



Microestação Meteorológica para Vinha de Montanha

Por

Luís Manuel Costa Marinheira

Orientador: Doutor Pedro Miguel Mestre Alves da Silva

Co-orientador: Doutor Carlos Manuel José Alves Serôdio

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

para obtenção do grau de

MESTRE

em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
Regulamento Geral dos Ciclos de Estudos Conducentes ao Grau de Mestre na UTAD

DR, 2.^a série -N.º133 - Regulamento n.º 158/2016 de 13 de julho de 2016.

Microestação Meteorológica para Vinha de Montanha

Por

Luís Manuel Costa Marinheira

Orientador: Doutor Pedro Miguel Mestre Alves da Silva

Co-orientador: Doutor Carlos Manuel José Alves Serôdio

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

para obtenção do grau de

MESTRE

em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
Regulamento Geral dos Ciclos de Estudos Conducentes ao Grau de Mestre na UTAD

DR, 2.^a série -N.º133 - Regulamento n.º 158/2016 de 13 de julho de 2016.

Orientação Científica :

Doutor Pedro Miguel Mestre Alves da Silva

Professor Auxiliar do
Departamento de Engenharias
Escola de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Doutor Carlos Manuel José Alves Serôdio

Professor Associado com Agregação do
Departamento de Engenharias
Escola de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Microestação Meteorológica para Vinha de Montanha

Luís Manuel Costa Marinheira

Submetido na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
para o preenchimento dos requisitos parciais para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Resumo — Atualmente a agricultura tem vindo a ser bastante devastada por doenças e pragas, resultando muitas vezes em perdas na produção, que conduz a elevadas perdas económicas para os agricultores.

Relativamente à região demarcada do douro e sendo esta uma região agrícola, sofre também de ataques de doenças e pragas, tal como a traça da uva, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) considerada a principal praga da região demarcada do douro pela Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense (ADVID).

O combate à praga pode ser feito de várias formas, sendo que muitas delas contemplam o uso de inseticidas, o que origina custos elevados para os agricultores, e causam grande impacto ambiental. No entanto existe um método que revela grande eficácia no combate da praga, designa-se de "confusão sexual", e consiste na libertação de uma nuvem de feromona na vinha que impede que os machos possam detetar as fêmeas. Este método possui um impacto ambiental mais reduzido comparativamente aos métodos que utilizam inseticidas.

Relativamente à cerca da eficiência, está diretamente ligada à orografia e a temperatura do local, visto que, a região demarcada do douro apresenta características morfológicas muito acidentadas, o que permite que existam regimes de ventos muito irregulares tornando bastante difícil controlar a nuvem de feromona dentro dos limites das propriedades.

Uma solução pode passar pelo desenvolvimento e distribuição de microestações, pela vinha, com objetivo de medir a velocidade do vento e temperatura. A medição da velocidade do vento, pode ser efetuada recorrendo a um anemómetro ultrassónico, devido as suas vantagens em relação aos restantes anemómetros, enquanto que a medição da temperatura pode ser realizada através de um sensor de temperatura. O desenvolvimento de uma microestação tem como objetivo obter alguma precisão

nos dados recolhidos a partir dos sensores, para poderem ser utilizados como auxílio à tomada de decisões na atividade agrícola.

Palavras Chave: Microestação, Agricultura de Precisão (AP), *Wireless Sensor Network* (WSN), Ultrassons.

Microestação Meteorológica para Vinha de Montanha

Luís Manuel Costa Marinheira

Submitted to the University of Trás-os-Montes and Alto Douro
in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Master of Science in Electrical Engineering and Computers

Abstract — Today agriculture has been greatly devastated by diseases and pests, often resulting in production losses, which leads to high economic losses for farmers. In relation to douro demarcated region, which is an agricultural region, it also suffers from disease and pest attacks such as the grape berry moth, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) considered the main pest of the douro demarcated region by the Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense (ADVID).

The fight against the pest can be done in several ways, many of them contemplating the use of insecticides, which causes high costs for farmers, and cause great environmental impact. However, there is one method that shows great effectiveness in combating the pest, called mating disruption, and consists of the release of a pheromone cloud in the vineyard that prevents the males from detecting the females. This method has a lower environmental impact compared to methods that use insecticides.

Relatively about efficiency, it is directly linked to the orography and the temperature of the site, since the demarcated douro region has very rugged morphological characteristics, allowing very irregular wind regime therefore it is difficult to control the pheromone cloud within the limits of the properties.

An solution can include development and distribution of microstation in order to measure the wind speed and the temperature. The wind speed can be measured using an ultrasonic anemometer, due to its advantages over other anemometers, while the temperature can be measured using of a temperature sensor.

The development of the station aims to obtain some accuracy in data collected from the sensors, and can be used as a support decision-making in agricultural activity.

Key Words: Station, Precision agriculture (PA), Wireless Sensor Network (WSN), Ultrasounds

Agradecimentos

A realização da dissertação de mestrado contou com os mais variados momentos e estados de espírito, foi sendo acompanhada por algumas pessoas importantes que marcaram a diferença em determinados momentos a todos eles deixo o meu agradecimento humilde e sincero.

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor Pedro Miguel Mestre Alves da Silva do Departamento de Engenharia da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Trás os Montes e Alto Douro, e ao Professor Doutor Carlos Manuel José Alves Serôdio do Departamento de Engenharia da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Trás os Montes e Alto Douro. Agradeço por todo o apoio, pela disponibilidade, e pela partilha e transmissão de conhecimento que se revelou bastante útil em todo o desenvolvimento da dissertação, e até mesmo em outras fases da vida académica e social.

Nesta fase quero deixar um agradecimento especial aos meus pais que sempre me ajudaram, apoiaram, e me aconselharam na tomada de decisões, sem esse apoio não seria possível chegar a este momento, da minha vida académica. Tenho ainda que agradecer a toda a minha família que sempre privou de perto todo o meu percurso enquanto estudante, e que me foram aconselhando com os seus conhecimentos que me foram muito úteis na vida prática.

Agradecer ainda a todos os meus amigos que me providenciaram apoio em momentos difíceis, e que celebraram comigo os momentos mais felizes. Seria bastante mais difícil se cada um de vós não se tivesse cruzado no meu percurso nos momentos em que as forças fraquejaram, desta forma um muito obrigado a todos, pela vossa amizade.

Agradeço a todos os que se cruzaram comigo na vida de estudante.

A todos os meus sinceros agradecimentos.

UTAD,
Vila Real, janeiro de 2020

Luís Manuel Costa Marinheira

Índice geral

Resumo	vii
<i>Abstract</i>	ix
Agradecimentos	xi
Índice de tabelas	xv
Índice de figuras	xvii
Glossário, acrónimos e abreviaturas	xix
1 Introdução	3
1.1 Motivação e Objectivos	4
1.2 Organização da Dissertação	5
2 Agricultura de Precisão	7
2.1 Abordagens da Agricultura de Precisão	8
2.1.1 Recolha Espacial de Dados	8
2.1.2 Gestão e Abordagem da Variabilidade	9
2.1.3 Inovações Tecnológicas e Controlos	11
2.1.4 Detecção Remota (<i>Remote Sensing</i>)	16
2.1.5 Gestão da Informação	19
2.2 Detecção/Prevenção de Pragas e Doenças	20
2.2.1 Fatores de Desenvolvimento de Pragas e Doenças	24

2.3	Monitorização de Pragas e Doenças	25
2.3.1	Caso de Estudo	26
3	Conceção do Sistema	41
3.1	Microestação Meteorológica	42
3.1.1	Anemómetro Ultrassónico	42
3.2	Desenvolvimento do Sistema	49
3.2.1	Métodos de Estimação do TOF	53
3.2.2	Deteção do TOF Enquadrado no Sistema	55
3.2.3	Seleção dos Sensores	57
4	Implementação	59
4.1	Componentes do Circuito	60
4.1.1	Funcionamento do Circuito	63
4.2	Programação do Microcontrolador	67
5	Testes e Resultados	71
6	Conclusão e trabalho futuro	81
	Referências bibliográficas	85

Índice de tabelas

2.1	Duração média da traça da uva	28
5.1	Ganho do estágio do amplificador	71
5.2	Valores de TOF (ms) para diferentes distâncias (cm) obtidos a partir do gráfico da Figura 5.1	74
5.3	Medição experimental da velocidade sem presença de vento	75

Índice de figuras

2.1	Sistema de irrigação. Retirado de Mafuta et al. (2013)	12
2.2	Exemplo de sensor colocado no topo de um veículo. Retirado de Dworak et al. (2011)	16
2.3	Deteção de objeto através de medição do tempo de voo. Retirado de Dworak et al. (2011)	17
2.4	Diagrama de blocos do sensor bioacústico. Retirado de Martínez-Rach et al. (2013)	22
2.5	Morfologias da <i>Lobesia botrana</i> . Adaptado de Gilligan et al. (2011)	27
2.6	Método de confusão sexual aplicado <i>Lobesia botrana</i> . Adaptado de Carlos and Alves (2010)	29
2.7	Sistema LIDAR - <i>Monostatic</i> . Retirado de Oertel et al. (2019).	34
2.8	Sistema LIDAR - <i>Bistatic</i> . Retirado de Oertel et al. (2019).	35
3.1	Diagrama de blocos do funcionamento do sistema	49
3.2	Diagrama de funcionamento para determinação do TOF	50
3.3	Diagrama de funcionamento para determinação do velocidade e direção do vento	51
3.4	Emissão/Receção de sinais ultrassônicos dos sensores	56

3.5	Exemplo da deteção do TOF através do método de <i>thresholding</i>	56
3.6	Esquema de seleção do conjunto de sensores	57
4.1	Interações do sistema	60
4.2	Circuito do módulo emissor de sinal	61
4.3	Circuito do módulo recetor de sinal	62
4.4	Seleção entre pares de sensores	63
4.5	Circuito utilizado para gerar o sinal emitido	64
4.6	Exemplo de deteção de envolvente do sinal ultrassónico. Adaptado de Jia et al. (2016)	64
4.7	Diagrama de blocos representativo da emissão e receção de ondas ultrassónicas	66
4.8	Diagrama da máquina de estados utilizada para medições	68
5.1	Dispersão de valores de TOF em função das distancias	73
5.2	Regressão linear da amostragem de valores da Figura 5.1	73
5.3	Amostra de temperaturas obtidas a partir do sensor de temperatura	76
5.4	Sistema utilizado para obtenção de resultados	77
5.5	Esquemático do módulo emissor	78
5.6	Esquemático do módulo recetor	79
5.7	Esquemático do módulo do microcontrolador	79
5.8	PCB do sistema	80

Glossário, acrónimos e abreviaturas

Lista de acrónimos

Sigla	Expansão
ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
A/D	<i>Analog/Digital</i>
AP	Agricultura de Precisão
ADVID	Associação Desenvolvimento da Viticultura Duriense
CCA	<i>Constant Current Anemometer</i>
CTA	<i>Constant Temperature Anemometer</i>
CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>
DOC	Denominação de Origem Controlada
DOP	Denominação de Origem Protegida
FSM	<i>Finite-State Machine</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
LIDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>

Sigla	Expansão
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PLL	<i>Phase-Lock Loop</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
RDD	Região Demarcada do Douro
RTC	<i>Real-Time Clock</i>
SAR	<i>Synthetic-Aperture Radar</i>
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>
SODAR	<i>Sound Detection And Ranging</i>
SIFT	<i>Scale Invariant Feature Transform</i>
TF	Transformada de <i>Fourier</i>
TOF	<i>Time-Of-Flight</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
VRT	<i>Variable-Rate Technologies</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>



Introdução

A Região Demarcada do Douro (RDD) é considerada a região vinícola demarcada mais antiga do mundo. A 10 de setembro de 1756 (Decreto-Lei n.º 173/2009 ([DRE](#))), por decreto real do Marquês de Pombal, foi criada a Companhia Geral da Agricultura das Vinhas do Alto Douro, tendo por missão estimular produção, manter os preços e prestígio dos vinhos de Douro e Porto. Dessa forma a RDD possui uma Denominação de Origem Controlada (DOC), para os vinhos do Douro e Porto, e Denominação de Origem Protegida (DOP), designação comunitária.

Mais recentemente, a dezembro de 2001, parte da RDD é classificada pela *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) como património da Humanidade, como paisagem evolutiva e humanizada ([IVDP](#)). A paisagem muito característica desta região modelada por socalcos, permitiu uma ligação íntima entre a atividade humana e o decorrer do ciclo natural da natureza, oferecendo condições únicas de terreno e clima para produção de vinho. Além de região produtora de vinho, oferece um ótimo ponto de biodiversidade, devendo-se a um ecossistema único que serve de *habitat* a diferentes espécies de fauna e flora. Nos últimos anos tem-se observado uma decadência de espécies, pela aplicação de agricultura intensiva, não dando tempo para a regeneração ou adaptação natural, assim como recursos naturais ([Torres, 2013](#)) ([MDA](#)).

A RDD tem atribuída uma área de 250 000 ha, com cerca de 43 600 ha compostos por vinha, ou seja, aproximadamente de 18% da área total atribuída (Carlos et al., 2013).

Sendo a RDD uma região, com terrenos com elevados declives, a introdução de mecanização nesta zona torna-se complexa, deste modo é necessário o uso de força humana para efetuar os trabalhos requeridos. A partir de 2001, por forma a tentar combater esta dificuldade, as plantações passaram a ser feitas em patamares, a acompanhar esta transformação de paisagem, as plantações começaram a ser feitas com monocultura, ou mono casta (Lourenço-Gomes et al., 2015).

Com o decorrer das transformações, a atividade agrícola da RDD, tem sido assolada por pragas e doenças que têm levado a perdas de produção das culturas e elevado os custos de exploração. Uma das principais pragas que a produção vinícola da RDD é a traça da uva, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller, 1775) considerada por vários autores a praga chave nos países do Sul do continente europeu, países que compõem a bacia do mediterrâneo (Carlos et al. (2008), Milonas et al. (2001)), com especial incidência na região do Baixo e Cima Corgo (Mestre et al., 2019).

A praga possui normalmente três gerações, em anos excecionais pode ir até quatro gerações dependendo das condições climatéricas (Sciarretta et al., 2008). Apresentando durante cada geração diferentes morfologias como, ovo, lagarta, pupa, adulto (Carlos and Alves, 2007).

Um método de combater a praga é a utilização da técnica de "confusão sexual", que consiste na libertação de uma nuvem de feromona, através de difusores, que inibe os machos de encontrem as fêmeas e assim é evitada a reprodução da espécie (Carlos and Alves, 2010).

1.1 Motivação e Objectivos

O método de confusão sexual pretende substituir a utilização de inseticidas usados no combate da praga, visto que estes tem fortes impactos no meio ambiente e

consequentemente nos ecossistemas da RDD.

A eficácia da técnica confusão sexual, está diretamente dependente das condições climatéricas, assim como as elevadas temperaturas no verão, e como os padrões irregulares de vento que caracteriza a região, que dificultam a tarefa de prever a área de cobertura da nuvem de feromona.

Sendo a orografia desta região muito particular, principalmente ao nível da sua inclinação, é necessário desenvolver um anemómetro protótipo que permita a mediação da velocidade e direção do vento, e a sua distribuição pela vinha, para que possa ser definido o regime de ventos o melhor possível.

O anemómetro deve satisfazer os requisitos a que se destina, de forma a poder apresentar resultados que possam ser levados em conta na tomada de decisões para aplicação da técnica de confusão sexual.

Com o intuito de poder vir a ser compartilhado futuramente com equipamentos que realizem outras medições de parâmetros que se venham a revelar importantes, traçou-se o objetivo de desenvolver uma microestação meteorológica, de baixo custo que permita atingir os objetivos de medição propostos.

1.2 Organização da Dissertação

A presente dissertação é desenvolvida em seis capítulos. No capítulo 1, é realizada a introdução ao tema, e apresentadas a motivação e objetivos para o desenvolvimento da dissertação, assim como a organização de toda a dissertação.

No capítulo 2, são descritas as técnicas e tecnologias utilizadas na agricultura de precisão. Inicialmente é apresentada uma descrição das abordagens da agricultura de precisão, como a recolha espacial de dados, a gestão dos parâmetros variáveis que necessitam de serem medidos, assim como, taxas de variabilidade, é ainda feito um enquadramento tecnológico dos equipamentos que muitas vezes são utilizados na agricultura de precisão, por exemplo, os vários tipos de sensores, métodos de

Deteção Remota (*Remote Sensing*), e o respetivo manuseamento da informação recolhida. Neste capítulo são ainda abordadas as doenças e pragas na agricultura e métodos de identificação, fatores de desenvolvimento e respetiva monitorização das mesmas. No final é feita uma identificação do caso de estudo, onde é descrita a morfologia da praga, assim como o principal método de combate.

A conceção do sistema, desenvolvida no capítulo 3, conta com uma abordagem das propriedades dos ultrassons, e principais características pertencentes às ondas ultrassónicas.

Após a realização da apresentação das ondas ultrassónicas, é descrito o conceito de piezoelectricidade, utilizado por muitos transdutores que efetuam a emissão e deteção dessas mesmas ondas. Chegado a este ponto, é apresentado por fim o desenvolvimento do sistema, em que são especificados os cálculos da velocidade, e ângulo de incidência do vento. Para isso é feita uma pequena descrição de alguns dos métodos que puderam ser utilizados na deteção do TOF, por parte do transdutor recetor. Visto que a implementação do sistema pode possuir mais do que um par emissor e recetor, é ainda apresentado um esquema que demonstra como os sensores emitem e recebem os sinais alternadamente.

Relativamente ao capítulo 4, este contempla a realização e implementação do sistema desde os componentes do circuito para o desenvolvimento da microestação, funcionamento dos módulos do circuito, e por fim a programação do microcontrolador.

Já referente ao capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos a partir dos sensores ultrassónicos, respetivas respostas a diferentes distâncias entre o emissor e recetor, medições de velocidade, e uma proposta de uma placa de circuito impresso.

No capítulo 6 é desenvolvida uma conclusão na perspetiva dos resultados obtidos e do desenvolvimento do trabalho, bem como possíveis melhoramentos que possam ser desenvolvidos e implementados futuramente otimizando e complementando o funcionamento do sistema.



Agricultura de Precisão

Atualmente a atividade agrícola, recorre a soluções que proporcionem o aumento da produção. Existem no entanto algumas mais valias na introdução de recursos tecnológicos afim de cumprir este objetivo. Visto nos encontramos num período de informação, o que permite potenciar a integração tecnológica na Agricultura de Precisão (AP) ([Zhang et al., 2002](#)).

A AP pretende avaliar a variabilidade do solo, de um determinado espaço numa escala temporal, sendo importante para esta avaliação saber qual a cultura residente. Antes da introdução da mecanização, a área de terreno era normalmente bastante curta, o que possibilitava a que os tratamentos aplicados fossem efetuados pelos próprios agricultores, contudo a introdução da produção intensiva requer o alargamento da área de terreno o que tornou inviável a forma tradicional de manutenção de solos. Desta forma não é fácil a medição da variabilidade do solo sem o desenvolvimento tecnológico ([Stafford, 2000](#)).

[Tiwari et al. \(2014\)](#) define AP como sendo o desenvolvimento de diferentes tecnologias, com objetivo de detetar as condições de um pequeno espaço de terreno em tempo real, e dessa forma permite regular os tratamentos aplicados, em função

da necessidade específica. O alargado desenvolvimento das tecnologias de comunicação, permitiu o uso em diferentes ambientes e locais como quintas, cooperativas, ou companhias agrícolas.

2.1 Abordagens da Agricultura de Precisão

Nos dias correntes, através da AP é possível fazer gestão e manutenção de culturas a utilizar num determinado local, recorrendo à utilização de bases de dados com o objetivo de fazer um uso racional de recursos, e introdução de culturas que otimizem os recursos existentes no local. Muitas vezes esta rotação de culturas permite o aproveitamento das características intrínsecas dos terrenos (Gomide et al., 2001).

O crescimento da utilização da AP apenas é possível devido à emergência de tecnologias como, *Global Positioning System* (GPS), *Geographic Information System* (GIS), sistemas de controlo automático, Deteção Remota (*Remote Sensing*), processamento avançado de informação, e telecomunicações. Os dados recolhidos permitem obter informações mais precisas, de parâmetros como a variação de produção, no espaço e tempo (Zhang et al., 2002).

2.1.1 Recolha Espacial de Dados

Gomide et al. (2001), implementaram um sistema móvel de recolha de dados, para gestão automática desses mesmos dados, com o objetivo de avaliar e quantificar a produção agrícola e a variabilidade do terreno. O sistema desenvolvido conjuga a interação entre um veículo autónomo de recolha e retransmissão de dados do terreno, um veículo de gestão e tratamento de dados recolhidos, e a maquinaria agrícola que possui equipamentos de recolha e sistemas de controlo de parâmetros que avaliam as condições do terreno.

