólido, como têm alguns fatores de influência que diferem, dependendo do local em que o sensor é colocado (mais ou menos resguardado por exemplo) e dependendo do método de aquisição do próprio sensor.

Por último, os gráficos das concentrações de gases apenas dão uma percentagem geral, ou seja, não especificam qual o gás que está mais presente, ou mesmo qual o único gás presente. Desta forma, e de acordo com as necessidades do utilizador, pode ser feita uma adaptação ao gráfico ao fazer a conversão para o gás desejado, pois existem fórmulas de conversão específicas para cada gás detetado que dão os resultados em ppm. Ainda, podem até ser feitos todos os gráficos individualmente, caso se queira saber a concentração de cada gás individualmente.

Capítulo 6

Conclusão

6.1. Considerações finais

Face às más políticas agrícolas implementadas nas últimas décadas, ao grande crescimento populacional que conseqüentemente leva à necessidade de um aumento das produções, às alterações climáticas, à degradação ambiental e aos infestantes, fruto de todos estes fatores, cada vez mais os agricultores veem o seu negócio comprometido.

Um dos focos principais entre os agricultores neste momento é o combate atempado ao aparecimento de doenças e pragas nas suas plantações sem o recurso excessivo a pesticidas, pois estes não só podem afetar o próprio produto como, posteriormente, podem pôr em risco a saúde humana tanto a médio como a longo prazo. Para mitigar este problema é importante ter em conta parâmetros como temperatura e humidade, sendo que são fatores cruciais no aparecimento e desenvolvimento tanto das pragas como das doenças. Assim, e tendo como foco e árvore pioneira a Oliveira, foi desenvolvido um dispositivo apresentado nesta dissertação.

Existem já diversos sensores comerciais para a realização da monitorização de todos os parâmetros medidos pelo dispositivo desta dissertação. Assim, como sensor de medição de temperatura interna foi escolhido um termistor NTC, por apresentar uma maior sensibilidade, um tempo de resposta mais rápido e um tamanho mais reduzido. Como sensor de humidade do solo foi escolhido o higrómetro pela facilidade de implementação e análise dos dados obtidos. Já para fazer a monitorização da temperatura e humidade ambientais, foi escolhido o sensor DHT11. Todos estes sensores foram selecionados e mostraram-se adequados devido às suas características quando comparados com outros sensores existentes, bem como tendo em conta a relação custo-funcionalidade. O sensor MQ-135 foi o sensor escolhido para medir as concentrações de gases, porque era o sensor que apresentava as melhores características em termos de quantidade e tipo de gases medidos para os objetivos pretendidos. O principal ponto ao incluir este sensor era, acima de tudo, a deteção prévia de incêndios, no entanto, este também permite a deteção de substâncias químicas que possam ser tóxicas para a árvore e para a saúde do ser humano, uma vez que os alimentos podem reter resíduos dessas substâncias. Adicionalmente, ainda é possível com este sensor saber a concentração de dióxido de carbono no ar envolvente à árvore, um ponto muito importante nos dias de hoje sabendo que este é um dos fatores preponderantes no que diz respeito à poluição atmosférica.

A alimentação de todo o sistema com recurso a extração de energia fotovoltaica constitui uma vantagem para o protótipo, uma vez que o painel fotovoltaico permite que a bateria seja recarregada não havendo, assim, a necessidade da substituição da mesma. Esta capacidade permite a sua utilização em locais remotos que, por algum motivo, não possuam acesso à rede elétrica.

Um painel fotovoltaico apresenta uma característica corrente-tensão fortemente não linear. Sendo que este se encontra constantemente sob condições de temperatura e irradiância não uniformes é fulcral que se encontre, a cada instante, a operar no ponto ideal ao qual corresponde a máxima potência disponível. Assim, um sistema de extração de energia

fotovoltaica requer a utilização de algoritmos de procura do ponto de máxima potência, permitindo extrair, em todo o instante de tempo, a totalidade da potência disponibilizada pelo painel. Existem inúmeros tipos destes algoritmos discriminados na literatura, que diferem em complexidade, sensores requeridos, custo, eficiência, implementação em hardware, popularidade, entre outros aspetos. Assim sendo, foi realizada uma revisão bibliográfica dos principais algoritmos descritos na literatura e foi implementado neste dispositivo o algoritmo Tensão Constante. Este consiste na comparação entre a tensão no ponto de máxima potência e a tensão de referência. Sempre que estes valores não forem coincidentes e o valor da tensão no MPP for inferior à tensão de referência, o algoritmo vai realizar uma perturbação do ponto de funcionamento no mesmo sentido da perturbação anterior, caso contrário a perturbação é feita no sentido contrário à anterior.