O veículo cujo propósito é de controlar e retransmitir dados tem por base a utilização de sistemas de Deteção Remota (*Remote Sensing*). Nele foi desenvolvida uma rede

de radiofrequência que possui uma ligação à maquinaria e aos vários sensores que se encontram no terreno.

O sistema contempla alguns parâmetros medidos como a água existente no solo, compactação do solo, fertilidade, a medição da taxa de água presente nas plantas, bem como dados climatéricos, e existência de pragas, entre outros.

A gestão e tratamento de dados é operada por um veículo em que se encontra o agricultor, e onde este possui um computador que recebe os dados transmitidos, onde são tratados de forma a serem perceptíveis e elaborem um conjunto de informações precisas na tomada de decisões.

As várias máquinas e sensores que se encontram no campo, permitem efetuar medições físico-químicas dos solos, das plantas e da atmosfera ao longo do desenvolvimento da própria cultura, que após serem analisados os parâmetros mais relevantes do terreno, assumem como objetivo de otimizar a produção, com um uso sustentável de recursos.

2.1.2 Gestão e Abordagem da Variabilidade

As tecnologias aplicadas no âmbito da variabilidade de condições são designadas de *Variable-Rate Technologies* (VRT). A variabilidade espacial e temporal pode afetar a produção agrícola, sendo esta influenciada em aspetos como, a variabilidade de rendimento, variabilidade do terreno, variabilidade do solo, variabilidade de cultura, fatores anómalos, e a própria gestão de variabilidade. Dessa forma a gestão dos recursos pode influenciar a maneira de cuidar das próprias culturas.

Muito frequentemente, a gestão da variabilidade espacial e temporal, é feita através da prática de culturas híbridas, porções de terreno semeado, rotação de culturas, aplicação de fertilizantes, aplicação de pesticidas, assim como o tipo de irrigação.

Ao nível da recolha de informação referente à variabilidade, pode ser feita através, de duas abordagens: baseada em mapas (*map-based*), ou na utilização de sensores (*sensor-based*) (Zhang et al., 2002).

Koch et al. (2004), desenvolveram um estudo que pretende avaliar a solução que oferece melhor desempenho económico, na aplicação de azoto num local específico de um terreno. O estudo proposto contempla dois cenários um em que é feita uma aplicação uniforme, e efetuado pelo agricultor, e outra em que a aplicação de azoto é personalizada através da utilização de VRT.

As zonas de aplicação foram delimitadas recorrendo a um *software* que integra GIS, em que a informação daí retirada permitiu avaliar os locais do terreno que oferecem maior potencialidade, sendo definidos e agrupados em três categorias (alto potencial, médio potencial e baixo potencial). A abordagem que prevê, uma aplicação uniforme, em que o planeamento estratégico de aplicação é determinado pelo conhecimento que o agricultor tem do terreno, tendo como objetivo uma produção constante. Enquanto que na abordagem referente à VRT existe uma variabilidade dos objetivos, fixada pela consulta da experiência dos agricultores e na consulta dos mapas de rendimentos de anos anteriores.

O estudo da aplicação variável de azoto assenta em três diferentes estratégias:

- Aplicação de azoto com base numa amostra de solo com objetivo de produção constante;
- Aplicação de azoto com base em várias amostras (valores médios de NO_3 e matéria orgânica), com objetivo de produção constante;
- Aplicação de azoto com base em várias amostras (valores médios de NO_3 e matéria orgânica), com objetivo de produção variável.

A avaliação económica é feita por um *software*, que analisa comportamentos e desperdícios que foram determinantes para cada uma das abordagens.

Os resultados apontam para uma poupança de 6% a 46% de fertilizante na utilização de VRT face a uma aplicação uniforme de fertilizante.

2.1.3 Inovações Tecnológicas e Controlos

Para [Stafford \(2000\)](#), a AP é o caminho correto para os agricultores do próximo milénio, uma vez que a produção agrícola é mais eficiente, traduzindo assim uma redução de custos e impacto ambiental, que está de acordo com a legislação cada vez mais exigente.

Assim sendo, as inovações tecnológicas vão de encontro ao desenvolvimento de sensores, sistemas de controlo, e sistemas de deteção remota. O acoplamento de sensores na AP é fundamental, pois estes permitem quantificar a produtividade, sendo fundamentais, na formação de mapas de campo que permitem avaliar a capacidade de produção ([Zhang et al., 2002](#)).

Sensores de Solo e Campo

Ao nível dos sensores de solo e de campo, [Mafuta et al. \(2013\)](#) desenvolveram um sistema de gestão de irrigação automático, através de incorporação *Wireless Sensor Networks* (WSN), onde é utilizado *ZigBee*, obedecendo à norma padrão *IEEE 802.15.4* para comunicações pessoal.

A utilização do WSN tem aumentado na sua componente industrial, agrícola e na monitorização de aplicações, resultando na utilização de baixas potências e baixas taxas de transmissão de dados. Permitiu ainda uma solução com mobilidade e flexibilidade, facilitando a escalabilidade da rede caso seja necessário. O sistema desenvolvido divide-se em duas partes, a estação de irrigação, e a Remote Monitoring Station (RMS), ligadas entre si através de *General Packet Radio Service* (GPRS). A arquitetura funcional deste sistema pode ser observada na [Figura 2.1](#).

Os sensores de humidade do solo são um dos componentes fundamentais no desempenho do sistema apresentado. A medição da humidade do solo é feita por sensores Watermark 200SS (Irrometer Company, Inc., Riverside, CA, USA), caracterizados pelo baixo custo e durabilidade, pouca ou mesmo quase nula manutenção e estabilidade para a gama de funcionamento pretendida.

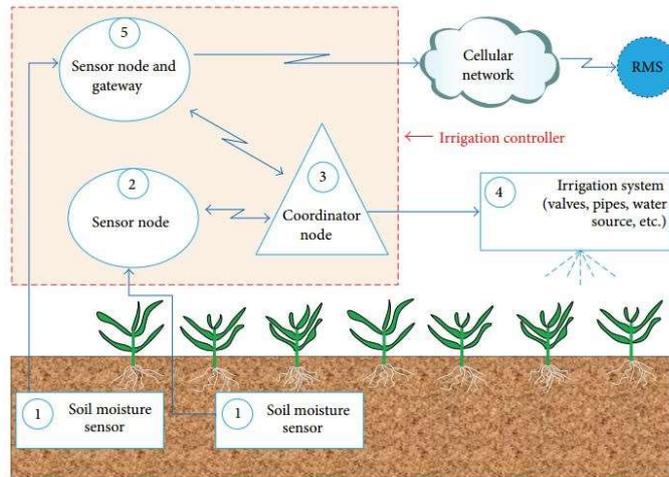


Figura 2.1 – Esquemático do sistema de irrigação. Retirado de [Mafuta et al. \(2013\)](#)

A medição de teor de água no solo não se torna tão relevante como a medição do esforço que as raízes das plantas fazem para retirar a água do solo. Desta forma, é feita a medição do potencial de humidade do solo, sendo esta obtida através da leitura da frequência (Hz) de um sinal alternado à saída do sensor, convertida num valor de resistência elétrica ($k\Omega$), como é apresentada na equação 2.1.

$$R = \frac{150390 - 8.19f}{1000(0.021f - 1)} k\Omega \quad (2.1)$$

Seguidamente, é convertido o valor de resistência elétrica, em conjunto com o valor de temperatura ($^{\circ}C$) do solo, num valor de potencial de humidade (SMP), através da equação 2.2, usada por defeito na calibração do sensor, fornecida pelo construtor.

$$SMP = \frac{4.093 + 3.213R}{1 - 0.009733R - 0.01205T} kPa \quad (2.2)$$

Este processo foi complementado com um sensor de temperatura do solo, TP1000 (Omega Engineering Ltd.), colocado próximo das raízes das plantas, afim de verificar a quantidade de água aplicada durante a irrigação, e certificar que a quantidade de água aplicada não é superior à necessária. Consequentemente, a instalação dos sensores de humidade, permitiu averiguar a variabilidade espacial da distribuição de água no terreno.

O sistema apresentado na Figura 2.1, é formado por vários nós, entre os quais, o *sensor node*. Sendo este composto por um módulo *ZigBee* que permite a comunicação com o *coordinator node*. No que diz respeito à alimentação, é efetuada através de um painel solar fotovoltaico, que alimenta um conjunto de baterias, que permitem o armazenamento energia. Este nó, possui ainda um *waspmote*, ou seja, uma plataforma *open source* para implementação de ligações em redes de sensores sem fios. O dispositivo de *waspmote* pertencente à empresa *libelium* e engloba os seguintes componentes:

- *Real Time Clock* (RTC);
- Microcontrolador;
- Carregamento de baterias;
- Memória;
- Interface Analógica/Digital (A/D).

O dispositivo *waspmote* tem como propósito receber os dados do *agriculture board*, responsável pela interface entre os sensores (humidade e temperatura) e o *waspmote board*.

A arquitetura funcional do sistema prevê a existência de um nó que desempenhe todas as tarefas fundamentais no decorrer da recolha de dados, o *coordinator node* (Figura 2.1). Este é responsável pela coordenação da rede, atribuindo endereços a cada nó. Este possui um único *ZigBee* para receber os dados dos sensores (*sensor node*) e agrega-os, nos diferentes campos.

Para além de receber os dados, este nó, é responsável por avaliar as condições do solo e dar ordem para iniciar a irrigação, ou seja, configura e controla o sistema de irrigação em função dos parâmetros recebidos dos *sensor node*.

Relativamente à comunicação, o modulo *ZigBee* do *coordinator node*, tem a função de retransmissão dos parâmetros como, o nível de bateria de cada *sensor node*,

humidade do solo, temperatura, e a força do sinal recebido de cada nó de cada sensor, para um *gateway node* que posteriormente encaminhará os dados para uma estação de monitorização remota (RMS).

O *gateway node* (Figura 2.1) para além do suporte de comunicação baseado em *ZigBee*, possui um módulo de GPRS. O módulo de GPRS permite efetuar a comunicação por mensagem escrita, através da utilização de rede móvel, cujo o recetor é o nó de diagnóstico remoto (RMS). Em que os dados enviados pelo módulo descrito são resultantes dos valores que são medidos pelos sensores, vindos do *coordinator node*.

A conceção do sistema que tem vindo a ser descrito conta ainda com uma *Remote Monitoring Station* (RMS) (Figura 2.1). Esta possui uma arquitetura que se encontra separada em duas partes, inicialmente, são recebidos os dados referentes à gestão dos sistemas de irrigação e alarmes das falhas do próprio sistema de comunicação. Quanto aos dados recebidos que detalham os parâmetros dos vários sensores são armazenados num computador, desta forma é possível desenvolver uma solução que permite, que as várias leituras correntes e transatas, possam ser apresentadas graficamente.

Os autores concluíram assim que o sistema de monitorização de irrigação remoto, no que se refere ao *design*, poderia ser mais robusto e mais sustentável. Já respeitante aos WSN os autores puderam concluir que o desempenho do sistema é influenciado diretamente pela potência de sinal recebido.

Para Robert (2002) o conceito de AP foi desenvolvido para diferentes culturas, no entanto, a sua aplicação varia no tipo de sistema de cultivo, que depende da região onde é utilizado e do próprio país em que se encontra. Contudo existem inúmeros desafios que limitam a adopção destes sistemas: entre os quais fatores sócio-económicos, agronómicos, e tecnológicos. De qualquer forma as limitações da produção agrícola vão gradualmente sendo ultrapassadas, e tornando a AP cada vez mais uma solução com futuro, e por conseguinte concedendo alguns benefícios como:

- Aumento da qualidade dos produtos;

- Melhoria da sua sustentabilidade;
- Menor risco de manuseamento;
- Melhoria na segurança alimentar;
- Proteção do ambiente;
- Desenvolvimento rural de novas técnicas.

Apresentadas algumas das condições limitativas e benefícios que podem advir da utilização da AP, a gestão das diferentes culturas existentes, abrange também as limitações apresentadas, que numa fase inicial se podem apresentar como obstáculos difíceis de vencer.

Sensores de Cultura

Segundo [Dworak et al. \(2011\)](#), a utilização de sensores de cultura (*crop sensors*), para medição de parâmetros dos solos e das plantas, permite melhorar os métodos de produção e redução do seu impacto ambiental.

Tendo em vista estes propósitos, os autores estudaram três tipos de sensores de abrangência ou princípios de medição: *Light Detection And Ranging* (LIDAR), Radar, Ultrassónico. Estes métodos apresentados, permitem avaliar ou quantificar as produções através de Detecção Remota (*Remote Sensing*).

Foi ainda proposta a possibilidade da adaptação destes princípios utilizados pelos sensores, aplicados em veículos agrícolas, como se pode verificar pela Figura 2.2. Visto que diversas vezes é necessário que a informação do estado da produção da cultura seja adquirida o mais rápido possível, ou mesmo em tempo real.

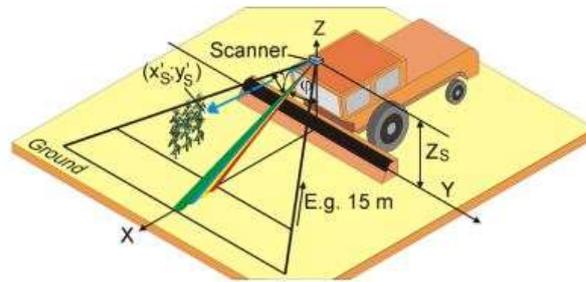


Figura 2.2 – Exemplo de sensor colocado no topo de um veículo. Retirado de [Dworak et al. \(2011\)](#)

2.1.4 Detecção Remota (*Remote Sensing*)

[Dworak et al. \(2011\)](#), classificam os sensores de cultura em duas categorias, passivos ou ativos. No grupo dos elementos passivos incluem-se câmaras estereoscópicas, ou sistemas de autofocagem, estes sistemas normalmente usam a radiação solar refletida para formar uma imagem.

Alguns fatores como a altura do dia, ou o ângulo de visualização da câmara, têm grande influência no desempenho do sistema. Já nos sensores ativos, são normalmente usados sinais pulsados e/ou modulados para delimitar a área usada para as medições, estes sensores possuem alguns aspetos positivos, como o facto de a luz solar não ter tanta interferência na construção da imagem. Ainda assim, muitas vezes é feito um processamento da imagem obtida a partir de sensores ativos, para que seja possível eliminar tais interferências.

Frequentemente as técnicas de deteção remota utilizam métodos de determinação, através da emissão de sinais sonoros ou eletromagnéticos, que como referido anteriormente, podem ser pulsados e/ou modulados, e que segundo os autores devem respeitar alguns fatores como:

- Métodos não destrutivos, adequando a intensidade dos sinais;
- Adaptação de frequências ao objetos de modo a ser possível diferenciá-los;

- Polarização de objetos;
- Analisar a dependência do tempo;
- Heterogeneizar de forma construtiva ou destrutiva.

Alguns dos métodos de detecção envolvem a medição do tempo propagação de um sinal, desde que é emitido a até que chega ao recetor, este designa-se por tempo de voo, *Time-Of-Flight* (TOF), e cujo princípio de funcionamento é apresentado na Figura 2.3.

Existem outros métodos que podem ser usados, como a triangulação e estereoscopia através de *laser*, embora estes apresentem alguma ineficiência na medição devido a perdas de sinal e efeitos da sombra.

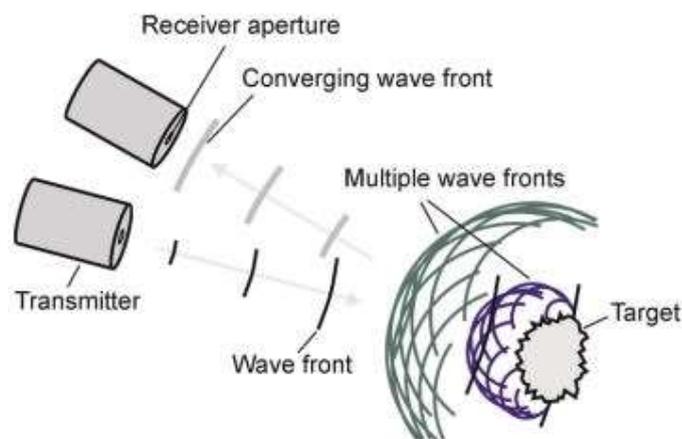


Figura 2.3 – Detecção de objeto através de medição do tempo de voo. Retirado de [Dworak et al. \(2011\)](#)

No que se refere às técnicas para poder obter o TOF, podem ser enquadradas nos três métodos distintos abaixo referidos:

- O primeiro método passa por gerar um pulso e nesse instante é ativado um temporizador, até ao momento de receção do sinal emitido. A colisão da onda sonora com os obstáculos, provoca reflexão, e um espalhamento da intensidade

da onda, dificultando a sua recepção. A dependência da temperatura e de vento adiciona ruído ao sinal podendo tornar-se uma desvantagem dos sistemas ultrassônicos em relação a sistemas LIDAR.

- Um segundo método pode ser obtido através da utilização de uma onda contínua, modelada em amplitude, na qual um sinal sinusoidal de alta frequência é modulado por um sinal sinusoidal de baixa frequência que registra a envolvente do sinal anterior.

A utilização deste método contempla a diferença entre o sinal modulado e que é emitido, e o sinal recebido do objeto de colisão. Desta forma é possível perceber a diferença de fase e assumindo que o meio é homogêneo, e dessa forma é calculado o TOF.

A forma mais comum de conseguir medir este desfasamento é através da utilização de um amplificador (*heterodyne lock-in amplifier*), que possibilita a medição direta da amplitude e fase do sinal. Ou ainda a utilização de *Phase-Lock Loop* (PLL) que permite também obter o desvio de fase ainda que de modo indireto.

- O terceiro método de medição do TOF utiliza uma *chirp modulation*, a frequência emitida sofre uma variação linear durante um determinado tempo (tipo rampa). Desta forma a variação pode ser positiva, ou seja, inicialmente começa com frequência mais baixa e vai aumentando essa frequência linearmente, a esta modelação designa-se de *up-chirp*. Enquanto que quando a variação de frequência é negativa, é conhecida por *down-chirp*.

O recetor recebe sempre um sinal com atraso e no caso de modulação *up-chirp*, a frequência recebida é inferior em comparação com o sinal emitido, isto quando a distância ao alvo é a mesma. Esta frequência é usada como referência, o produto desta frequência com a frequência que vai sendo recebida, é ligada a um filtro passa baixo, em que é obtido um sinal de baixa frequência. Sendo que a frequência do sinal é proporcional ao TOF e consequentemente proporcional à distância ao objeto.

Alguns dos sensores ultrassônicos e/ou LIDAR, utilizam a medição de TOF, para poder obter uma resolução espacial dos objetos pretendidos. Os sistemas que utilizam a tecnologia LIDAR, geram normalmente um feixe com diâmetro reduzido, e baixa divergência, resultando numa superfície com elevada resolução espacial. Relativamente aos sistemas ultrassônicos não é possível resultados igualmente satisfatórios.

Quando é pretendido elevar a resolução, muitas vezes opta-se pôr utilizar sinais de rádio, que quando combinados com certos efeitos de interferência, torna-se mais fácil a separação e reconstrução de sinais. Alguns dos sistemas ativos, que utilizam efeitos de interferência, aplicam técnicas de *Synthetic-Aperture*, esta configuração resulta muitas vezes em *Synthetic-Aperture Radar* (SAR). Este tipo de radares manuseia muitas vezes um sistema com conjuntos de antenas, onde através do atraso dos sinais é possível definir um determinada posição espacial.

2.1.5 Gestão da Informação

Assiste-se a um número cada vez maior de agricultores, e pessoas ligadas à produção agrícola, que pretende melhorar a sua produção, encorajadas pela introdução de novas tecnologias. Apesar que a tecnologia tende a gerar enorme quantidade de dados que deve ser convertida em informação relevante, e auxiliar a gestão e tomada de decisões ([Strickland et al., 1999](#)).

O desenvolvimento de determinadas tecnologias permite a integração num local específico, num determinado tempo, podendo ajudar os agricultores a tomarem decisões mais económicas ([Brisco et al., 1998](#)). No entanto, para lidar com este volume de dados são necessárias ferramentas que possuam elevada capacidade de processamento de dados ([Zhang et al., 2002](#)).

2.2 Detecção/Prevenção de Pragas e Doenças

A técnica de deteção remota pode ter um papel importante na avaliação do estado das culturas e futuras previsões da estimação da produção agrícola, deteção de doenças e possíveis pragas, mapeamento de zonas críticas, e utilização de água, entre outros (Liaghat and Balasundram, 2010) (Yue et al., 2012) (Shah et al., 2009).