De modo a extrair a maior potência disponível no painel fotovoltaico é necessário recorrer a um conversor DC/DC. Relativamente a estes conversores, os mesmos podem ser divididos em duas grandes categorias: os conversores não isolados como, por exemplo, *Buck*, *Boost*, *Buck-Boost*, e os conversores isolados, para os quais são exemplo as topologias *Push-Pull* ou *Forward*. Para extração fotovoltaica, neste dispositivo, foi utilizado o conversor DC/DC da tipologia *Buck*, pois neste caso foi necessário executar uma conversão de uma tensão mais elevada, extraída do painel, para uma mais baixa compatível com a bateria. Já para a alimentação das unidades de controlo foi utilizado um conversor *Buck-Boost*. Deste modo, é possível garantir o funcionamento do sistema, mesmo quando a tensão da bateria *Li-Ion* se encontra num valor crítico.

No que respeita ao armazenamento de energia elétrica foi utilizada uma bateria de *Li-Ion*, tendo também sido realizada uma revisão bibliográfica dos principais métodos encontrados na literatura para o seu carregamento, que conduziu à seleção e utilização do método Constant Current/Constant Voltage, devido à sua simplicidade e fácil implementação.

Para a comunicação dos dados monitorizados, existe atualmente uma grande variedade de metodologias de WSN na literatura ligadas à *Internet of Things*, que se podem dividir em grupos de acordo com a sua capacidade de alcance, e dentro das quais pode ser feita referência às topologias de comunicação LPWAN: *NB-IoT*, *SigFox* e *LoRaWAN*. A implementação da tecnologia *LoRaWAN* neste dispositivo mostrou ser uma vantagem face às restantes topologias por utilizar larguras de banda não licenciadas e por ser *open source*. Isto aliado aos grandes alcances de comunicação e ao facto de se poder utilizar para a monitorização de sensores simples e de baixo consumo energético, permitindo o desenvolvimento de um dispositivo muito mais económico.

Depois do estudo dos materiais e métodos mais indicados para o dispositivo e após a construção do mesmo com recurso a uma impressora 3D, foram realizados ensaios sobre diferentes condições ambientais para testar a eficiência e validar o bom funcionamento do dispositivo desenvolvido. Este mostrou-se bastante eficaz e concordante com a situação do ambiente real, tendo, por isso, respondido aos requisitos desejados.

Quando comparado com outros projetos já desenvolvidos dentro do mesmo âmbito, apresentados no capítulo 2, este dispositivo apresenta vantagens em relação à fonte de alimentação do sistema utilizada, ao método de comunicação escolhido e aos parâmetros analisados.

No que diz respeito ao método de comunicação utilizado, este dispositivo está desenvolvido para comunicar por *LoRaWAN*, sendo que, e tendo como exemplo de comparação as patentes

apresentadas no capítulo 2, outros dispositivos já desenvolvidos não se encontram programados para realizar comunicações a partir deste método, mas sim com métodos mais complexos, de menor alcance e mais dispendiosos como LTE, GSM, RFID ou mesmo através de conexões físicas. Quanto à fonte de alimentação, o dispositivo desta dissertação recorre à extração de energia fotovoltaica para o carregamento da célula *Li-Ion* que alimenta todo o sistema, ao passo que, nos outros dois projetos referenciados é utilizada apenas uma bateria que quando fica descarregada tem de ser substituída. Comparativamente ainda aos parâmetros medidos, este dispositivo também apresenta uma capacidade de medições muito mais ampla, medindo cinco parâmetros, enquanto os outros dois apresentados apenas medem um parâmetro cada um.

Com os ensaios experimentais foi possível perceber que é de extrema importância a realização de medições de parâmetros como a temperatura e a humidade com a maior precisão e regularidade possível, pois permite a deteção de pequenas variações que muitas vezes são cruciais. Nos ensaios experimentais foi determinada uma diferença entre os valores das temperaturas ambiente e do interior da árvore de aproximadamente 3,5°C. Esta diferença é muito relevante no que toca à decisão de aplicação de produtos fitofarmacêuticos para combate às doenças e, como tal, é importante não ter apenas como base as informações das previsões meteorológicas da temperatura máxima do ar, pois como se pôde ver nos gráficos dos resultados nem sempre essas previsões são a representação exata da temperatura da própria árvore. Esta diferença pode, desta forma, ditar a menor/menor aplicação destes produtos, com impacto nos custos e na sustentabilidade ambiental da exploração.

Desta forma, foi desenvolvido nesta dissertação um dispositivo capaz de monitorizar parâmetros da envolvente das árvores, nomeadamente, a temperatura interna da árvore, a humidade do solo junto às raízes, a temperatura e humidade da atmosfera envolvente e ainda gases nocivos para a própria árvore, como o amoníaco, e gases indiciadores de incêndios, como o dióxido de carbono. Para além disto, ainda permite fazer esta monitorização em grandes propriedades com vários hectares, devido à topologia de comunicação que utiliza para transmitir os dados, a *LoRaWAN*, capaz de atingir quilómetros de alcance de comunicação, fácil de implementar e sem custos para o utilizador. Por fim, tudo isto é ainda possível sem recorrer à alimentação do sistema através da ligação à rede elétrica, mas sim utilizando um dos melhores recursos naturais existentes atualmente, a produção de energia por extração fotovoltaica.

6.2. Perspetivas de trabalho futuro

Como perspetivas de trabalho futuro, poderiam ser melhorados alguns dos aspetos mencionados de seguida:

- Ajustes do consumo a partir da utilização de outro microcontrolador, de forma a aumentar o tempo de vida útil da bateria.
- Trocar o sensor para a medição da humidade do solo por uma sonda PR2, de forma a permitir medições mais profundas, tendo em conta que este dispositivo é destinado a árvores de fruto, e algumas das raízes alcançam mais que alguns centímetros de profundidade.
- O sensor de monitorização da temperatura e humidade atmosféricas pode também ser substituído pelo DHT22, pois este tem uma gama de deteção do nível da temperatura maior e desta forma torna a implementação do dispositivo mais ampla, tendo em conta

que as oliveiras são plantadas também em zonas do país com climas onde as temperaturas podem chegar a alguns graus negativos.

- As aberturas na tampa, destinadas à passagem de ar para detecção de temperatura e humidade atmosféricas por parte do sensor DHT11 bem como da concentração de gases por parte do sensor MQ-135, necessitam de mais estudo, pois são necessários furos de maior diâmetro para deixar passar mais ar, mas ao mesmo tempo que não deixem entrar poeiras nem água que podem condicionar o circuito interno.
- A construção da estrutura exterior do protótipo com um material mais resistente ao calor, visto que o dispositivo se vai encontrar na maioria do tempo exposto ao sol.