As doenças e pragas tornam a produção agrícola menos eficiente, em termos práticos, e quando não existe controlo as doenças podem reduzir a produção em 18%, as pragas animais em 18%, e o crescimento de ervas em 32%, podendo ainda ser registadas doenças causadas por fungos, bactérias e vírus com perdas estimadas cerca de 13% produção (Mahlein et al., 2012).

Nas muitas técnicas usadas na AP, a utilização de tecnologias como o GPS é fundamental, contribuindo no desenvolvimento de mapas de variabilidade, que fornecem informações relevantes para a identificação de doenças e pragas nas culturas, ou outras anomalias. A análise dos parâmetros permite identificar variações de topografia, tipo de solo, e a identificação de áreas que necessitam de serem tratadas (Zhang et al., 2002).

Para Azfar et al. (2015) o controlo e combate de pragas na agricultura pode ser feito através dos seguintes métodos:

- Métodos não tecnológicos (pesticidas, biológicos ou químicos naturais);
- Gestão integrada de pragas;
- Métodos tecnológicos (genéticos, WSN).

A maioria dos agricultores não gosta do uso de produtos químicos nas suas culturas, sendo que desta forma, o tratamento de pragas passa pela gestão precisa de informação relevante ao combate de pragas e doenças. Como em muitas situações, a deteção das pragas ainda passa muito pela preceção visual, muitas vezes a deteção

é efetuada tardiamente, o que não aconteceria caso fosse recorrido a sistemas tecnológicos, em que a detecção de pragas e doenças era realizada numa fase mais precoce (Azfar et al., 2018).

Nesse campo a utilização de sensores é fundamental para detecção de pragas e doenças nas culturas. Em que os sensores mais comuns utilizados para detecção de pragas, fazem uso de imagem, e da acústica. Enquanto que na detecção de doenças são frequentemente usados métodos de termografia, imagem fluorescente, e técnicas hiperespectrais (Mahlein et al., 2012), (Azfar et al., 2018).

No que respeita à detecção e prevenção de pragas, numa primeira fase, as técnicas que utilizam sensores ópticos, permitem calcular as áreas afetadas e diferenciá-las, numa escala de severidade de ataque à espécie (Mahlein, 2015). Este autor, refere ainda que os dados dos sensores, deveriam sofrer uma análise intensiva e desenvolvidos métodos estatísticos, para ser possível averiguar factores como:

- Detecção da doença num estado inicial;
- Distinguir doenças;
- Distinguir doenças causadas pelo stress antibiótico;
- Quantificar a sua gravidade.

Detecção de Pragas

Martínez-Rach et al. (2013), apresentaram uma solução para detecção de pragas que têm afetado as palmeiras (*Rynchophorus Ferrugineus*) nas últimas duas décadas. Foi assim proposto pelos autores, um sensor bioacústico (Figura 2.4) para prevenir as pragas, este deteta a presença da praga numa fase primordial de desenvolvimento da palmeira. O sensor bioacústico tem a funcionalidade de gravar o som emitido pelas larvas no interior das palmeira e posteriormente efetuar um processamento desse mesmo som.

Com é possível verificar pela arquitetura funcional do sistema, apresentado na Figura 2.4, a recolha do som, é realizada através de uma *sound probe* colocada no interior do tronco, gravando todos os sons emitidos, tanto numa fase inicial da sua vida como numa fase mais avançada. A amostra de som recolhida é emitida através de um sistema *Wireless* para uma estação de controlo onde é feito todo o processamento e armazenado, esta estação pode ser acedida via *internet*.

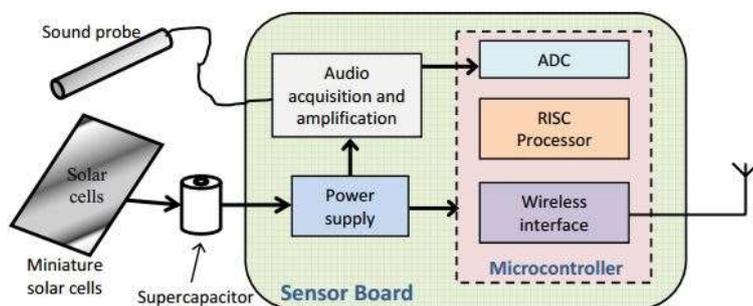


Figura 2.4 – Diagrama de blocos do sensor bioacústico. Retirado de [Martínez-Rach et al. \(2013\)](#)

O som recolhido inclui os sons emitidos pelas larvas e outros ruídos que interferem no sinal. O sinal é amplificado e tratado por forma a reconhecer apenas as vocalizações emitidas pelas larvas, o sistema é ainda composto por um processador de baixo consumo que corre um algoritmo e que processa o sinal sonoro, e que efetivamente avalia se existe a presença da praga na palmeira, este envia o sinal para uma estação que recebe os dados processados. Segundo os autores, o sensor consegue deteções em palmeiras com eficácias superiores a 90%.

Deteção de Doenças

[Yue et al. \(2012\)](#), focaram-se no desenvolvimento de um protótipo, dedicado à monitorização, prevenção e conseqüentemente tratamento, de doenças e pragas na agricultura. Desta forma os autores desenvolveram um veículo aéreo não tripulado, que através de deteção remota pudesse monitorizar uma determinada cultura. O veículo aéreo tem como objetivo obter imagens aéreas do local, com uma boa resolução

(0.15 m), a baixa altitude (400 m). Ao mesmo tempo que são recolhidas as imagens, são recolhidos dados, como o número de imagem, longitude e latitude, velocidade, altura, ângulo de orientação.

A análise espectral permite saber se existe a presença de doenças e anomalias, através das características da imagem. A utilização de um algoritmo de *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT) permite realizar um mapeamento e obter algumas características das imagens, embora que este algoritmo possua limitações. Deste modo este algoritmo é algumas vezes combinado com a utilização de *Random Sample Consensus*, o que permite retirar algumas imprecisões nas características detetadas, e com igual objetivo a utilização do método dos mínimos quadrados usado para encontrar uma correlação entre imagens.

A categorização dos danos provocados por pragas e doenças, feita pelos autores subdivide-se em várias categorias, estado saudável, danos ligeiros, danos graves, cultura morta. Com o objetivo de ser mais fácil a preceção do estado das plantações, é associado a cada um destes estados uma determinada cor: verdes escuros, significa culturas com estado saudável. A cor de danos ligeiros, verde mais claro, que a cor do estado saudável, e à media que a gravidade do estado da cultura piora, as cores ficam mais claras até chegar ao estado de morto que apresenta uma cor do estado do solo nu.

Técnicas Hiperespectrais

[Hillnhütter et al. \(2012\)](#), utilizaram técnicas de espectroscopia para descartar efeitos resultantes de *Heterodera schachtii* e de *Rhizoctonia solani* na beterraba sacarina. A utilização de sensores que classifiquem a reflectância foliar, permitem avaliar os agentes patogénicos oriundos do solo, relativamente à classificação da reflectância da folha foi feita através de imagens hiperespectrais (400-1000 nm). Assim que as imagens hiperespectrais são obtidas das folhas da beterraba, são correlacionadas com outras imagens que contém vestígios das referidas doenças. Para realizar a correlação foram utilizadas três técnicas de extração de dados, na primeira foi obtida a imagem

e obtida a região de interesse desta e os cálculos foram estendidos à própria planta e às partes do solo que era refletido, a segunda técnica prevê a utilização de uma máscara para detetar a componente vegetal, obtida através de *Normalized difference Vegetation Index* (NDVI), a terceira abordagem a deteção das bordas das folhas foi feita manualmente em cada planta de onde é definida uma região de interesse.

Segundo os autores, este sistema pode ser utilizado para uma deteção precoce de sintomas de doenças. Sendo fundamental utilização de sensores que medem a reflectância foliar, estes combinados com classificação de sintomas nas folhas podem apresentar-se como uma boa solução para os produtores.

2.2.1 Fatores de Desenvolvimento de Pragas e Doenças

A prevenção de doenças e pragas nas diversas culturas pode tornar-se uma tarefa complicada para os agricultores, o que leva a que estes, efetuem aplicações de diversas técnicas de combate. Para saber qual a técnica que produz os melhores resultados, é necessário conhecer a praga ou a doença que afeta a cultura. Com o objetivo de que quando for feita a aplicação de inseticidas, não haja o risco de as espécies invasoras ganharem resistências, e ocorra a morte de espécies benéficas às culturas, como as polinizadoras ([Azfar et al., 2018](#)).

A gestão de pragas depende da precisão das técnicas de monitorização da população das mesmas, para isso torna-se necessário desenvolver uma recolha de informação continua, em conjunto com os fatores ecológicos, podendo classificar esses fatores em ([López Granado et al., 2012](#)):

- Fatores físicos (temperatura, humidade);
- Fatores químicos (composição química do solo);
- Fatores biológicos (patogénicos e pragas).

Ainda ao nível respeitante, da medição de fatores ecológicos, estes revelam ser fundamentais no diagnóstico, e no desenvolvimento de doenças nas plantas.

Para realizar as medições de alguns fatores importantes são utilizadas WSN, em parâmetros como: a medição de humidade do solo, temperatura, humidade relativa, luminosidade, velocidade e direção do vento ([Mampentzidou et al., 2012](#)) ([Azfar et al., 2015](#)).

Em complemento muitas vezes são efetuados modelos de previsão de doenças através da medição de parâmetros referidos. No caso particular, da existência de humidade foliar, assume ser um dos principais fatores que desencadeia doenças fúngicas e bacterianas nas plantas, e desenvolvem condições de estabilidade para os insetos ([Shah et al., 2009](#)).

Como é perceptível a aplicação de AP pode ser bastante ampla no que respeita ao tipo de cultura de estudo, como algumas já apresentadas, e outras, como por exemplo no caso do estudo de pragas e doenças na vinha, [Pérez-Expósito et al. \(2017\)](#), que desenvolveram o sistema VineSens que tem como objetivo ajudar os agricultores a tomarem decisões, para prevenir uma das doenças que mais afeta esta cultura, o míldio.

Alguns fatores podem influenciar o desempenho da produção agrícola, como as pragas e doenças, por vezes são associados a parâmetros meteorológicos.

2.3 Monitorização de Pragas e Doenças

A utilização de técnicas de AP e mesmo o próprio fenótipo da planta oferecem uma base tecnológica e informativa, para estudar e detetar doenças nas plantas. Os dados que podem ser obtidos e tratados em conjunto com um sistema avançado de análise de dados permite detetar doenças tornando uma produção mais sustentável. Em alguns casos a ocorrência de determinada doença prende-se com as condições climáticas que se podem fazer sentir, num terreno, embora por vezes a distribuição da doença possa ocorrer de forma heterogénea, mas com a análise de dados de cada local em específico permite aferir da quantidade de plantas afetadas ([Mahlein, 2015](#)).

A AP pretende ser um sistema de gestão de cultura que avalia fatores de variabilidade

espacial e temporal através de parâmetros do solo e da cultura (Stafford, 2000).

No que respeita ao desenvolvimento de sistemas de medição de condições meteorológicas impõem-se fatores cruciais, como um sistema de baixo consumo, um sistema com portabilidade, escalável, e de fácil manuseamento (Parvez et al., 2016).

2.3.1 Caso de Estudo

Atualmente a RDD, começa a ser afetada por várias pragas entre elas, a traça da uva, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) originária da região paleártica que inclui Europa ocidental, Ásia central e norte de África (Gilligan et al., 2011).

Alguns autores referem que existe uma elevada incidência da praga da traça da uva (*Lobesia botrana*) essencialmente nos países do sul da Europa (Mestre et al., 2019), (Gilligan et al., 2011), (Badenhausser et al., 2013).

Esta situação torna preocupante o futuro desta região demarcada, tanto ao nível de biodiversidade, fauna e flora característica da região e por vezes única, ou ainda ao nível do impacto económico, já que grande parte do rendimento provém da receita direta da produção de vinho, o restante é assegurado pelo turismo (Lourenço-Gomes et al., 2015).

Segundo Carlos et al. (2008) esta praga assume uma importância económica significativa por afectar diretamente cachos com podridão cinzenta (*Botrytis cinerea*) e podridão acética. Contudo a eficácia dos seus ataques é diferente entre gerações de *Lobesia botrana* e está fortemente dependente das condições climáticas que ocorreram durante o ano, e da sua localização geográfica.

Como a região é marcada pela irregularidade de declives, a sua orografia, viabiliza condições micro climáticas muito diversificadas bastante propícias para o desenvolvimento da praga. A contribuir para o seu desenvolvimento da espécie, encontra-se fato dos terrenos serem muito fragmentados, e existirem pequenas parcelas, sendo muito comum encontrar, grande diversidade de espécies vegetais e muitas vezes em

simbiose entre elas mesmas, permite a co-existência com outro tipo de vegetação, como o olival, que fornece um bom refúgio para a praga (Mestre et al., 2019).

Em relação à praga em questão, o seu desenvolvimento prevê, um número de gerações da espécie que pode ir de uma a quatro, dependendo das condições climáticas (Sci-arretta et al., 2008), (Badenhausser et al., 2013).

Morfologia

Segundo os cadernos técnicos da Associação Desenvolvimento da Vinicultura Duriense (ADVID), a *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) atravessa quatro morfologias apresentadas na Figura 2.5. Em seguida é apresentado a descrição de etapas da vida da traça da uva, correspondente à Figura 2.5 (Carlos and Alves, 2007):

- a) - Ovo de *Lobesia botrana*;
- b) - Lagarta de *Lobesia botrana*;
- c) - Pupa de *Lobesia botrana*;
- d) - Adulto de *Lobesia botrana*;



Figura 2.5 – Morfologias da *Lobesia botrana*. Adaptado de Gilligan et al. (2011)

As alterações que ocorrem durante a vida da traça da uva *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller), acima referidas são bem conhecidas, assim como a duração média em dias de cada uma delas conforme apresentado na Tabela 2.1.

Geração	Ovo	Lagarta	Pupa	Adulto
1 ^a	8	21-30	7	10
2 ^a	7	19-25	6	10
3 ^a	6	21-28	hibernante	10

Tabela 2.1 – Duração média, em dias, dos diferentes estados de desenvolvimento da traça da uva nas três gerações. Adaptado de [Carlos and Alves \(2007\)](#).

Estragos e Prejuízos

Considerado o elevado impacto económico, uma vez que invalida parte da produção, pela instalação de doenças na própria videira. A larva da *Lobesia botrana*, invalida o bago da uva quando o cacho ainda está na floração, passando à fase em que a uva já se encontra em botão, chegando até a fase de fruto. Na primeira geração a larva alimenta-se dos botões das flores, reduzindo a partir daí a produção, já a segunda e terceira geração alimentam-se durante o amadurecimento da uva, e posteriormente quando esta já se encontra madura, respetivamente ([Gilligan et al., 2011](#)).

O controlo de propagação da praga é muitas vezes feito com recurso a insecticidas, conhecidos todos os problemas que dele advêm. Por forma a combater o seu uso indevido e/ou excessivo a Europa tem imposto um aumento de regulamentação. Desta forma, para poder combater a praga foram criadas soluções alternativas de combate, como a técnica de confusão sexual (*mating disruption*) ([Mestre et al., 2019](#)).

Confusão Sexual

Em alternativa, ao uso de insecticidas, pode ser feito um combate menos invasivo, usando a técnica de confusão sexual, considerado um método não poluente, sem

do terreno, as condições meteorológicas que ocorreram no ano, como o regime de ventos dominantes e as elevadas temperaturas que a RDD é sujeita no verão. Como consequência pode levar a deficiente libertação da nuvem de feromonas por parte dos difusores que por sua vez pode não chegar ao fim do mês de julho, altura em que eclode a terceira geração, sendo esta a que provoca maior prejuízo.

De referir que as zonas situadas nos vales conseguem uma maior densidade de feromonas em relação às parcelas que se situam no topo dos vales, normalmente possuem uma incidência direta de ventos que leva a um espalhamento da feromona.

No entanto ainda em relação ao terreno, pode ser encontrado um entrave à eficácia do tratamento, quando perante uma área pequena onde são libertadas as feromonas, exista a possibilidade e facilidade de migração de fêmeas fecundadas (Jorge et al., 2007).

Métodos de Combate da *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller)

A solução para avaliar a eficácia do método de confusão sexual, poderá passar por uma distribuição de microestações meteorológicas pela vinha, de forma a avaliar parâmetros como: a temperatura, a velocidade e direção do vento, entre outros, que influenciam o sucesso da aplicação do método de confusão sexual.

Quando é necessário efetuar medições meteorológicas na maioria das vezes recorre-se a estações estáticas, compostas por várias sub-estações onde são recolhidos dados e futuramente encaminhados através de ligações físicas, esta é uma das soluções apresentadas por Popa and Iapa (2011), segundo este, a solução é muitas vezes adotada por razões financeiras.

Outra solução, relativa ao mesmo autor, passa pelo uso de WSN, em que é feita uma recolha e consecutivamente um processamento de dados por cada sensor, e são enviados através de uma rede *wireless*, desta forma é garantido que existe um bom mapeamento do local, ou seja, uma boa resolução das condições climatéricas da zona.

Anemómetros

Um dos equipamentos que é comum encontrar nas estações meteorológicas são os anemómetros, trata-se de instrumentos utilizados para medir velocidade de fluídos, podendo estes serem ar, água ou outro fluído como gases. Estes podem ser classificados em dois tipos, para mediação da velocidade do vento, e medição da pressão exercida pelo vento, a sua precisão é independente do tipo de anemómetro, no entanto poderá ser afetada por vários factores, entre os quais, componentes electrónicos, e a altura que o anemómetro se encontra (Tan et al., 2012), (Parvez et al., 2016).

Os anemómetros podem ser divididos e caracterizados em várias categorias, e diferentes tipos como os que são apresentados:

- Anemómetro Mecânico;
- Anemómetro SODAR;
- Anemómetro LIDAR;
- Anemómetro *Hot wire*;
- Anemómetro de Pressão;
- Anemómetro Ultrassónico (Abordado no Capítulo 3).

Anemómetro Mecânico

Muitas vezes a solução para obter um regime de ventos de um determinado local é feito recorrendo a soluções rápidas e baratas, que frequentemente passa pela utilização de anemómetros mecânicos. O *design* mais utilizado para conceber este tipo de anemómetro é o modelo que utiliza copos (*cup*), ou o do tipo hélice (*propeller*). Na primeira metade do século XX, os anemómetros do tipo *cup*, começam a ser estudados por forma a otimizar o número de copos a ser usados, e o comprimento do seu braço (Pindado et al., 2012a), estes são frequentemente calibrados em efeito de túnel por razões de instrumentais (Paulsen et al., 2007). A componente horizontal

da velocidade do vento colide diretamente com os copos/hélices, este produz uma velocidade angular ao rotor do anemómetro, que através de um determinado ciclo ocorridos durante um período de tempo fixo, é calculada a velocidade média para aquele período (Bucci et al., 2013).

Ambas as configurações de anemómetros mecânicos já referidas, possuem uma fácil instalação e manuseamento (Pindado et al., 2012b).

A calibração deste tipo de anemómetros é possível ser efetuada, mediante algumas variáveis como o valor de A e B da equação abaixo. Sendo que a equação traduz a função transferência genérica para obter a velocidade do vento.

$$V = A \times f + B \quad (2.3)$$

Onde, V é a velocidade do fluido (Ar), f a frequência de saída proveniente da rotação, A e B são parâmetros que necessitam de ser ajustados de forma a obter o menor erro possível de velocidade do vento (Pindado et al., 2012a) (Pindado et al., 2012b).

Como já referido alguns autores, afirmam que estes anemómetros possuem vantagens relevantes, como, a sua resposta rápida e permitem medir pequenas e grandes variações de intensidade de velocidade do vento, dependendo do seu propósito. Outra vantagem é a facilidade de implementar uma solução que incorpore um anemómetro mecânico (Bucci et al., 2013) (Parvez et al., 2016).

Os anemómetros mecânicos possuem algumas limitações ao nível de medição de alguns aspetos da velocidade do vento como sendo o facto de apenas efetuar a medição num plano, não satisfazendo esta condição quando se trata de medições a duas e/ou a três dimensões. Uma das características do vento, é o facto de ser inconstante na sua intensidade e sentido, isto pode provocar erros de medições devido a picos de velocidade, assim sendo uma das desvantagens encontra-se no facto de existir partes móveis, que normalmente são pontos mais frágeis e sujeitos serem fragmentados (Bucci et al., 2013) (Ahmad).

Anemómetro SODAR

Este tipo de anemómetro é normalmente utilizado na avaliação de potencial eólico de determinado local. Sendo esta uma técnica de medição da velocidade do vento, que utiliza o efeito de *Doppler*, em que são detetadas as movimentações de massas de ar na camada limite atmosférica, através da reflexão do sinal sonoro, para que seja possível avaliar a velocidade e direção do ar.

A velocidade de propagação do som varia proporcionalmente com a temperatura, o que significa que a onda refletida vinda da atmosfera fica dispersa, devido às várias camadas da atmosfera, o que se traduz num período variável, desde que o sinal sonoro é emitido até que é recebido.

O *Sound Detection And Ranging* (SODAR) opera ao nível do solo, transmitindo uma onda sonora, que normalmente tem uma duração de 50 ms (Lang and Mckeogh, 2011).

A utilização do efeito de *Doppler* observado nas ondas sonoras quando o fluxo de ar se encontra em movimento em relação ao emissor, provoca uma variação da frequência do sinal recebido. As ondas recebidas podem ser processadas através da aplicação da Transformada de *Fourier* (TF), e assim pode ser obtida intensidade e direção do vento (Vogt and Thomas, 1995).

Anemómetro LIDAR

Esta técnica de medição não está tão desenvolvida como outras técnicas, como as usadas em anemómetros de mecânicos e ultrassónicos (Wächter et al., 2008).

Os anemómetros que se enquadram neste tipo possuem um princípio de funcionamento do efeito de *Doppler*, referido anteriormente, no que respeita aos anemómetros do tipo SODAR são utilizadas ondas sonoras, neste caso, a medição é feita através de feixes de luz. O sinal obtido é refletido dos aerossóis naturais da atmosfera, podendo ser feita uma relação entre o desfasamento do sinal original com o sinal

que é recebido, em que a velocidade do vento é diretamente proporcional a este desfasamento (Augere et al., 2015).

Segundo Oertel et al. (2019), os anemómetros LIDAR podem ter duas configurações, para a medição da velocidade do vento:

- *Monostatic* - o sistema *monostatic* está bem estabelecido na medida de medição da velocidade do vento, e é bastante comum no que respeita aos anemómetros LIDAR. O modo de operação deste sistema, inicia-se pela emissão de um feixe luminoso, incidindo diretamente na atmosfera. Este é refletido, e recebido pelo sistema que efetuou a emissão, o mesmo sistema trata ainda o sinal recebido. Relativamente à eficácia da medição da velocidade do vento, o sistema possui algumas imprecisões graves, quando se encontra em terreno irregular, e devido à instabilidade do regime de ventos, que pode provocar erros na medição da velocidade do vento, podendo mesmo ascender a erros na fasquia dos 10%.

O sistema e sua exemplificação do modo de funcionamento é apresentado na Figura 2.7.

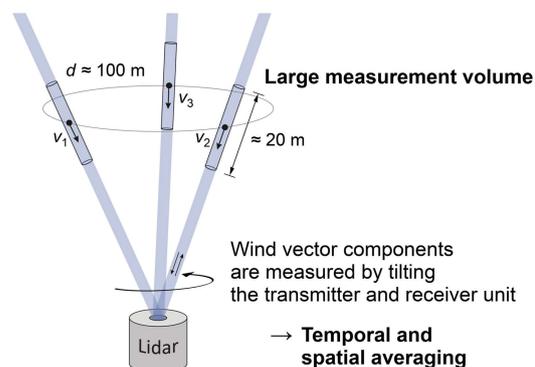


Figura 2.7 – Sistema LIDAR - *Monostatic*. Retirado de Oertel et al. (2019).

- *Bistatic* - o sistema *bistatic* é mais complexo que o sistema *monostatic*, e permite obter uma melhor resolução do local e apresenta um erro menor. Este funciona com recurso a um transmissor (TX) e três recetores (RX) que detetam

os feixes luminosos recebidos, e que são separados fisicamente uns dos outros e do próprio transmissor.

Com tudo este sistema é mais complexo que o anterior, e permite uma melhor compensação dos erros em terrenos irregulares, onde se encontram regimes de vento mais variáveis. Um exemplo do sistema de medição da velocidade do vento recorrendo à técnica de LIDAR, de um sistema *bistatic* é apresentado na Figura 2.8.

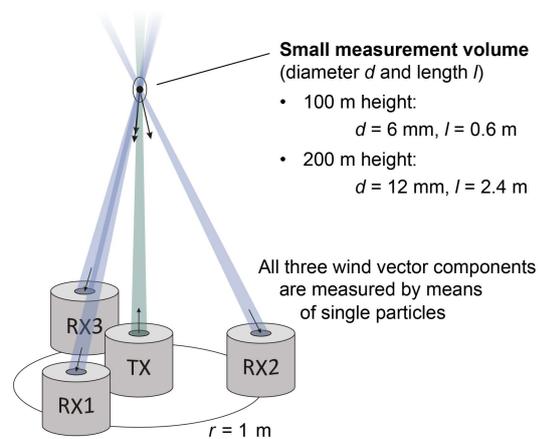


Figura 2.8 – Sistema LIDAR - *Bistatic*. Retirado de Oertel et al. (2019).

Anemómetro *Hot-Wire*

A utilização da técnica de *hot-wire*, permite a medição de velocidades de fluídos em diferentes campos. A ideia fundamental de medição da velocidade usando um anemómetro do tipo *hot-wire*, é fundamentalmente descrita pela transferência de calor entre o filamento aquecido e o fluído que o circunda, o autor King (1914) propôs as equações que definem esta transferência. Resultando no calculo do coeficiente de transferência de calor (h), entre um filamento cilíndrico, e um fluído é dado pela seguinte equação:

$$h = A + B \times U^{0.5} \quad (2.4)$$

onde, A e B são componentes obtidas experimentalmente, U representa a velocidade do fluído. Sendo que A , resulta da componente de dissipação sem movimento do

fluido, já a componente B , estima a interação entre o filamento e o fluido que a circunda.

Atualmente os anemômetros *hot-wire*, possuem dois modelos de funcionamento como são descritos em seguida (Pawłowski, 2018):

- anemómetro de corrente constante, *Constant Current Anemometer* (CCA);
- anemómetro de temperatura constante, *Constant Temperature Anemometer* (CTA).

O anemómetro *hot-wire* é constituído por um filamento, tipicamente com 5 μm de comprimento, aquecido através corrente elétrica (efeito de Joule). Este filamento é normalmente composto por tungsténio (W), e por uma liga de platina-irídio (Pt-Ir). Quando aquecido o filamento é colocado em contacto com o fluido, que provoca um arrefecimento da temperatura do filamento. O efeito do arrefecimento provoca uma redução do valor da resistência, a sua medição é frequentemente feita com recurso a um circuito ponte de *Wheatstone*, deste modo conclui-se que o arrefecimento do filamento é diretamente proporcional à velocidade deste fluido (Morris and Langari, 2012).

Quando o filamento do anemómetro é atravessado por uma corrente constante (CCA), na situação em que a temperatura decai observa-se um aumento de fluxo do fluido. Enquanto que na situação que apresenta uma temperatura constante (CTA) este utiliza um circuito eletrónico com uma malha de retorno, que mantém a temperatura do filamento constante, em relação a temperatura ambiente. Esta malha de *feedback* permite fazer vários ajustes ao valor de corrente que atravessa o filamento, com objetivo antes referido.

Quando proposto um sistema analógico que utiliza ajuste constantemente de corrente, este pode ser executado através de um circuito seguidor, recorrendo a amplificadores operacionais (ampop), ou com um sistema de modulação por largura pulso (*Pulse-Width Modulation (PWM)*).

Por vezes ocorre situações em que a temperatura do sensor se encontra demasiado elevada, e este poder inferir diretamente na temperatura do fluido podendo daí resultar erros que interferem na leitura correta do sensor. A amplitude térmica medida pode ocorrer também a baixas temperaturas, podendo implicar isso uma grande variação de temperatura, sendo assim muitas vezes existe a necessidade de compensar esta variação, com intuito de manter constante a temperatura do sensor face à do fluido (Pawłowski, 2018).

Relativamente aos parâmetros comerciais convencionados para avaliar estes sensores passam pela temperatura, resistência do coeficiente de temperatura, o material e comprimento do filamento, velocidade máxima e limite máximo de temperatura de operação. Os sensores de *hot-wire* permitem uma comparação de desempenho direta com os restantes anemómetros, e assim ser escolhido o que melhor se ajusta a cada situação (Ligeza, 2005).

Alguns autores incluíram algumas alterações ao filamento aquecido, ou seja, à componente térmica do anemómetro. Esta alteração acontece normalmente por componentes semi-condutores, como o termistor, díodos ou transístores ou circuitos integrados. Embora o sistema possa sofrer algumas alterações, o princípio básico de medição/operação mantém-se o mesmo, ainda assim, existem alterações que são necessárias serem efetuadas, isto é ser feito um ajuste nas componentes de King (1914), que representam a troca de calor entre o elemento e o meio (Pawłowski, 2018).

Anemómetro Pressão

A medição da velocidade do vento, pode ser feita recorrendo a anemómetros de pressão que pode ser de dois tipos placa/prato ou de tubos, sendo esta vertente de anemómetros a mais antiga, desenvolvida à data de 1667 por Robert Hooke. Nos anemómetros que utilizam placa, o seu mecanismo de funcionamento utiliza a força do ar para mover uma placa, através da componente perpendicular do vento à placa, e deste modo estimar a velocidade do vento.

Para descrever o mecanismo pode ser utilizada a seguinte equação:

$$F_w = \frac{1}{2}cA\rho u^2 \quad (2.5)$$

Onde A é a área do prato, ρ densidade do ar, u a velocidade do vento, c constante que depende da altura e da forma do prato. A força resultante da incidência do vento pode ser registada ou utilizada para accionar um transdutor, produzindo um sinal elétrico (Johnson, 2001).

Como já referido, existem dois tipos de anemómetros de pressão placa/prato ou ainda o de tubos. Este último utiliza um tubo, que com a ação do vento é provocada um aumento de pressão, a pressão dentro do tubo é modelado pela seguinte equação:

$$p_1 = p_s + \frac{1}{2}\rho u^2 \quad (2.6)$$

Onde p_s é a pressão atmosférica.

A pressão exercida pelo próprio tubo é perpendicular à direção da velocidade do vento, podendo ser descrita pela seguinte equação:

$$p_2 = p_s - \frac{1}{2}c_1\rho u^2 \quad (2.7)$$

Onde c_1 é uma constante inferior à unidade. A variação de pressão entre p_1 e p_2 , permite eliminar o valor de pressão atmosférica. Obtendo-se assim a seguinte relação:

$$\Delta_p = p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho u^2(1 + c_1) \quad (2.8)$$

Alguns aspetos podem influenciar a leitura do anemómetro como a densidade do ar é a temperatura. A análise destes fatores pode ser crucial para a obtenção de uma leitura de velocidade do vento correta.

Normalmente os maiores desafios exigidos por estes anemómetros é a frequente manutenção exigida afim de manter o tubo livres de sujidade, e elementos perturbadores de uma medição correta (Johnson, 2001).

Uma mais valia deste sistema é não utilizar partes móveis e manter um estado sólido, desta forma possui uma maior resistência às condições atmosféricas (Liu et al., 2016), (Johnson, 2001).

Liu et al. (2016) desenvolveu um prototipo de tubos com o intuito de medir pressão, para tal utiliza um cilindro, que no seu interior é constituído por quatro tubos que detetam a pressão em cada um deles.

O cilindro é constituído por vários furos a toda a volta por onde o vento entra e incide nos tubos, desta forma é possível obter a direção e intensidade do vento.

O autor propôs um anemómetro com medição a duas dimensões, que não possui partes móveis, e que realiza medição de uma diferença de pressão, resultando numa abrangência de valores de velocidade que variam entre 1 m s^{-1} e 60 m s^{-1} . Tendo sido traçado o objetivo de obter a intensidade e direção da velocidade do vento, através de equação equações matemáticas simples. Proveniente da pressão dos quatro tubos, os cálculos são desenvolvidos por um microcontrolador embestado. O maior desafio deste sistema é a medição de valores baixos de velocidade do vento, ou seja, quando a pressão é de alguns Pa, ou mesmo abaixo deste valor. Uma solução proposta, pode passar por implementar um sistema que incorpore um anemómetro térmico (*Hot Wire*), por este possuir maior precisão.

Comparação entre Anemómetros

Quanto aos diferentes anemómetros apresentados é possível constatar que possuem diversos campos de aplicação, e que possivelmente alguns deles não servem os objetivos pretendidos do sistema, como é o caso dos anemómetros que utilizam o efeito de *Doppler* (SODAR e LIDAR) para realizar a medição da velocidade do vento, visto que são maioritariamente utilizados para medição do potencial eólico de um local realizando assim medições a altitudes mais elevadas.

Relativamente aos anemómetro *Hot-Wire* possuem uma boa resolução espacial, no entanto, estes tradicionalmente possuem maiores consumos que qualquer outro tipo

de anemómetro (Liu et al., 2016), o que invalida a sua implementação tendo em conta os objetivos pretendidos. Assim como o anemómetro de pressão que normalmente necessitam de elevada manutenção para que as leituras obtidas sejam viáveis, e tendo ainda como desvantagem a sua baixa resolução em situações em que existe baixa velocidade do vento.

Já no que respeita aos anemómetros mecânicos algumas limitações, que dificultam a sua aplicação tendo em conta os objetivos pretendidos, como a apenas realizar a medição num plano, excluindo assim medições em 2D e 3D. Possuem ainda algumas limitações físicas uma vez que têm partes móveis podendo ser afetados por turbulências e rajadas que induzem em erros como as variações de velocidade a que estão sujeitos devido às variações de direção e intensidade do vento. Poderão ainda serem afetados pela queda da chuva que influencia a velocidade de rotação das pás do anemómetro, assim como, a formação de gelo que pode tornar incapazes de realizar medições. Desta forma resta o anemómetro ultrassónico que apresenta a vantagem de não ter componentes móveis, e apresentar uma resposta mais rápida em relação às mudanças de variação de intensidade da velocidade do vento face aos anemómetros mecânicos, no entanto a sua maior desvantagem atualmente poderá ser o seu custo inicial elevado. Apesar disso, é possível desenvolver soluções que satisfazem os requisitos de alguns sistemas com um custo de construção inferior, relativamente a soluções comerciais (Bucci et al., 2013). Devido às vantagens apresentadas optou-se pelo desenvolvimento de um anemómetro ultrassónico.



Conceção do Sistema

O conhecimento prévio das condições meteorológicas são fundamentais para evitar danos económicos, sociais e ecológicos ([Piñeres-Espitia et al., 2017](#)), ([Doeswijk and Keesman, 2005](#)).

Relativamente à traça da uva, que tem afetado a RDD, os estados do seu desenvolvimento estão relacionadas com as condições climatéricas do local, visto que a RDD possui uma grande diversidade de microclimas. Por forma a conseguir resultados satisfatórios são necessários meios capazes de identificar e programar os momentos em que é mais favorável efetuar a aplicação dos métodos de combate da praga na RDD ([Carlos et al., 2008](#)).

Para poder realizar medições de parâmetros climatéricos procedeu-se ao desenvolvimento de uma microestação meteorológica, para avaliar os principais fatores que influenciam o crescimento da praga.

3.1 Microestação Meteorológica

As estações meteorológicas permitem recolher e interpretar dados meteorológicos como temperatura, velocidade do vento, pressão atmosférica, entre outros.

No que se refere ao clima, em particular da RDD, revela possuir uma grande variação de temperaturas, e regimes de ventos irregulares. Estes fatores climatéricos perturbam o melhor desempenho do combate à praga, pela técnica de confusão sexual, sendo que a libertação de feromonas, pode ocorrer de forma deficiente em ambientes com elevadas temperaturas. Enquanto que devido a ventos irregulares pode ocorrer um espalhamento das feromonas indevido, levando por vezes a nuvem de feromona além das áreas previstas para tratamento, ou mesmo chegando a terrenos contíguos. Desta forma a concentração de feromonas diminui, saindo prejudicada a eficácia do método. Assim sendo conclui-se que a intensidade e direção do vento são o principal fator que influencia a progressão da praga neste tipo de clima.

Dentro dos vários tipos de anemómetros referidos anteriormente, encontramos o anemómetro ultrassónico, este apresenta como principal vantagem não possuir partes móveis, que representam normalmente pontos bastante frágeis de rotura.

3.1.1 Anemómetro Ultrassónico

Propriedades dos Ultrassons

Os ultrassons pertencem a um ramo da acústica que se dedica a gama de som inaudível para o ser humano, tipicamente superior a 20 kHz pode chegar a vários MHz (Gallego-Juárez and Graff, 2015) (Santos, 2004) (Ghaemi-Nasab, 2018).

O som durante a sua propagação no ar, produz uma vibração das partículas de ar, que faz variar a pressão e densidade, na mesma direção de propagação da onda sonora. Apesar de que que, a velocidade das partículas é muito inferior à velocidade de propagação da onda.

A impedância acústica é um aspeto importante do meio que atravessa, este define a capacidade de vibração das partículas pela aplicação de uma determinada força oposta, à propagação das ondas ultrassónicas, podendo ser descrita pela seguinte equação:

$$I_m = \frac{\zeta}{v} = \rho c \quad (3.1)$$

Onde, ζ é o stress, v é a velocidade da partícula, que pode transcrita obtendo a impedância acústica ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^2$) em função de ρ densidade (kg m^{-3}), e c a velocidade do som (m s^{-1}).

A impedância acústica é um fator muito importante na propagação das ondas, e na reflexão que estas podem sofrer, mesmo quando a reflexão pode ser provocada pela passagem de um meio para outro, com características físicas diferentes. Concluí-se que a impedância acústica é um aspeto relevante na construção e *design* de sensores ultrassónicos (Ghaemi-Nasab, 2018).

- Velocidade de Propagação

As ondas sonoras necessitam de um meio material para se propagarem, constituído por partículas. Assim se explica a razão por não existir propagação de som no vácuo, as características do meio influenciam assim, a velocidade de propagação das ondas sonoras, ficando ainda sujeitas a atenuação por parte do próprio meio.

A velocidade da onda sonora c , depende da elasticidade do meio k , e da densidade do meio de propagação, ρ (no caso do ar a uma temperatura de 15°C a densidade é 1.225 kg m^{-3}), que pode ser escrita através da seguinte equação (del Valle et al., 2007) (Ghaemi-Nasab, 2018):

$$c = \sqrt{\frac{k}{\rho}} \quad (3.2)$$

A velocidade do som pode ser ainda influenciada por alguns aspetos como a humidade e temperatura.

Quando o meio de propagação é o ar, a temperatura é um fator com bastante peso no que respeita a velocidade de propagação de uma onda sonora. Desta forma, é

possível calcular a velocidade do som no ar (c_a) em função da temperatura através da seguinte equação matemática (Zhou and Wang, 2011):

$$c_a = 331.3 \times \sqrt{\frac{T_k}{273.15}} = 331.3 \times \sqrt{1 + \frac{T_C}{273.15}} \quad (3.3)$$

Onde, T_k Temperatura em Kelvin (K), e T_C Temperatura em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Atualmente utilização de anemómetros cresceu bastante, muitas das aplicações são desenvolvidas para estações meteorológicas, para o mercado da exploração de energia eólica, ou ainda utilizado em situações que é necessário avaliar o impacto do vento, como construções ou edifícios (Pindado et al., 2012b).

Como a equação 3.3 é bastante complexa para ser utilizada por exemplo, por um microcontrolador, torna-se necessário simplificar a equação sem que se perca muito a precisão do resultado, face à equação original.

Desta forma através da aplicação da expansão da serie de *Taylor* é possível obter a seguinte equação (Zhou and Wang, 2011):

$$c_a = 331.3 + 0.606 \times T_C \quad (3.4)$$

Caraterísticas das Ondas Ultrassónicas

As ondas ultrassónicas possuem algumas caraterísticas particulares que ajudam a definir o seu comportamento na interação com determinados meios. Fatores importantes como a propagação, o comprimento de onda, atenuação, reflexão e refração.

- Propagação

A propagação do som ocorre através da vibração das partículas, concedendo assim a formação de uma onda mecânica e longitudinal. As caraterísticas mecânicas são conferidas pela necessidade de existir um meio físico, em que a propagação da onda sonora possa ocorrer. Enquanto que as ondas electromagnéticas não necessitam de um meio físico para se propagarem, assim é explicado a propagação de ondas electromagnéticas no vácuo e a não propagação das ondas sonoras. A propagação da onda

dá-se longitudinalmente, ou seja, na mesma direção das partículas do meio, existindo compressões e rarefações do mesmo, permitindo assim passagem da onda ([eNotes Editorial, 2016](#)).

- Comprimento de Onda

Um dos parâmetros que permite caracterizar uma onda é a avaliação do comprimento de onda. O comprimento de onda é a distância entre valores repetidos na mesma fase da onda ([Ghaemi-Nasab, 2018](#)).

$$\lambda = \frac{U_s}{f} \quad (3.5)$$

Onde λ (m) é comprimento de onda, U_s (m s^{-1}) é a velocidade da onda, f (Hz) é a frequência da onda.