Referências bibliográficas

- [1] “Food and Agriculture Organization of the United Nations.” [Online]. Available: <http://www.fao.org/portugal/en/>.
- [2] “OLIVE OIL - PROVISIONAL DATA 2018/19 CROP YEAR,” 2019. [Online]. Available: <https://www.internationaloliveoil.org/olive-oil-provisional-data-2018-19-crop-year/>.
- [3] F. Mendes and M. Cavaco, “Proteção Integrada da Cultura da Oliveira,” *DGAV*, p. 94, 2017.
- [4] L. Maneta, “Maior olival do mundo é português,” *Diário de Notícias*, 2010. [Online]. Available: <https://www.dn.pt/bolsa/maior-olival-do-mundo-e-portugues-1517880.html>.
- [5] A. M. Cordeiro and C. Inês, “Que potencialidades podemos retirar de cultivares tradicionais de oliveira portuguesas?,” *INIAV*, pp. 10-13, 2018.
- [6] M. A. A. Lima and C. Matos, “Oliveiras - Divulgação de uma coleção da FAO,” *INIAV*, pp. 6-8, 2017.
- [7] A. M. Cordeiro and C. S. F. Inês, “O ciclo anual da oliveira , a fenologia e as práticas culturais no olival,” *INIAV*, pp. 10-12, 2017.
- [8] E. Prado and R. A. Silva, “Principais pragas da oliveira : biologia e manejo,” *Informe Agropecuário*, vol. 27, pp. 79-83, 2016.
- [9] S. Vos, M. Camilleri, M. Diakaki, E. Lázaro, S. Parnell, S. M, G. Schrader, and A. Vicent, “Pest survey card on *Xylella fastidiosa*,” *EFSA*, p. 53, 2019.
- [10] P. S. Pereira, A. C. Branco, R. Menino, and C. Costa, “*Xylella fastidiosa*,” *Revista da Associação Portuguesa de Horticultura*, pp. 28-31, 2017.
- [11] H. Feil, A. H. Purcell, and I. Biology, “Temperature-Dependent Growth and Survival of *Xylella fastidiosa* in Vitro and in Potted Grapevines,” *Plant Disease*, vol. 85, no. 12, pp. 1230-1234, 2001.
- [12] D. Brown, “Device and Method for Tree Health Assessment,” 2019.
- [13] T. S. Jones, “Single-Board Tree Sap Flow Sensor,” 2019.
- [14] V. S. Turkani, D. Maddipatla, B. B. Narakathu, B. J. Bazuin, and M. Z. Atashbar, “A carbon nanotube based NTC thermistor using additive print manufacturing processes,” *Sensors & Actuators: A. Physical*, vol. 279, pp. 1-9, 2018.
- [15] P. R. N. Childs, J. R. Greenwood, and C. A. Long, “Review of temperature measurement,” *Review of Scientific Instruments*, vol. 71, no. 8, pp. 2959-2978, 2000.
- [16] SENSIRION, “Datasheet SHT1x,” no. July, pp. 1-11, 2008.
- [17] L. MaxDetect Technology Co ., “Digital relative humidity & temperature sensor RHT03,” pp. 1-6.
- [18] D-robotics, “Temperature Sensor DHT11 Humidity & Temperature Sensor,” pp. 1-9, 2010.
- [19] Q. Tan, L. Tang, M. Yang, C. Xue, and W. Zhang, “Three-gas detection system with IR optical sensor based on NDIR technology,” *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 74, pp. 103-108, 2015.
- [20] A. M. Azad, S. A. Akbar, S. G. Mhaisalkar, L. D. Birkefeld, and K. S. Goto, “Solid – State Gas Sensors : A Review,” *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 139, no. 12, pp. 3690-3704, 1992.