- Atenuação

A propagação da onda ultrassônica num determinado meio sofre uma atenuação, esta pode ser provocada por dois fatores, a absorção, e a dispersão. A atenuação provocada pela absorção das ondas é mais significativa quando o meio de transmissão possui um elevado volume, como acontece com o ar ou a água. O fator que mais influencia a atenuação em líquidos e sólidos é a viscosidade. Devendo-se a uma diferença de velocidade das partículas da vizinhança, em relação à velocidade de propagação da onda acústica ([Santos, 2004](#)).

A atenuação da onda, resulta da perda de energia que se traduz na redução da amplitude da onda, face a um estado inicial. Afim de caracterizar a atenuação de uma onda sonora, tipicamente é descrito da seguinte forma ([Ghaemi-Nasab, 2018](#)) ([Santos, 2004](#)):

$$A = A_0 e^{-\alpha x} \quad (3.6)$$

Onde, A é a amplitude atual em que a onda se encontra, em função da distância percorrida x , A_0 é a amplitude inicial, α é o coeficiente de atenuação, este valor pode ser obtido experimentalmente, tipicamente as suas unidades vêm em decibel por metro (dB m^{-1}).

- Reflexão e Refração

Ao longo da propagação da onda sonora, existe a possibilidade desta encontrar, ou embater, com um segundo meio. No momento em que encontra outro meio este, pode possuir diferentes propriedades físicas em relação ao meio em que a onda circulava, assim podem existir fenómenos de reflexão e refração do som, ou ambos.

Os fenómenos de reflexão ocorrem quando o som embate num meio diferente, e dá-se uma mudança de direção de propagação, provocando assim um eco. Outro fenómeno que é frequente ocorrer é a refração da onda sonora, este, resulta na passagem de um meio para outro com características físicas diferentes, resultando num ângulo de incidência diferente do ângulo de saída do meio, isto deve-se aos meios possuírem também velocidades diferentes ([Ghaemi-Nasab, 2018](#)).

Como os ultrassons pertencem a gamas de frequência mais elevada, significa um comprimento de onda mais baixo, por consequência pode ser refletido em superfícies mais pequenas, pode ser usado para deteção de defeitos no interior de vários materiais. Através desta característica pode ser usado em testes não destrutivos, para avaliar a qualidade ou estado de conservação de um produto, por exemplo, na avaliação de parâmetros de qualidade da madeira ([Mestre et al., 2013](#)).

Piezoelétricidade

As ondas ultrassónicas possuem uma frequência elevada, pelo que a sensibilidade do recetor tem um papel muito importante na deteção da onda, pelo que dessa forma, muitos dos sensores ultrassónicos utilizam o efeito piezoelétrico na sua deteção.

Relativamente aos equipamentos que utilizam este princípio possuem algumas vantagens como a fácil construção e operação, e podem ser usados numa grande variedade de aplicações ([Ghaemi-Nasab, 2018](#)).

- Materiais Piezoelétricos

Os materiais piezoelétricos são distinguidos em três grupos: cristais, polímeros, cerâmicos.

Os cristais podem ser definidos dependendo da sua estrutura cristalina, os monocristalinos (rede cristalina contínua) ou policristalinos (estrutura cristalina com defeitos), estes podem ainda ser naturais ou sintéticos. Materiais como o quartzo, o sal de La Rochelle, entre outros, são considerados materiais piezoelétricos naturais ([Diogo, 2016](#)) ([muRata, 2001](#)).

No caso dos polímeros apenas um pequeno número pode ser utilizado na piezoelectricidade. Alguns materiais como nylon-11, ácido polilático (PLLA), ácido polilático-co-glicólico (PLGA) e o polifluoreto de vinilideno (PVDF) ([Lopes et al., 2014](#)).

Os piezoelétricos cerâmicos, como o titanato de bário ($BaTiO_3$) começaram a ser utilizados em transdutores ultrassônicos. Mais recentemente começaram a ser utilizados materiais como Titanato zirconato de chumbo, $PbZrO_3 - PbTiO_3$ (PZT), uma solução sólida com elevada simetria, ou seja, com elevado desempenho piezoelétrico ([muRata, 2001](#)) ([Safari and Akdogan, 2008](#)).

- Efeito Piezoelétrico

Segundo [muRata \(2001\)](#), [Diogo \(2016\)](#) muitos dos transdutores utilizam materiais piezoelétricos cerâmicos aproveitando o seu princípio de funcionamento com base no efeito piezoelétrico, e o efeito piezoelétrico reverso.

O efeito piezoelétrico ocorre através de uma vibração/pressão mecânica, e em consequência deste efeito é gerada uma diferença de potencial elétrica. Enquanto que

o efeito piezoelétrico reverso, utiliza o princípio inverso relativamente ao efeito piezoelétrico, quando o cristal é sujeito a um campo elétrico, este produz uma vibração, e em consequência é emitido o ultrassom.

Este tipo de sensores apresentam algumas vantagens como a elevada eficiência na transformação electromecânica, grande abrangência de materiais que podem compor os cristais do sensor (alto grau de liberdade) e alta estabilidade (muRata, 2001).

O efeito piezoelétrico (equação 3.7) nos cristais e nos cerâmicos, descreve a capacidade dos materiais em efetuar um deslocamento elétrico (D), este assume uma relação proporcionalmente linear com a vibração do material (*stress* mecânico - σ).

O efeito piezoelétrico inverso (equação 3.8), a pressão (S) libertada pelo material piezoelétrico é provocada pela ação de um campo elétrico (E). Estas ações podem ser descritas através das equações abaixo apresentadas (Safari and Akdogan, 2008):

$$D_k = d_{kij}\sigma_{ij} \quad (3.7)$$

$$S_{ij} = d_{kij}E_k \quad (3.8)$$

Onde, d_{kij} são os coeficientes piezoelétricos que cada material, ($i, j, k = 1, 2, 3$).

- Transdutores Piezoelétricos

Uma das formas de gerar ondas sonoras, em particular ultrassónicas, é utilizando transdutores piezoelétricos. A geração da onda dá-se aplicando o efeito piezoelétrico inverso, ou seja, o material piezoelétrico é excitado nos seus terminais com uma tensão elétrica, como consequência disso é provocada uma deformação no material piezoelétrico, provocando uma vibração que dessa forma produz o ultrassom.

Reciprocamente o transdutor piezoelétrico recetor, utiliza o efeito piezoelétrico direto, que deteta o sinal ultrassónico, provocando uma vibração no material e consequentemente este gera um sinal elétrico (Ghaemi-Nasab, 2018).

3.2 Desenvolvimento do Sistema

Dentro dos anemómetros apresentados os que possuem maior número de vantagens face às desvantagens mencionadas são os anemómetros ultrassónicos. Dessa forma, optou-se pelo desenvolvimento de uma solução baseada nesta tecnologia.

O funcionamento dos sensores ultrassónicos tem por base o seguinte diagrama de blocos, apresentado na Figura 3.1.

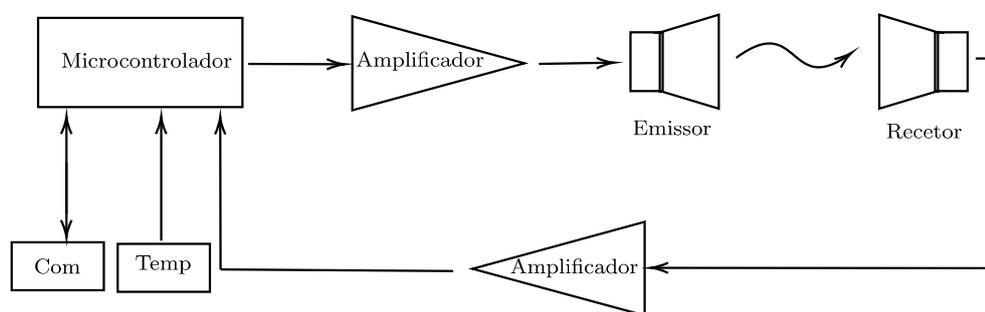


Figura 3.1 – Esquemático de funcionamento do protótipo.

Os componentes presentes na Figura 3.1, apresentam diferentes funções:

- **Microcontrolador** é normalmente constituído por uma unidade central de processamento, memórias, e periféricos. Através destes, o microcontrolador executa algumas funções, entre as quais, a coordenação de ações, geração de pulsos, efetuar contagens, transmitir e receber dados, gerar interrupções, e utilização de *timers*;
- **Estágios de amplificação** permitem elevar o nível de tensão do emissor para valores de operação do transdutor emissor, já no que respeita a receção é feita novamente uma amplificação para que o sinal possa ser detetado pelo microcontrolador, visto que o sinal do recetor é bastante ténue;
- **Transdutores emissor/recetor** permitem a conversão de um sinal elétrico pulsado num sinal ultrassónico, referente ao emissor, quanto ao recetor opera

de modo inverso, capta as ondas ultrassónicas geradas pelo emissor e converte-as num sinal elétrico.

- **Sensor de temperatura (Temp)** permite efetuar medições de temperatura do local;
- **Comunicação (Com)** tem a função de estabelecer comunicação entre o utilizador e o microcontrolador.

Modo de funcionamento dos sensores ultrassónicos

O tempo que a onda demora desde do transmissor até ao recetor, é designado de tempo de voo, ou *Time-Of-Flight* (TOF). Para poder determinar o TOF, é apresentada a equação 3.9, em que é possível relacionar a velocidade do som e a velocidade do vento com o valor do TOF (s):

$$TOF = \frac{d}{V_s + V_w} \quad (3.9)$$

Onde, d é a distância (m) ente o emissor e o recetor, V_s é a velocidade de propagação do som (m s^{-1}), V_w é a velocidade do vento (m s^{-1}).

Como a velocidade do vento é uma grandeza vetorial, se possuir a mesma direção mas com sentido oposto, a equação é a seguinte:

$$TOF = \frac{d}{V_s - V_w} \quad (3.10)$$

As equações 3.9 e 3.10 são demonstradas pelo seguinte diagrama de funcionamento (Figura 3.2), em que a onda sonora se propaga paralelamente, em relação a direção do vento.

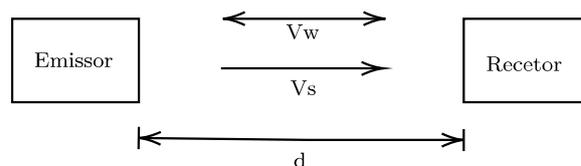


Figura 3.2 – Determinação do TOF

Este modo de operação apenas permite determinar a intensidade da velocidade do vento numa direção.

Para que seja possível determinar a direção e sentido da velocidade do vento a duas dimensões, a montagem dos sensores deve ser feita com um emissor e um receptor, para cada componente do vento, como é apresentada em seguida, na Figura 3.3. Este método utiliza pelo menos quatro sensores ultrassônicos (S1, S2, S3, S4) para a determinação da velocidade do vento (V_w) e o ângulo de incidência do vento (θ). Sendo que S1, S2, S3, S4, poderão ser emissores ou recetores, sendo que cada par S1-S2 e/ou S3-S4, formaram pelo menos um par emissor-recetor.

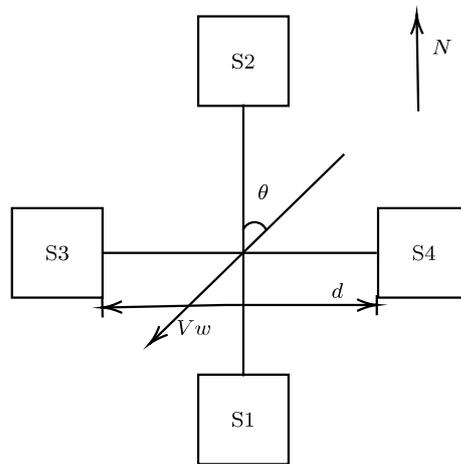


Figura 3.3 – Diagrama de funcionamento para determinação da velocidade do vento e direção

Na Figura 3.3, está representado a distância d , entre o S3 e S4, que é igual a distância d entre S1 e S2.

Na situação em que S1 e S3 são recetores e S2 e S4 são emissores é possível obter as seguintes relações da componente vertical (equação 3.11) e horizontal (equação 3.12) da velocidade do vento com o TOF.

$$V_w \cos(\theta) = \frac{d}{T_{21}} - V_s \quad (3.11)$$

$$V_w \sin(\theta) = \frac{d}{T_{43}} - V_s \quad (3.12)$$

Onde, d é distância (m) entre S3 e S4, igual a distância entre S1 e S2, T_{21} é o tempo de propagação (s) entre o S2 e S1, T_{43} é o tempo de propagação (s) entre o S4 e S3.

De onde é possível obter o seu módulo da velocidade do vento através:

$$V_w = \sqrt{\left(\frac{d}{T_{21}} - V_s\right)^2 + \left(\frac{d}{T_{43}} - V_s\right)^2} \quad (3.13)$$

E através da velocidade de cada componente é possível calcular o ângulo de incidência do vento:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\frac{d}{T_{43}} - V_s}{\frac{d}{T_{21}} - V_s}\right) \quad (3.14)$$

Os sensores S1, S2, S3, S4, apresentado na Figura 3.3, cada um deles pode representar um par emissor-recetor. Desta forma é nos permitido obter tempos de voo de chegada ao nó, assim como os emitidos apartir deste. E assim através destes valores de TOF, seria possível calcular a velocidade do vento sem que esta dependa da velocidade do som.

Através das equações 3.9 e 3.10 é possível desenvolver equações, e obter os TOF em função do ângulo de incidência do vento, da seguinte forma:

$$T_{12} = \frac{d}{V_s - V_w \cos(\theta)} \Leftrightarrow V_s - V_w \cos(\theta) = \frac{d}{T_{12}} \quad (3.15)$$

$$T_{21} = \frac{d}{V_s + V_w \cos(\theta)} \Leftrightarrow V_s + V_w \cos(\theta) = \frac{d}{T_{21}} \quad (3.16)$$

Onde, V_s é a Velocidade do som (m s^{-1}), V_w é Velocidade do vento (m s^{-1}), d é distância (m) entre S3 e S4, igual a distância entre S1 e S2, T_{12} é o tempo de propagação (s) entre o S1 e S2.

Subtraindo 3.16 com 3.15 é possível obter a seguinte expressão:

$$V_w \cos(\theta) = \frac{d(T_{12} - T_{21})}{2T_{12}T_{21}} \quad (3.17)$$

Aplicando o mesmo conceito para S3 e S4 obtém-se a seguinte equação:

$$V_w \sin(\theta) = \frac{d(T_{34} - T_{43})}{2T_{43}T_{34}} \quad (3.18)$$

Onde, T_{34} tempo de propagação (s) entre o S3 e S4, T_{43} tempo de propagação (s) entre o S4 e S3.

De acordo com as equações (3.17 e 3.18) que são apresentadas torna-se possível obter a equação para o módulo da velocidade do vento (Vw) é dado pela seguinte relação:

$$Vw = \sqrt{(Vw \cos(\theta))^2 + (Vw \sin(\theta))^2} \Leftrightarrow Vw = \sqrt{\left[\frac{d(T_{12} - T_{21})}{2T_{12}T_{21}}\right]^2 + \left[\frac{d(T_{34} - T_{43})}{2T_{43}T_{34}}\right]^2} \quad (3.19)$$

Ao dividir a equação 3.18 por 3.17 pode ser obtida equação em que é possível determinar o ângulo de direção do vento:

$$\tan(\theta) = \frac{T_{12}T_{21}(T_{34} - T_{43})}{T_{34}T_{43}(T_{12} - T_{21})} \Leftrightarrow \theta = \arctan \left[\frac{T_{12}T_{21}(T_{34} - T_{43})}{T_{34}T_{43}(T_{12} - T_{21})} \right] \quad (3.20)$$

Como é possível verificar pela equação 3.20, verifica-se que a módulo e direção da velocidade do vento, apenas depende dos TOF entre cada par de sensores.

3.2.1 Métodos de Estimação do TOF

A geração dos sinais ultrassônicos é da responsabilidade do respetivo emissor, após este gerar o sinal este é detetado pelo respetivo recetor, em que o tempo de voo é o intervalo de tempo desde que é gerado até que é recebido pelo recetor, como mostra a Figura 3.1. O sinal emitido sai do microcontrolador e é amplificado para níveis de tensão ajustáveis as condições do respetivo sensor, assim que o sinal é recebido no recetor, este passa por um amplificador para ajustar a tensão à gama que permita ao microcontrolador avaliar o tempo de voo.

Existem algumas técnicas para medir o TOF, ou seja, determinar o momento em que o sinal começa a ser recebido no recetor, tanto no domínio da frequência como no domínio do tempo. Segundo os autores, Barshan (1999), Mestre et al. (2011)

e Barshan and Ayrulu (1998) podem ser abordados os seguintes métodos de estimação:

- Método de limiar (*thresholding*):

Este método calcula o TOF do sinal, a detecção é feita quando o sinal recebido atinge um determinado nível de tensão, ou limiar (*threshold*) τ , que pode ser ajustado conforme o pretendido. Resultando normalmente, num valor de TOF maior do que o tempo de voo real do sistema.

- Método de ajuste da curva (*curve-fitting*):

Neste método bastante prático é utilizado o ajuste de curvatura através de método iterativo não linear de mínimos quadrados, em que o início da parábola efetuada pela receção do sinal é utilizado como TOF, este geralmente consegue uma melhor estimativa do TOF da onda que o método limiar.

- Método de média deslizante (*sliding-window*):

O método de média deslizante m-N ou de limiar duplo, utiliza uma janela de tamanho N para percorrer a cada amostra do sinal recebido, quando o limiar τ é excedido este é contabilizado, no entanto é definido a quantidade de vezes que os valores de limiar são excedidos, ou seja, quando o resultado obtido de limiares é superior a um número m, chega-se ao valor de TOF. Este método é imune a pequenos ruídos, daí a sua robustez, o desempenho do método está muito relacionado com o tamanho de N e m.

- Detecção correlação ótima (*optimum correlation*):

O método de correlação consegue uma maximização da relação sinal ruído (*Signal-to-Noise Ratio* SNR), este utiliza alguns filtros que utilizam réplicas da forma de onda do sinal recebido para determinar qual poderá ser a sua posição, isto obriga a que sejam utilizados um grande número de métodos para poder efetuar efetivamente a correlação do sinal. Este modelo pode ter um variado número de alvos e localizações. Como desvantagens apresenta um elevado processamento computacional, com algumas desvantagens em caso de implementações em tempo real.

Comparação entre os métodos

O método de *thresholding* é facilmente implementado usando um comparador, através da detecção de envolvente do sinal recebido do sensor com uma tensão τ que define o limiar, assim quando o sinal for maior que o valor de comparação é apresentada uma saída "a alto" e quando este for inferior a saída é "a baixo". Desta forma, permite ao processador calcular o TOF quando o sinal do comparador ativar a transição de nível lógico baixo para alto.

Quanto aos métodos de ajuste de curva, média deslizando, e detecção de correlação ótima, são métodos que requerem mais recursos computacionais que o método de limiar, visto que estes fazem um pós-processamento o que leva a que sejam necessários mais recursos e tornando-se bastante mais complexo a sua implementação para um microcontrolador.

3.2.2 Detecção do TOF Enquadrado no Sistema

Após a análise dos vários métodos de detecção do TOF, o sistema implementado determina o tempo do sinal desde que sai do transdutor emissor até que chega ao transdutor recetor. Este valor vem normalmente acrescido de um erro, resultante do método de detecção utilizado.

Através da Figura 3.4-a), é possível ver a envolvente do sinal pulsado, de 40 kHz, que permite ao emissor gerar a onda ultrassónica. Enquanto que na Figura 3.4-b) o sinal apresentado é o sinal típico de um transdutor recetor ultrassónico, que se apresenta com uma subida com alguma inclinação e uma descida mais gradual.

As linhas verticais a tracejado na Figura 3.4 marcam o início da emissão do sinal e o início da receção do mesmo sinal pelo recetor (com um intervalo de tempo 1.200 ms).

Relativamente à Figura 3.5-a) são apresentados os pulsos relativos à emissão do sinal sonoro, enquanto que na Figura 3.5-b) é representado um exemplo da transição de um sinal à saída, quando é utilizado o método de *thresholding*. Neste caso as linhas

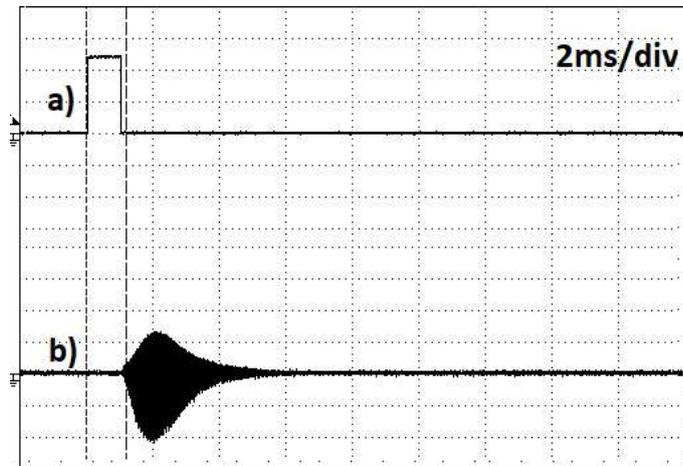


Figura 3.4 – Emissão a) e Receção b) dos sinais ultrassónicos

verticais a tracejado têm o mesmo significado e apresentam uma diferença de tempo de 1.430 ms, maior que no caso da Figura 3.4, para as mesma condições de distância entre os sensores e temperatura.

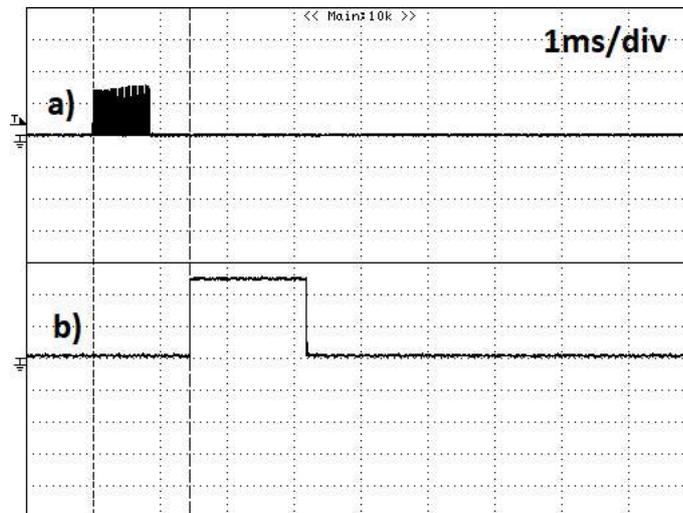


Figura 3.5 – Exemplo da deteção do TOF através do método de *thresholding*

A análise das Figuras 3.4-b) e 3.5-b) permite a verificar que existe uma variação de tempo de 0.230 ms, entre o momento em que o sinal é efetivamente recebido pelo sensor ultrassónico, e o momento em que é detetado recetor usando o método *thresholding*. Caso não seja prevista esta variação poderá provocar erros na medição da velocidade do vento pelos anemómetros.

3.2.3 Seleção dos Sensores

Quando a interação do microcontrolador é feita com mais do que um par de sensores, ou seja, conjunto de emissor e recetor, é necessário aplicar métodos que permitem a escolha dos sensores que estão a emitir e a receber os sinais, ou seja, definir um ciclo de trabalho.

Para isso, é necessário criar canais que realizem esta tarefa através de *multiplexers*, ou mesmo de transístores.

A escolha do canal a ser selecionado, é feita pelo microcontrolador de forma a que funcione apenas um par (emissor e recetor) durante cada momento de emissão e receção dos sinais. Na Figura 3.6 é apresentado o esquema que demonstra como é realizada a escolha de cada transístor nos canais de emissão (E1 e E2). Quanto à receção a escolha do canal é feita através de um *multiplexer*, que através dos canais seletores efetua a escolha do canal que fica à saída, Figura 3.6-b).

Relativamente ao sinal que chega à Figura 3.6-a), é o sinal pulsado que será utilizado pelos transdutores para emissão do sinal ultrassónico.

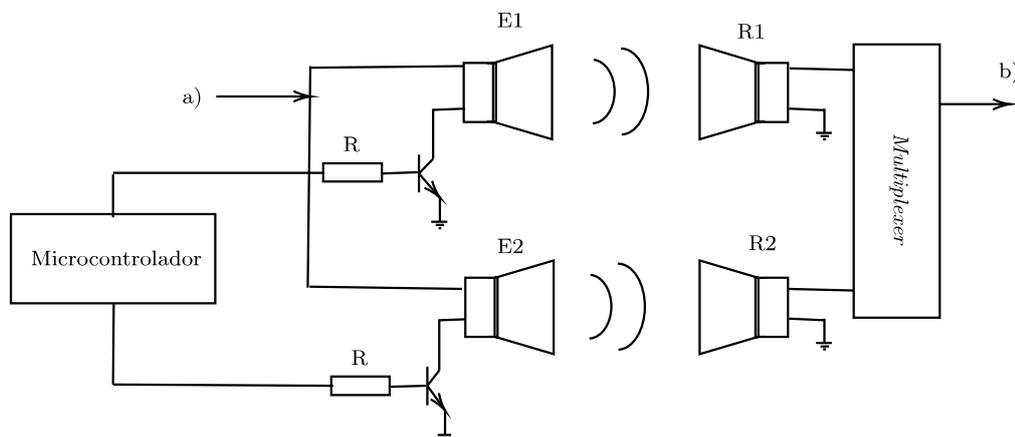


Figura 3.6 – Esquema de seleção do conjunto de sensores

Como os sensores funcionam em pares, ou seja, o E1 emite para o R1, enquanto que o E2 emite para o R2, são utilizados os pulsos gerados para saturar o transístor, e ao mesmo tempo poderá ser usado como seletor no *multiplexer*. Assim é garantido

que os pares comunicam com os próprios pares e não estão sujeitos a sinais do outro par.

4

Implementação

Considerada a necessidade de efetuar a medição da velocidade do vento, foi então desenvolvido um anemómetro ultrassónico, para esse efeito. Desta forma, foi levada em consideração a utilização de transdutores cerâmicos, tipicamente estes sensores utilizam o efeito piezoelétrico para a transmissão e o efeito reverso para a receção de ultrassons, e através destes é possível efetuar a medição do TOF.

Os transdutores piezoelétricos são amplamente usados em aplicações industriais tendo uma boa resistência em ambientes que utilizam produtos químicos e um bom desempenho em ambientes com elevadas pressões e temperaturas [Mosland \(2013\)](#). Uma vez que a RDD, é uma região que apresenta elevadas variações de temperatura torna-se uma escolha adequada a utilização destes sensores.

Para efetuar a medição da velocidade do vento e temperatura, foi necessário implementar circuitos elétricos que possam gerar e detetar pulsos elétricos, e efetuar os respetivos cálculos, e assim obter resultados que podem ser usados para ajudar a tomada de decisões por parte dos gestores, na aplicação dos devidos tratamentos nas vinhas.

4.1 Componentes do Circuito

No capítulo anterior, na Figura 3.1 é apresentado um diagrama de blocos com o funcionamento geral do sistema, nesse esquemático é referida a utilização de um microcontrolador, um estágio de amplificação do sinal, um emissor, um recetor, ainda um estágio de amplificação do sinal recebido, complementado por um sensor de temperatura e um módulo de comunicação.

O microcontrolador utilizado é o PIC18F4550 da Microchip, que utiliza tecnologia *nanoWatt*, possui periféricos que permitem desenvolver algumas funções como, interface serie para realizar comunicação, módulo PWM para gerar os sinais emitidos, permite ainda a deteção de transições para obter o TOF, e ainda um conversor Analógico-para-Digital (A/D) de 10-*bits*.

O microcontrolador assume elevada importância para o correto funcionamento do sistema, sendo este o módulo central que interage com os restantes módulos, efetuando um controlo de funções de cada um deles. Tal como é possível verificar pelo diagrama da Figura 4.1.

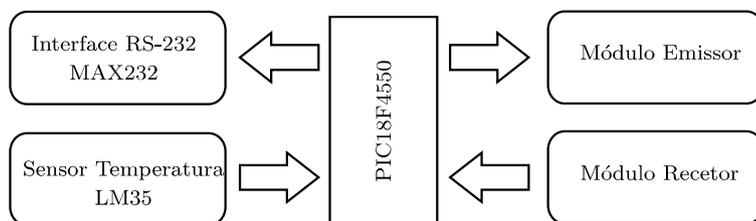


Figura 4.1 – Interações do sistema

Como é possível ver pela Figura 4.1, com objetivo de estabelecer a comunicação serie foi utilizado um MAX232, permitindo realizar a comunicação serie com o computador, através de uma interface RS-232.

Relativamente à medição da temperatura foi utilizado um sensor temperatura (LM35) da Texas Instruments. A escolha deste sensor parte de algumas características como a gama de temperaturas que operam desde -55°C até 150°C , possui ainda, uma gama de tensões de operação elevada, baixo consumo de corrente, inferior a $60\ \mu\text{A}$.

Relativamente ao bloco emissor, apresentado na Figura 4.2, os sinais são gerados pelo microcontrolador, e são injetados nas entradas lógicas, tendo como resultado dessa combinação um sinal pulsado que posteriormente será convertido num sinal ultrassónico. Para conseguir efetuar a lógica referida, utilizou-se uma porta NAND 4011 que utiliza tecnologia *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor* (CMOS) e uma porta lógica inversora 4009, também CMOS.

O ciclo de trabalho de cada emissor é definido pela seleção dos canais, através de um transístor (2N2222), que funciona como interruptor, ou seja, opera entre o estado de corte e saturação.

Os transdutores piezoelétricos cerâmicos utilizados são os MA40E7S e os MA40E7R transmissor ultrassónico e recetor ultrassónico respetivamente, da Murata.

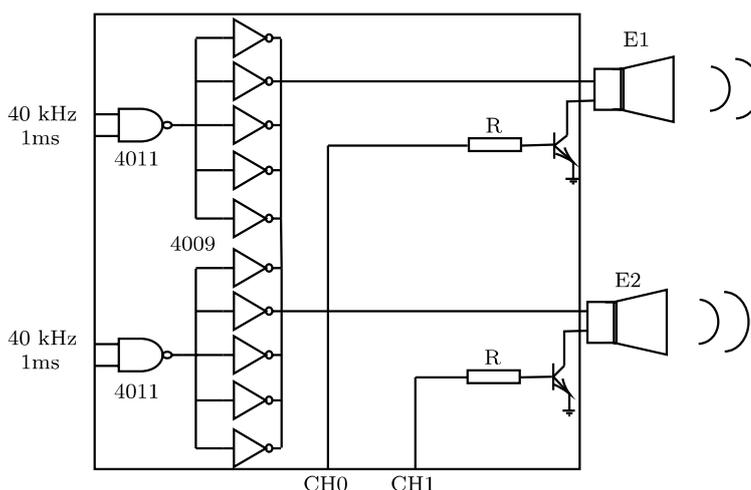


Figura 4.2 – Circuito do módulo emissor de sinal

Relativamente ao módulo de receção do sistema, Figura 4.3, foi utilizado um CD4051 CMOS *multiplexer* aplicado aos transdutores recetores, para realizar a escolha do par (emissor-recetor) que irá comunicar. Em seguida é aplicado um filtro passivo RC passa alto, para eliminar componentes contínuas e frequências parasitas no tratamento do sinal recebido, passando ainda por dois estágios de amplificação com dois amplificadores operacionais OP27 da Analog Devices de baixo ruído, permitindo elevar a tensão do sinal para poder ser captado pelo detetor de envoltivo e seguidamente pelo comparador. Para o bloco do comparador foi utilizado um LM311

(Texas Instruments), que compara a tensão do sinal vindo do detetor de envoltório, com uma tensão de referência (τ), que permite ao microcontrolador detetar um pulso ascendente e calcular o TOF.

Ainda ao nível da alimentação, para poder obter o valor de tensão negativa para alimentar negativamente os amplificadores operacionais foi utilizado um conversor de tensão CMOS, ICL7660 da Intersil.

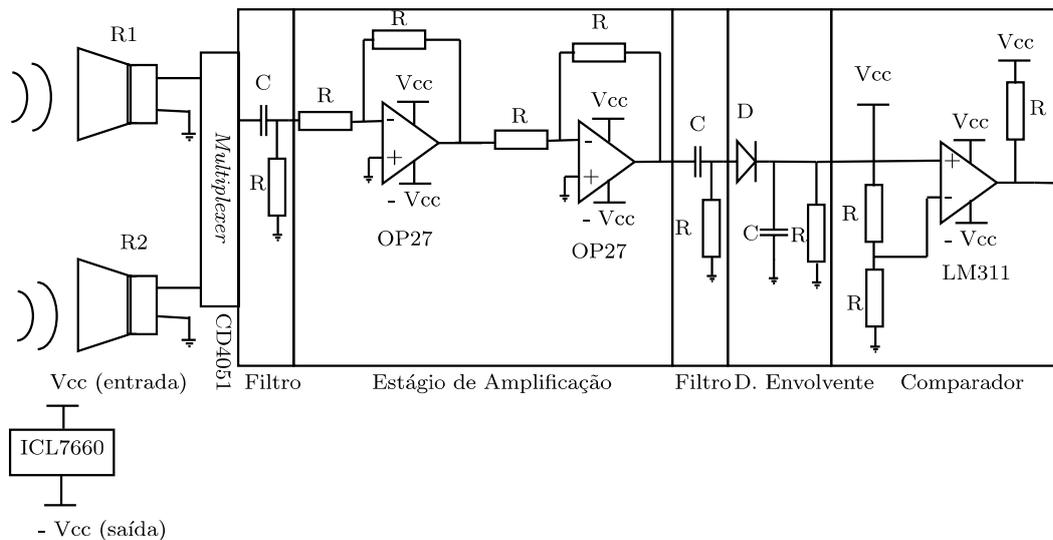


Figura 4.3 – Circuito do módulo recetor de sinal

Ciclos de trabalho dos sensores

O funcionamento dos sensores é feito alternadamente entre os pares de sensores colocados ortogonalmente entre si, como pode ser visto na Figura 3.3. É efetuada a escolha do transdutor que emite o sinal ultrassónico, através da saturação do transístor, esse mesmo pulso que leva o transistor à saturação, é utilizado no *multiplexer* para efetuar seleção do canal do recetor correspondente. Desta forma é garantido que apenas opera um sensor emissor e um sensor recetor em cada ciclo de operação.

Assim sendo, quando são iniciados os pulsos do sinal de emissão, Figura 4.4-a), são escolhidos quais os respetivos pares que devem realizar a comunicação (Emissão-

Receção). Um exemplo de troca de pares pode ser visualizado na figura 4.4-b).

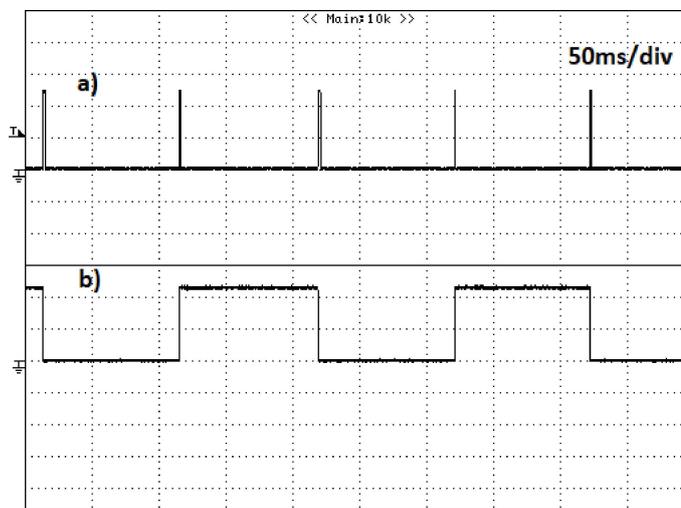


Figura 4.4 – Seleção entre pares de sensores

Esta alternância (Figura 4.4-b)) apenas é realizada se o sinal for detetado pelo receptor selecionado no respetivo ciclo de trabalho, caso não aconteça o sinal apresentado na Figura 4.4-b), fica sempre num nível lógico alto ou baixo, de acordo com o canal selecionado para o fazer.

4.1.1 Funcionamento do Circuito

Em muitas aplicações baseadas em transdutores ultrassónicos é necessário medir o tempo de voo, ou seja, desde que os pulsos começam a ser emitidos até que são detetados no respetivo recetor. Desta forma é necessário criar as condições para que seja efetuada a respetiva medição e de forma a que os erros de medição sejam o menor possível, para conseguir obter leituras precisas e confiáveis.

A utilização do microcontrolador permitiu que fossem gerados dois sinais, um sinal de alta frequência (40 kHz), e um sinal com uma frequência mais baixa, ambas as frequências são recomendadas pelo construtor. Com recursos a circuitos lógicos (NAND e NOT) foi possível obter cerca de 20 pulsos durante 1 ms, com um intervalo entre um conjunto de pulsos de 100 ms, como mostra a Figura 4.5.

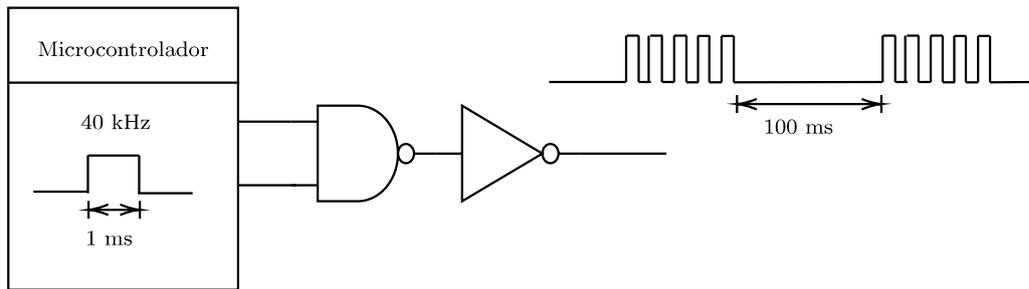


Figura 4.5 – Circuito utilizado para gerar o sinal emitido

Para conseguir gerar os dois sinais foi utilizado um *timer* interno do microcontrolador, este ainda foi utilizado para a realização da medição do tempo que o sinal pulsado demora desde que sai do emissor até que é detetado pelo recetor. É desta forma que é calculado o TOF, sendo que o *timer* funciona com sucessivos incrementos de ciclos de relógio do microcontrolador, o que pode levar a leituras com pequenos erros.

O sinal que é recebido no transdutor recetor necessita ser tratado através da realização de uma filtragem, tendo sido utilizado um filtro passivo RC passa alto. Após a aplicação da filtragem do sinal, este é amplificado para níveis de tensão mais elevados, uma vez que os sinais recebidos possuem tensões que rondam alguns μV . Como os sinais têm tensões extremamente baixas para serem detetadas pelo detetor de envolvente, e seguidamente pelo comparador, o ganho da componente de amplificação deve ser elevada. A Figura 4.6, apresenta um típico sinal ultrassónico (azul) após ser amplificado, e a respetiva envolvente representado a vermelho.

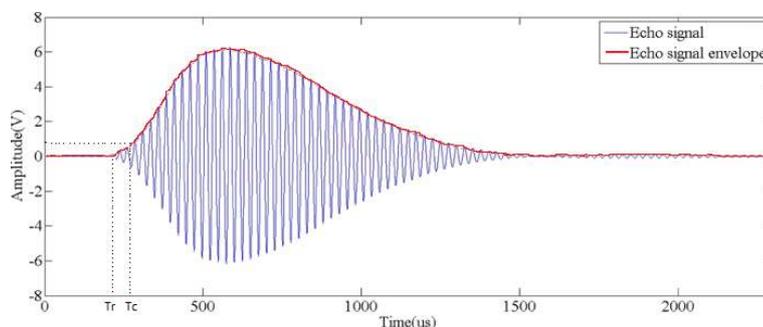


Figura 4.6 – Exemplo de deteção de envolvente do sinal ultrassónico. Adaptado de [Jia et al. \(2016\)](#)

Um dos aspetos que tem maior relevância nos amplificadores, é a constante dada por $BW \times A$, produto do ganho pela largura de banda, quando o ganho é muito elevado, a largura de banda reduz na mesma proporção. Como o sistema necessita de um ganho elevado foi dividido em dois estágios, desta forma é garantido que a largura de banda do sistema não é afetada, e a frequência de corte se situa acima da frequência a que o sistema opera.

A amplificação do sinal recebido pelo transdutor, permite verificar que o sinal é sinusoidal, sendo realizada a deteção da envolvente do sinal recebido para que não existam oscilações, visto que, apenas é relevante a sua amplitude máxima, para o próximo estágio.

Em seguida o sinal entra no comparador que tem como função comparar o sinal vindo do detetor de envolvente com uma tensão de referência, ou limiar. Este funciona através do seguinte processo: enquanto a tensão do sinal vindo do detetor de envolvente for inferior a tensão de limiar de comparação, a saída é nula (nível lógico baixo), em oposição quando o sinal do detetor for superior à tensão de limiar, então a saída do comparador, sofre um pulso ascendente, permitindo ao microcontrolador o detetar, e conseguir medir o TOF.

É assim possível verificar na Figura 4.6, que existe um erro associado à deteção do TOF, visto que, existe uma diferença entre o TOF real (T_r) e o TOF obtido do comparador (T_c), esta diferença pode causar erros de leitura, pelo que é necessário fazer o ajuste desse mesmo erro.