- [21] A. Nayyar and D. Le, "A Comprehensive Review of Semiconductor-Type Gas Sensors for Environmental Monitoring," *Review of Computer Engineering Research*, vol. 3, no. 3, pp. 55-64, 2016.
- [22] S. Akbar, P. Dutta, and C. Lee, "High-Temperature Ceramic Gas Sensors : A Review," *International Journal of Applied Ceramic Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 302-311, 2006.
- [23] J. Carneiro, "MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: CARACTERÍSTICAS E ASSOCIAÇÕES," 2010.
- [24] GREENPRO, "Energia Fotovoltaica - manual sobre tecnologias, projecto e instalação," in *ALTENER*, 2004.
- [25] R. Faranda and S. Leva, "Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems," *WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS*, vol. 3, no. 6, pp. 446-455, 2008.
- [26] D. P. Hohm and M. E. Ropp, "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms," *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS*, vol. 62, pp. 47-62, 2003.
- [27] R. F. Coelho, F. M. Concer, and D. C. Martins, "A MPPT Approach Based on Temperature Measurements Applied in PV Systems," *2010 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET)*, pp. 1-6, 2010.
- [28] A. Nasr, A. Ali, M. H. Saied, M. Z. Mostafa, and T. M. A. - Moneim, "A Survey of Maximum PPT techniques of PV Systems," *2012 IEEE Energytech*, pp. 1-17, 2012.
- [29] M. Seyedmahmoudian, A. Mohamadi, S. Kumary, A. Maung, T. Oo, and A. Stojcevski, "A Comparative Study on Procedure and State of the Art of Conventional Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic System," *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 6, no. 5, pp. 402-414, 2014.
- [30] S. Surawdhaniwar and R. Diwan, "Study of Maximum Power Point Tracking Using Perturb and Observe Method," *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, vol. 1, no. 5, pp. 106-110, 2012.
- [31] T. Arunkumari and V. Indragandhi, "An overview of high voltage conversion ratio DC-DC converter configurations used in DC micro-grid architectures," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 670-687, 2017.
- [32] S. N. R. B, S. R, and Shyni S.M, "MPPT with Bi-Directional DC-DC Converter and Multi-Level Inverter for Grid Connected Hybrid System," *International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication*, pp. 773-777, 2017.
- [33] V. K. Kannan and N. Rengarajan, "PHOTOVOLTAIC SYSTEM INTERFACE WITH A DC-DC BOOST CONVERTER IN D-STATCOM FOR POWER QUALITY IMPROVEMENT," *IU-JEEE*, vol. 13, no. 1, pp. 1597-1604, 2013.
- [34] G. Suman, B. V. S. P. Kumar, M. S. Kumar, B. C. Babu, and K. R. Subhashini, "Modeling , Analysis and Design of Synchronous Buck Converter using State Space Averaging Technique for PV Energy System," *International Symposium on Electronic System Design*, pp. 281-285, 2012.
- [35] M. F. Mostafa, M. M. Aboudina, and F. A. Hussien, "Novel Buck Converter Architectures for Large Step-Down Conversion Ratio *," *International Midwest Symposium on Circuits and Systems*, pp. 773-776, 2014.
- [36] B. J. Saharia, M. Manas, and D. S. Sen, "Comparative Study on Buck and Buck-Boost DC-DC Converters for MPP Tracking for Photovoltaic Power Systems," *Second International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology*, pp. 382-387, 2016.
- [37] Y. Wang, H. Yu, and J. Yu, "The Modeling and Control of Buck-Boost Converter Based on Energy-Shaping Theory," *IEEE International Conference on Industrial Technology*, pp. 1-6, 2008.
- [38] M. R. Modabbernia, F. Kohani, R. Fouladi, and S. S. Nejati, "The State Space Average Model of Buck- Boost Switching Regulator Including all of The System Uncertainties,"

- International Journal on Computer Science and Engineering*, vol. 5, no. 02, pp. 120-132, 2013.
- [39] S. Vazquez, S. M. Lukic, E. Galvan, L. G. Franquelo, and J. M. Carrasco, "Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications," *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 57, no. 12, pp. 3881-3895, 2010.
- [40] R. Velho, M. Beir, and J. Pombo, "Management System for Large Li-Ion Battery Packs with a New Adaptive Multistage Charging Method †," *Energies*, vol. 10, no. 5, pp. 1-21, 2017.
- [41] W. Shen, T. T. Vo, and A. Kapoor, "Charging Algorithms of Lithium-Ion Batteries: an Overview," *IEEE Conf. Ind. Electron. Appl. ICIEA*, pp. 1567-1572, 2012.
- [42] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision , architectural elements , and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645-1660, 2013.
- [43] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things : A survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805, 2010.
- [44] L. Tan and N. Wang, "Future Internet: The Internet of Things," *3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(ICACTE)*, pp. 376-380, 2010.
- [45] M. Ben-daya, E. Hassini, and Z. Bahrour, "Internet of things and supply chain management : a literature review," *International Journal of Production Research*, vol. 57, pp. 4719-4742, 2019.
- [46] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella, and M. Zorzi, "Long-Range Communications in Unlicensed Bands : the Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios," *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, pp. 1-8, 2016.
- [47] R. S. Sinha, Y. Wei, and S. Hwang, "A survey on LPWA technology : LoRa and NB-IoT ☆ , ☆☆," *ICT Express*, vol. 3, no. 1, pp. 14-21, 2017.
- [48] J. Yi, T. H. Clausen, W. M. Townsley, and A. Augustin, "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things," *Sensors*, vol. 16, no. 9, pp. 1-19, 2016.
- [49] R. Ratasuk, B. Vejlgaard, N. Mangalvedhe, and A. Ghosh, "NB-IoT System for M2M Communication," *IEEE*, pp. 2-6, 2016.
- [50] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," *ICT Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1-7, 2019.
- [51] L. Alliance, "A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™," pp. 1-20, 2015.
- [52] N. Varsier and J. Schwoerer, "Capacity Limits of LoRaWAN Technology for Smart Metering Applications," *IEEE ICC 2017 SAC Symposium Internet of Things Track*, pp. 1-6, 2017.
- [53] F. Ait, M. Gautier, M. Magno, M. Le, O. Berder, and L. Benini, "Long-short range communication network leveraging LoRa™ and wake-up receiver," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 56, pp. 184-192, 2018.
- [54] B. Reynders and S. Pollin, "Chirp Spread Spectrum as a Modulation Technique for Long Range Communication," no. 2, pp. 1-5, 2016.
- [55] T. T. Network, "LoRaWAN Security," 2020. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/security.html>.
- [56] "LoRa Alliance." [Online]. Available: <https://lora-alliance.org/lorawan-for-developers>.
- [57] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science*. John Wiley and Sons, 2003.
- [58] Consonance Electronics, "4A , Standalone Li-ion Battery Charger IC With Photovoltaic Cell MPPT Function CN3791," pp. 1-11.
- [59] Atmel Corporation, "Atmel ATmega328P - Datasheet," pp. 1-452, 2009.