Medição do TOF

O *timer* do PIC18F4550 é iniciado, no instante em que é iniciada a onda pulsada utilizada na emissão, ou seja, é iniciada quando o se dá um pulso de 1 ms.

O microcontrolador utiliza um cristal interno de 8 MHz, em que o incremento do *timer* é feito a cada $0.5 \mu s$, sendo que numa fase inicial de testes é uma resolução aceitável para efetuar calibrações.

A utilização de um cristal externo pode trazer algumas vantagens ao nível da resolução (maior frequência de relógio), mas também apresenta algumas desvantagens como o maior consumo de energia, uma vez que um dos requisitos do desenvolvimento do sistema é possuir um baixo consumo de energia, dessa forma foi desenvolvida uma solução utilizando o cristal interno do microcontrolador.

O PIC18F4550 é programado para operar em *capture mode*, neste caso quando for detetado no microcontrolador um pulso ascendente que chega do comparador (sinal apresentado na Figura 3.5-b)), é ativada uma rotina de interrupção, que lê o valor do *timer*, guarda esse valor numa variável, e efetua um *reset* ao *timer*, para poder efetuar novas leituras independentes das anteriores.

O diagrama da Figura 4.7 traduz a relação entre as funções utilizadas no microcontrolador para a deteção do TOF e os módulos que representam o circuito.

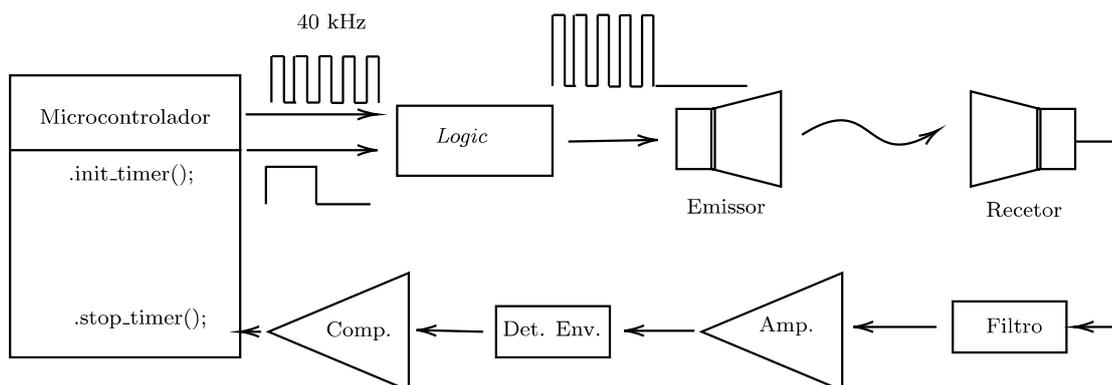


Figura 4.7 – Diagrama de blocos representativo da emissão e recepção de ondas ultrassônicas

Medição da temperatura

Relativamente à medição da temperatura é feita recorrendo a uma *Analog-to-Digital Converter* (ADC), visto que o sensor de temperatura (LM35) possui a saída analógica, através do uso da ADC interna de 10-bit, a resolução das leituras é de aproximadamente de 0.5 °C.

A utilização de um sensor de temperatura com gama elevada de temperaturas de

operação, revelou-se importante devido à grande amplitude térmica que se possa ocorrer no terreno.

Comunicação serie

A comunicação do microcontrolador com o exterior é feita através de comunicação serie, o que possibilita a que o utilizador possa ter acesso aos dados resultantes das medições feitas pelos vários sensores.

A estrutura desenvolvida contempla uma interface RS-232, em que a comunicação é feita através de *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART), que utiliza esta interface para transmitir dados entre o microcontrolador e o computador, e dessa forma para poder realizar a comunicação, foi utilizado um MAX232.

4.2 Programação do Microcontrolador

O desenvolvimento do sistema contempla a programação do PIC18F4550, e o desenvolvimento de um algoritmo que permita efetuar várias tarefas em paralelo, uma forma que permite corresponder a este requisito, é através do uso de *Finite-State Machine* (FSM).

As máquinas de estados finitas (FSM) pretendem representar uma sequência de diferentes estados e de transições entre diferentes estados que dependem de variáveis de entrada e do estado atual em que se encontra. O desenvolvimento de diagramas de transições é um dos métodos de representar uma máquina de estados onde são detalhados os estados, e condições de transição (Wilson and Mantooth, 2013), como é apresentado na Figura 4.8. Em que os estados são representados por circunferências, e as transições por setas.

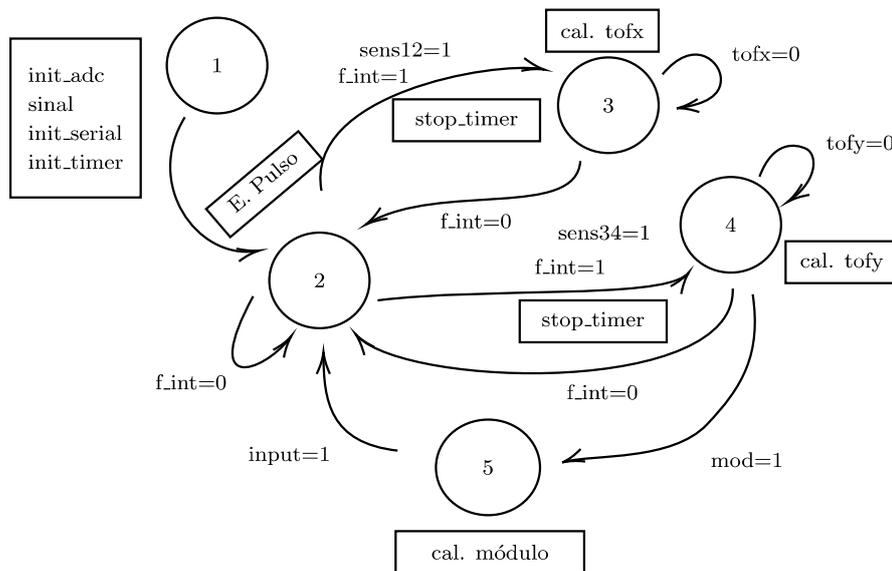


Figura 4.8 – Diagrama da máquina de estados utilizada para medições

O diagrama de estados da Figura 4.8, é iniciado no estado inicial (1), onde são inicializadas todas as variáveis necessárias, e algumas funções que serão utilizadas durante a execução do algoritmo. Entre as funções inicializadas está a ADC utilizada na leitura do sensor de temperatura, gerar o sinal de 40 kHz através da PWM, definir os parâmetros iniciais do *timer*, e da comunicação serie.

No estado seguinte (2), é gerado o pulso de 1 ms que permite obter o sinal pulsado, no entanto quando é dado o *trigger* ascendente é iniciado um *timer*. Após este ser iniciado é selecionado o par de sensores que comunicam, o sinal é emitido, e quando for detetado um pulso ascendente pelo microcontrolador, é ativada uma *flag* de interrupção (*f.int*) e parado o *timer*. Em seguida (3) é calculado o TOF (a partir do valor do *timer*), caso este seja nulo, então a leitura é repetida, sendo necessário voltar ao estado anterior (2), fazendo um *reset* à *flag*, e repetir o processo.

Enquanto que se o valor TOF (*tofx*) for maior que zero, é então calculado o valor da velocidade do vento da componente, em que depois é feito o *reset* da *flag*, voltando ao estado anterior (2).

Neste ponto é selecionado o segundo par de sensores, e gerado o pulso (1 ms) quando

o sinal é detetado, é parado *timer*, e é novamente calculado o TOF (4), da componente (tofy) perpendicular à anterior (tofx), caso o valor calculado for zero então é necessário repetir, como o previsto para o tofx. Se a componente calculada for maior que zero então é calculada a velocidade, e é ativado a variável (mod=1) que permite a transição para o estado (5).

Após efetuar ambas as leituras de velocidade de cada componente, é chegada a altura de efetuar o cálculo do módulo da velocidade do vento e calcular o ângulo de incidência, e ainda a leitura do sensor de temperatura, para avaliar a intensidade e direção do vento, e temperatura. Após efetuar os cálculos o sistema retorna ao estado 2 repetindo novamente todo o algoritmo.

5

Testes e Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados que foram obtidos de todo o sistema, sendo que, todos os testes realizados o foram obtidos em ambiente laboratorial.

Com base nas primeiras leituras foi possível verificar que era necessário proceder à calibração dos ganhos dos amplificadores operacionais que integram o circuito de recepção, uma vez que o sinal recebido pelos transdutores recetores, é muito fraco, visto que a tensão ronda os μV , foi necessário realizar a amplificação do sinal recebido, desta forma os ganhos dos amplificadores operacionais, que compõem o sistema, podem ser de algumas centenas, ou mesmo milhares. Foram implementados vários estágios de forma que a largura de banda do sinal recebido não seja afetada, e o circuito não fique instável e auto-oscilante. Para o sistema em questão foram aplicados dois estágios de amplificação que satisfaziam os critérios de leitura e medição do TOF. Os ganhos utilizados nos amplificadores que pertencem ao módulo de recepção são apresentados na Tabela 5.1.

	1 ^o Estágio	2 ^o Estágio	Total (A1*A2)
Ganho	66	13	858

Tabela 5.1 – Ganho dos estágios do sistema de recepção

A aplicação dos ganhos apresentados na Tabela acima, permitiu obter uma boa relação entre o sinal e ruído, *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), sendo que este pode ser um parâmetro que pode influenciar na introdução de erros nas medições dos valores de TOF.

Uma das características dos transdutores utilizados (MA40E7), é o tempo de resposta que difere de um par (emissor e recetor) de sensores para outro par o que faz com que o TOF varie de par para par de sensores, o que leva a que seja necessário algumas vezes ajustar os valores das leituras.

Calibrações dos Sensores

Devido às diferenças de comportamento relacionadas com o TOF, entre diferentes pares de sensores é necessário realizar algumas calibrações para existir alguma coerência e consistência entre tempos, inclusive do mesmo par. Uma das variáveis, que permitem efetuar o ajuste de TOF, é a distância entre pares, sendo que esta é diretamente proporcional ao tempo de voo.

Os autores [Bucci et al. \(2013\)](#) afirmaram que, tipicamente os transdutores estão distanciados entre 10 cm e 40 cm. Assim sendo, foram realizadas medições variando a distância entre emissor e recetor, com o objetivo de perceber qual a distância que se traduz numa resposta com menor variação entre diferentes TOF. Foram utilizadas distâncias fixas de 10 em 10 cm, com início em 10 cm até 40 cm, como se pode observar pelas medições que resultaram nas Figuras [5.1](#) e [5.2](#). Estas medições foram realizadas em laboratório e sem presença do vento, a uma temperatura média de 20 °C.

Para obtenção dos gráficos das referidas figuras foi considerada uma pequena amostra de leituras (80) para cada valor de distância. Foi ainda possível traçar outro gráfico, Figura [5.2](#), no qual é desenvolvido todo o estudo para efetuar a calibração do sensor para o atual sistema.

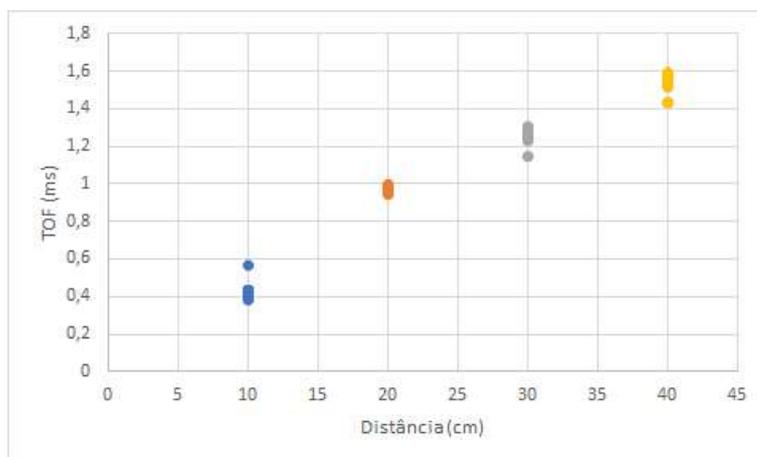


Figura 5.1 – Dispersão de valores de TOF (ms) em função das distâncias (cm)

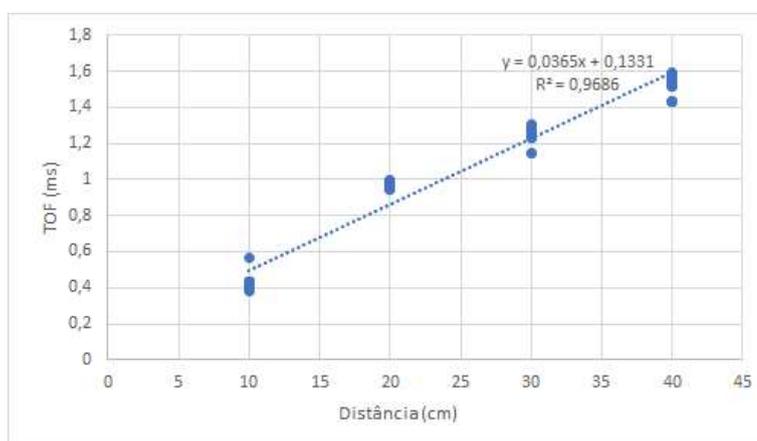


Figura 5.2 – Regressão linear da amostragem de valores da Figura 5.1

Através dos pontos obtidos das respetivas leituras foi traçada uma reta que representa a regressão linear da resposta dos sensores. Esta reta representa, o contributo de cada distância para obtenção da resposta temporal dos sensores. A regressão linear referente ao teste ilustrado na Figura 5.2, pode ser descrita pela equação:

$$TOF = d \times \frac{1}{v} + const \quad (5.1)$$

Em que *const*, define uma constante que, neste caso, representa o erro associado às leituras efetuadas. Entre os possíveis erros associados à deteção atrasada do sinal no recetor podem ser devidos ao *threshold* definido no comparador, que por ser muito elevado o sinal de recebido apenas é detetado mais tardiamente, o tempo

de processamento pode ser outro fator a influenciar este atraso do sinal, ou mesmo defeitos de construção dos sensores que possam elevar esse mesmo erro. Através da análise da reta obtida da regressão linear permite verificar que o valor médio do erro é de 0.1331 ms.

Um aspecto relevante obtido da regressão linear é o valor de $R^2 \approx 0.97$ que significa, que a regressão se ajusta quase na totalidade aos dados da amostra, podendo ser quase explicado pelo modelo linear.

No entanto é necessário discriminar cada valor e verificar o que oferece melhor estabilidade de valores, das leituras efetuadas na Figura 5.1, através da Tabela 5.2.

	Min (ms)	Máx (ms)	Médio (ms)	Variação (ms)	Desvio-Padrão (ms)
10 cm	0.384	0.567	0.422	0.183	0.019234
20 cm	0.946	0.996	0.965	0.05	0.011503
30 cm	1.147	1.303	1.254	0.155	0.022942
40 cm	1.429	1.59	1.543	0.161	0.036488

Tabela 5.2 – Valores de TOF (ms) para diferentes distâncias (cm) obtidos a partir do gráfico da Figura 5.1

Analisando a tabela acima apresentada, é possível tirar algumas conclusões acerca de qual a distância entre sensores que melhor se adequa aos critérios pretendidos, entre eles estão os que oferecem menor variação e menor desvio-padrão. Dessa forma os valores de desvio-padrão revelam, ser a maneira mais correta de analisar qual a distância, cujos os valores de TOF sofreram menor amplitude da variação de valores. Para tal com o auxílio da Tabela 5.2 a distância que melhor se adequa será a de 20 cm.

Medição da Velocidade do Vento

Após efetuar a calibração dos sensores e averiguar qual a distância que apresenta uma melhor fiabilidade, é chegado o momento de efetuar, medições de velocidade do vento, esta medição foi realizada sem a presença de vento, e encontra-se apresentada

na Tabela 5.3.

Foi recolhida uma amostra de 15 leituras, à distância de 20 cm e uma temperatura média de 22°C, foram efetuadas leituras para as duas componentes de velocidade do vento (V_x e V_y) e respetivo módulo resultante das duas componentes.

Leituras	V_x ($m s^{-1}$)	V_y ($m s^{-1}$)	Módulo ($m s^{-1}$)
1	-0.619	-0,357	0.715
2	0.316	2.250	2.272
3	1.936	-2.799	3.403
4	-0.885	-3.300	3.417
5	0.853	0.470	0.974
6	-0.486	-0.254	0.549
7	0.719	-0.151	0.734
8	2.072	-0.871	2.248
9	0.182	1.513	1.524
10	-0.486	-0.768	0.909
11	1.664	-1.382	2.163
12	0.853	1.723	1.923
13	-0.885	1.828	2.031
14	-0.486	-0.973	1.088
15	-1.942	-1.382	2.384
Média ($m s^{-1}$)	0.187	-0.297	1.756

Tabela 5.3 – Medição experimental da velocidade sem presença de vento

Através da análise da Tabela acima apresentada, é possível verificar que apesar das calibrações, os resultados da medição da velocidade do vento ainda possuem algumas variações devido a algum ruído presente no sinal recebido, refletindo-se tanto nos valores de V_x como para V_y .

Relativamente aos valores do módulo da velocidade é possível verificar que existe grande variação entre valores que pode perturbar a eficácia do sistema. Por vezes uma leitura isolada pode não representar o valor real, devido a possíveis erros

que possam ocorrer, para poder minimizar foi utilizada uma amostra de leituras e realizada a média.

Neste caso o valor médio de erro, que o sistema apresenta de aproximadamente 1.756 m s^{-1} , para um cenário de ausência de vento. Embora possa este ser um valor elevado, para anemómetros que requerem elevada precisão, para algumas aplicações este valor de erro médio é aceitável.

O módulo da velocidade média apresentada é calculado através de cada uma das suas componentes, horizontal e vertical, sendo que cada uma delas é obtida através do TOF entre cada par de sensores. Assim sendo é elevada a dependência do TOF para a obtenção do módulo da velocidade sendo necessário haver rigor na conceção para elevar a eficácia do sistema. Um dos aspetos que podem ter influência nas leituras, é o alinhamento dos sensores, uma vez que este tipo de sensores são bastante direccionais, tornando a deteção mais difícil, ou provocando atraso do sinal recebido, caso existam pequenos desalinhamentos entre eles.

Medição de Temperatura

Embora a microestação meteorológica seja desenvolvida em torno do anemómetro ultrassónico, para que seja possível perceber a influência da temperatura na velocidade do som, procedeu-se à sua mediação através de um sensor, além disso, foi possível agregar mais um parâmetro informativo de condição meteorológica. A Figura 5.3 representa uma amostra de valores de temperatura obtidos.



```
COM4 - PuTTY
19.531250
19.531250
19.531250
19.531250
19.531250
19.531250
19.531250
20.019531
19.531250
19.531250
20.019531
19.042968
19.531250
```

Figura 5.3 – Amostra de temperaturas obtidas a partir do sensor de temperatura

Prótipo

Para a realização de todos os testes laboratoriais foi necessário desenvolver um sistema que se adequa-se às condições pretendidas na medição TOF, e posteriormente de anemómetro. Embora esse objetivo ainda não tenha sido alcançado na totalidade e de modo estável, os progressos demonstram que se encontra na direção certa e perto da sua conclusão, como demonstra o protótipo da Figura 5.4.

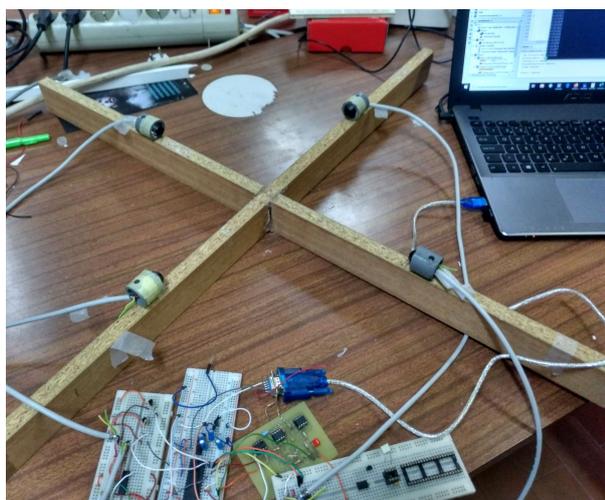


Figura 5.4 – Sistema utilizado para obtenção de resultados

Para melhorar o comportamento do sistema, um dos aspetos que poderia aumentar a precisão da mediação do TOF do sistema, corresponderia a uma melhor relação sinal-ruído, para combater esta lacuna seria importante desenvolver um *Printed Circuit Board* (PCB), reduzindo assim a quantidade de fios, que contribuem para a deterioração do sinal.