- [60] L. Chengdu Ebyte Electronic Technology Co., “E32 - 433T30D User Manual,” 2019.
- [61] V. Fonte Dias, “Sebenta Multimédia de Análise de Circuitos Eléctricos,” 1996. [Online]. Available:
http://intranet.deei.fct.ualg.pt/AC/Sebenta_Online/www.isr.uc.pt/~paulino/cse/Sebenta_Online/capa.htm.
- [62] AOSONG, “Temperature and Humidity Module: DHT11 Product Manual,” pp. 1-9.
- [63] L. HANWEI ELECTRONICS CO., “MQ-135 - Datasheet,” pp. 1-2.

ANEXOS

Anexo A - Código do microcontrolador

```
int ThermistorPin = 0;
int i;
float R1 = 10000;
float Vo, logR2, R2, T, Tc[50], Tf[50], mediaTc, mediaTf;
float c1 = 1.009249522e-03, c2 = 2.378405444e-04, c3 = 2.019202697e-07;
int valor_analog;
bool valor_dig;

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    pinMode (5, INPUT);
    pinMode (MQ_dig, INPUT);
    pinMode (7, INPUT);
    pinMode (19, INPUT);
    pinMode (MQ_analog, INPUT);
    pinMode (21, INPUT);

    dht.begin();

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(9), digitalInterrupt, RISING);

    WDTCR = (24);
    WDTCR = (33);
    WDTCR |= (1<<6);
    SMCR |= (1 << 2);
    SMCR |= 1;

}

void loop() {

    float hum = dht.readHumidity();
    float temp = dht.readTemperature();
    Serial.print("Temperatura:");
    Serial.print(temp);
    Serial.print("|");
    Serial.print("Humidade:");
    Serial.print(hum);
    Serial.print("|");

    mediaTc = 0;
    for (i=0; i<50; i++) {
        Vo = analogRead(ThermistorPin);
        R2 = R1 * (1023.0 / (float)Vo - 1.0);
        logR2 = log(R2);
        T = (1.0 / (c1 + c2*logR2 + c3*logR2*logR2*logR2)); //Steinhart-Hart
equation
        Tc[i] = T - 273.15;
        mediaTc = mediaTc + Tc[i];
    }

    mediaTc = mediaTc/50;
    Serial.print("Temperatura Interior:");
    Serial.print(mediaTc);
    Serial.print("|");

    int leitura = analogRead(sensorHumidade);
    Serial.print("Humidade do Solo:");
    Serial.print(leitura);
    Serial.print("|");

    valor_analog = analogRead(MQ_analog);
    valor_dig = digitalRead(MQ_dig);
```

```
Serial.print("Gases:|");
Serial.print(valor_analog);
Serial.println("|");

If (valor_analog > 100){
    Serial.println(" GAS DETECTADO ");
    else {
        Serial.println(" GAS AUSENTE ");
    }
}

delay(10000);

MCUCR |= (4 << 6);
MCUCR = (MCUCR & ~(1 << 5)) | (1 << 6);
__asm__ __volatile__("sleep");
}

void digitalInterrupt(){ }

ISR(WDT_vect){ }
```

Anexo B - Desenhos Técnicos