Desenvolvimento do PCB

Para o desenvolvimento da placa de PCB, é necessário realizar o *layout* do circuito e posicionar os componentes de forma a que seja reduzida a distância entre estes, de forma a otimizar o espaço disponível. Muitas vezes torna-se uma tarefa árdua, visto que é necessário respeitar algumas regras para que a futura placa de PCB tenha um funcionamento pretendido e correto.

Para que seja mais perceptível, os componentes utilizados e as ligações em cada placa de PCB, são apresentados em seguida os esquemáticos dos circuitos, na Figura 5.5 o esquemático do módulo emissor, na Figura 5.6 o esquemático do módulo recetor, enquanto que na Figura 5.7 é apresentado o esquemático do módulo do microcontrolador.

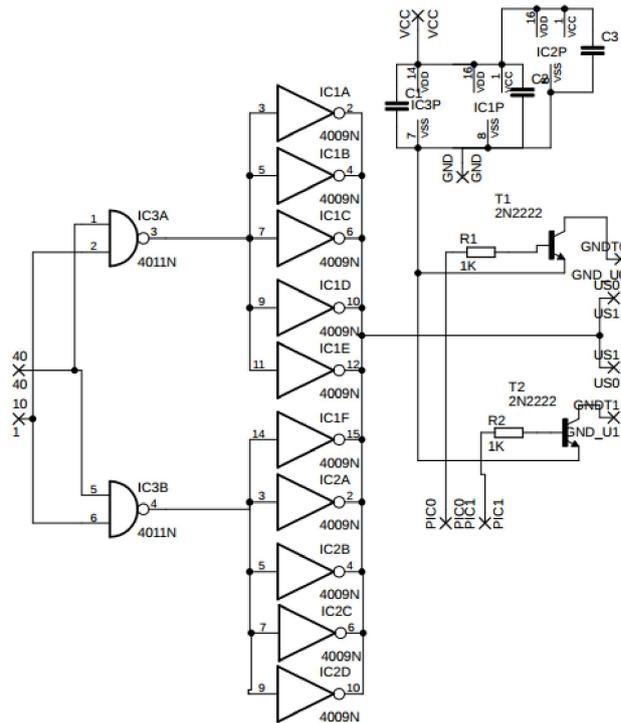


Figura 5.5 – Esquemático do módulo emissor

A realização do desenho do PCB do sistema foi dividido em três placas, visto que apresenta uma grande extensão para ser realizado numa placa, assim sendo é apresentado, na Figura 5.8 (a), o PCB do circuito do módulo de emissão. Em seguida foi desenvolvido o PCB do módulo de receção, apresentado na Figura 5.8 (b). E finalmente, e de forma a completar o circuito foi realizado o desenho do PCB que contém o microcontrolador, sendo que este é o que possui mais componentes e que realiza a ligação entre os dois módulos anteriores, tornando-se assim mais complexo de organizar, como é possível verificar pela Figura 5.8 (c).

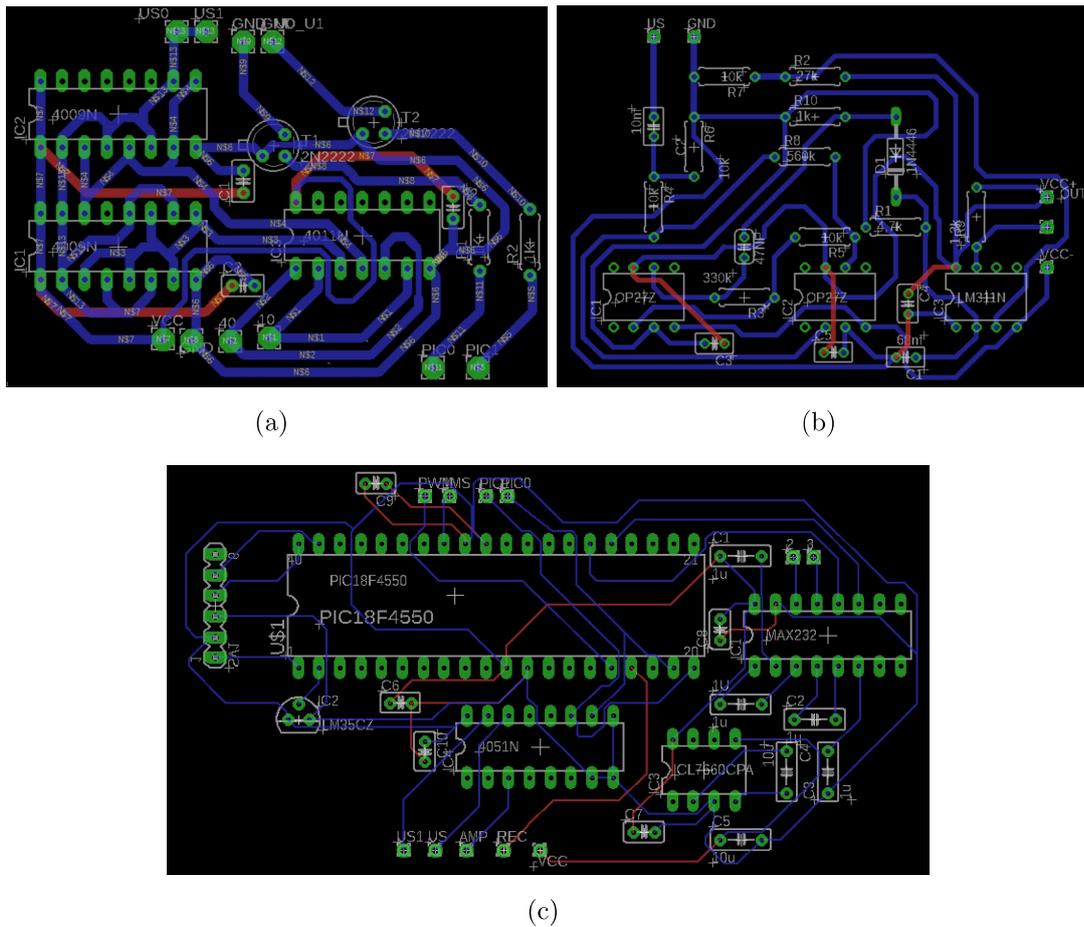


Figura 5.8 – Módulo de emissão (a) Módulo de recepção (b) Módulo do microcontrolador (c)

6

Conclusão e trabalho futuro

Atualmente num cenário de escassez de recursos e elevada competitividade como é o mercado e o setor agrícola, torna-se cada vez mais importante a detecção e prevenção de doenças e pragas na agricultura, uma vez que estas levam a uma quebra na produtividade agrícola.

A forma de combater estes efeitos na agricultura é através da utilização de pesticidas que para além de serem bastantes dispendiosos para os agricultores também têm um impacto negativo no meio ambiente. É neste contexto que a agricultura de precisão ganha relevância, através da introdução de tecnologias que permitem aos agricultores prever algumas quebras na produção, assim como, tomar medidas prévias para combater eventuais contrariedades que possam ocorrer.

No sentido de contribuir para a mitigação de situações propícias ao aparecimento e propagação de pragas e doenças em explorações agrícolas foi desenvolvida uma microestação que permite avaliar parâmetros como a velocidade do vento, através de um anemómetro ultrassónico, e temperatura, através de um sensor de temperatura.

Um dos aspetos que é realçado na implementação dos transdutores ultrassónicos é a necessidade de calibração, visto que a resposta varia entre pares de sensores, nesse sentido verificou-se que em determinadas distâncias, entre emissor e recetor,

a variação de valores obtidos de TOF era maior do que em outras, podendo ser observado graficamente, apresentado anteriormente, assim como através de análise estatística. A partir deste ponto é necessário desenvolver o anemómetro para os valores de distância que possuem melhor resposta temporal. Escolhida a melhor distância foi realizado um teste de velocidade do vento nula, para poder compreender melhor o comportamento do sistema e poder realizar alguns ajustes para aumentar a eficiência do sistema.

Concluí-se dessa forma, que o protótipo encontra-se numa fase de implementação de algumas melhorias, visto que o sistema ainda encontra fragilidades que necessitam de ser corrigidas tanto ao nível da fiabilidade de leituras, como da própria robustez.

Trabalho futuro

Um dos aspetos que leva ao melhor funcionamento e eleva a relação sinal ruído do sistema, passa pela integração de todos os componentes do circuito relacionados com o módulo de emissão do sinal ultrassónico (estágios de amplificação e transdutores emissores), o módulo do microcontrolador e o módulo de receção do sinal ultrassónico numa placa de PCB.

Outro aspeto que podia ser implementado futuramente, por uma questão de eficiência energética é a implementação do *sleep mode* no microcontrolador, este modo de operação permite que os consumos do sistema sejam reduzidos significativamente. Ainda no que diz respeito à alimentação do sistema, futuramente poderia ser implementado um sistema que permitisse controlar a alimentação através de um conjunto de baterias e de um módulo fotovoltaico, admitindo dessa forma a instalação em locais remotos sem acesso à rede de distribuição de energia elétrica.

Relativamente ao método de deteção do TOF foi utilizado o método de *threshold*, que permitiu de uma forma prática detetar quando o sinal ultrassónico é recebido, apesar de este método poder apresentar imprecisões. Como melhoria poderia ser implementado, por exemplo, o método de ajuste da curva (*curve-fitting*), que geralmente garante uma melhor estimativa do TOF que o método de limiar (*threshold*),

não tendo sido inicialmente implementado por uma questão de eficiência energética.

Quanto à resolução um dos aspetos que melhoraria os resultados, das medições do TOF, seria através da implementação de um cristal externo de maior frequência, este permitia melhor precisão dos *timers* do sistema, logo existiria uma melhor precisão nos dados obtidos.

Referências bibliográficas

Decreto-Lei nº 173/2009 de 3 de Agosto. Diário da República nº 148/2009 – Série I
<https://dre.pt/>. Acedido: 2019-10-14. 3

Plano de acção da estrutura local de apoio da intervenção territorial integrada do douro vinhateiro. http://www.drapn.min-agricultura.pt/drapn/ela_dv/fil_eladv/Plano%20de%20Ac%C3%A7%C3%A3ofinalissima%20ELA%20ITI%20DV.pdf. Acedido: 2020-01-14. 3

Ahmad, F. A Cheap Wind Speed and Wind Direction Measurement System. *Communication Systems Engineering*, pages 4–6. 32

Augere, B., Besson, B., Fleury, D., Goular, D., Planchat, C., and Valla, M. (2015). 1.5um Lidar Anemometer for True Air Speed, Angle Of Sideslip and Angle Of Attack measurements onboard Piaggio P180 aircraft. *Measurement Science and Technology*, 27. 34

Azfar, S., Nadeem, A., Alkhodre, A., Ahsan, K., Mehmood, N., Alghmdy, T., and Alsaawy, Y. (2018). Monitoring, Detection and Control Techniques of Agriculture Pests and Diseases using Wireless Sensor Network: A Review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9:424 – 434. 21, 24

- Azfar, S., Nadeem, A., and Shaikh, A. B. (2015). Pest Detection and Control Techniques Using Wireless Sensor Network: A Review. *Journal of entomology and zoology studies*, 3:92–99. 20, 25
- Badenhausser, I., Lecharpentier, P., Delbac, L., and Pracros, P. (2013). Contributions of Monte-Carlo Test Procedures for the Study of the Spatial Distribution of the European Vine Moth, *Lobesia Botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) in European Vineyards. 26, 27
- Barshan, B. (1999). Fast Processing Techniques for Accurate Ultrasonic Range Measurements. *Measurement Science and Technology*, 11(1):45–50. 53
- Barshan, B. and Ayrulu, B. (1998). Performance Comparison of Four Time-of-Flight Estimation Methods for Sonar Signals. *Electronics Letters*, 34(16):1616–1617. 54
- Brisco, B., Brown, R., Hirose, T., McNairn, H., and Staenz, K. (1998). Precision Agriculture and the Role of Remote Sensing: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 24(3):315–327. 19
- Bucci, G., Ciancetta, F., Fiorucci, E., Gallo, D., Landi, C., and Luiso, M. (2013). A Low-Cost Ultrasonic Wind Speed and Direction Measurement System. *2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pages 505–510. 32, 40, 72
- Carlos, C. and Alves, F. (2007). Caderno Técnico no 1 - “A Traça da Uva”. In *Cadernos Técnicos da ADVID*, pages 1–16. ADVID - Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense. 4, 27, 28
- Carlos, C. and Alves, F. (2010). Caderno Técnico no 4 - “A confusão sexual como meio de protecção contra a traça-da-uva na RDD”. In *Cadernos Técnicos da ADVID*, pages 1–16. ADVID - Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense. xvii, 4, 29
- Carlos, C., Alves, F., and Torres, L. (2010). Constraints to the Application of Mating Disruption Against *Lobesia Botrana* in Douro Wine Region. *Publicado*

- no 3^o CERVIM (*Congresso Internacional de Viticultura de Montanha*), pages 12 – 14. 29
- Carlos, C., gonçaves, f., Sousa, S., Salvação, J., Sharma, L., R, S., J, M., M, N., A, L., S, S., Aranha, J., Villemant, C., Marques, G., and Torres, L. (2013). Environmentally Safe Strategies to Control the European Grapevine Moth, *Lobesia botrana* (Den. & Schiff.) in the Douro Demarcated Region. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, pages 1006–1011. 4, 29
- Carlos, C., Teixeira, B., Alves, F., and Torres, L. (2008). Análise da Curva de Voo da Traça-da-Uva, *Lobesia botrana* (Den. & Schiff.), na Região Demarcada do Douro, em Função das Somas de Temperaturas. *Actas do I Congresso Nacional de Produção Integrada, VIII Encontro Nacional de Protecção Integrada*, pages 20–21. 4, 26, 41
- del Valle, M. P., Castelan, J. A. U., Matsumoto, Y., and Mateos, R. C. (2007). Low cost ultrasonic anemometer. In *2007 4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, pages 213–216. 43
- Diogo, R. S. (2016). Projeto Ótimo em Transformadores/Recoletores de Energia Ambiente para Aplicações de Pequenas Dimensões . Master’s thesis, Instituto Superior Técnico. 47
- Doeswijk, T. and Keesman, K. (2005). Adaptive Weather Forecasting using Local Meteorological Information. *Biosystems Engineering*, 91:421–431. 41
- Dworak, V., Selbeck, J., and EHLERT, D. (2011). Ranging Sensors for Vehicle-Based Measurement of Crop Stand and Orchard Parameters: A Review. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)*, 54:1497–1510. xvii, 15, 16, 17
- eNotes Editorial (2016). What is sound? how is sound propagated? <https://www.enotes.com/homework-help/what-sound-how-sound-propagated-612037>. Acedido: 2019-11-05. 45

- Gallego-Juárez, J. and Graff, K. (2015). 1 - Introduction to Power Ultrasonics. In Gallego-Juárez, J. A. and Graff, K. F., editors, *Power Ultrasonics*, pages 1 – 6. Woodhead Publishing, Oxford. 42
- Ghaemi-Nasab, M. (2018). *Single-axis Ultrasonic Anemometer in Rotational Motion*. PhD thesis. 42, 43, 45, 46, 47, 48
- Gilligan, T., Epstein, M., Passoa, S., Powell, J., Sage, O., and Brown, J. (2011). Discovery of *Lobesia botrana* ([Denis & Schiffermuller]) in California: An Invasive Species New to North America (Lepidoptera: Tortricidae). *Proceedings- Entomological Society of Washington*, 113:14–30. xvii, 26, 27, 28
- Gomide, R., Inamasu, R., Queiroz, D., Mantovani, E., and Santos, W. (2001). An Automatic Data Acquisition and Control Mobile Laboratory Network for Crop Production Systems Data Management and Spatial Variability Studies in the Brazilian Center-West Region. 8
- Hillnhütter, C., Mahlein, A.-K., Sikora, R. A., and Oerke, E.-C. (2012). Use of Imaging Spectroscopy to Discriminate Symptoms Caused by *Heterodera schachtii* and *Rhizoctonia solani* on sugar beet. *Precision Agriculture*, 13(1):17–32. 23
- IVDP. Douro: Vinhas históricas, património da humanidade. <https://www.ivdp.pt/>. Acedido: 2020-01-03. 3
- Jia, R., Xiong, Q., Wang, L., Wang, K., Shen, X., Liang, S., and Shi, X. (2016). Study of Ultrasonic Thermometry Based on Ultrasonic Time-of-Flight Measurement. *AIP Advances*, 6(3):035006. xviii, 64
- Johnson, G. L. (2001). Wind Energy Systems. pages 100–137. 38, 39
- Jorge, S., Carlos, C., Torres, L., and Alves, F. (2007). Confusão Sexual Contra a Traça da Uva, *Lobesia botrana* (Den.& Schiff.) na Região Demarcada do Douro. *VII simpósio de Vitivinicultura do Alentejo*, pages 115–123. 29, 30
- King, L. V. (1914). On the Convection of Heat from Small Cylinders in a Stream of Fluid: Determination of the Convection Constants of Small Platinum Wires,

- with Applications to Hot-Wire Anemometry. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 90(622):563–570. [35](#), [37](#)
- Koch, B., Khosla, R., Frasier, W., Westfall, D., and Inman, D. (2004). Economic Feasibility of Variable-Rate Nitrogen Application Utilizing Site-Specific Management Zones. *Agronomy Journal - AGRON J*, 96. [10](#)
- Lang, S. and Mckeogh, E. (2011). LIDAR and SODAR Measurements of Wind Speed and Direction in Upland Terrain for Wind Energy Purposes. *Remote Sensing*, 3:1871–1901. [33](#)
- Liaghat, S. and Balasundram, S. (2010). A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 5. [20](#)
- Ligeza, P. (2005). On Unique Parameters and Unified Formal Form of Hot-Wire Anemometric Sensor Model. *Review of Scientific Instruments*, 76:126105–126105. [37](#)
- Liu, C., Du, L., and Zhao, Z. (2016). A Directional Cylindrical Anemometer with Four Sets of Differential Pressure Sensors. *Review of Scientific Instruments*, 87. [39](#), [40](#)
- Lopes, A., Martins, P., and Lanceros-Mendez, S. (2014). Polímeros Piezoelétricos: Caraterísticas, Aplicações, Perspetivas. *Gazeta de Física*, 37:6. [47](#)
- Lourenço-Gomes, L., Pinto, L. M., and Rebelo, J. (2015). Wine and Cultural Heritage. The Experience of the Alto Douro Wine Region. *Wine Economics and Policy*, 4(2):78 – 87. [4](#), [26](#)
- López Granado, O., Martínez-Rach, M., Migallón, H., Malumbres, M., Bonastre Pina, A., and Serrano Martín, J. (2012). Monitoring Pest Insect Traps by Means of Low-Power Image Sensor Technologies. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 12:15801–19. [24](#)

- Mafuta, M., Zennaro, M., Bagula, A., Ault, G., Gombachika, H., and Chadza, T. (2013). Successful Deployment of a Wireless Sensor Network for Precision Agriculture in Malawi. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 9(5):150703. [xvii](#), [11](#), [12](#)
- Mahlein, A.-K. (2015). Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping. *Plant Disease*, 100. [21](#), [25](#)
- Mahlein, A.-K., Oerke, E.-C., Steiner, U., and Dehne, H.-W. (2012). Recent Advances in Sensing Plant Diseases for Precision Crop Protection. *European Journal of Plant Pathology*, 133(1):197–209. [20](#), [21](#)
- Mampentzidou, I., Karapistoli, E., and Economides, A. A. (2012). Basic Guidelines for Deploying Wireless Sensor Networks in Agriculture. In *2012 IV International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, pages 864–869. [25](#)
- Martínez-Rach, M., Migallón, H., López Granado, O., Malumbres, M., and Martí-Campoy, A. (2013). On the Design of a Bioacoustic Sensor for the Early Detection of the Red Palm Weevil. *Sensors*, 12:1706–1729. [xvii](#), [21](#), [22](#)
- Mestre, P., Calcada, A., Carvalho, N., Serodio, C., Couto, P., Matias, J., Melo-Pinto, P., and Morais, J. (2013). Low-cost Ultrasonic Probe to Assess Wood Defects and Parameters. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 2:993–998. [46](#)
- Mestre, P., Serôdio, C., Azevedo, A., Correia, H., Bentes, I., and Couto, C. (2011). Filling Rate Assessment of Recycling Containers Using Ultrasonic Transducers. *Measurement*, 44(6):1084 – 1095. [53](#)
- Mestre, P., Serôdio, C., Salvacao, J., Cristina, C., and Torres, L. (2019). Acquisition System based in Electroantennography to assess the Response of Grape Berry Moth to Volatile Molecules. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science: Proceedings of The World Congress on Engineering 2019*, pages 536 – 540. [4](#), [26](#), [27](#), [28](#)

- Milonas, P., Savopoulou-Soultani, M., and Stavridis, D. (2001). Day-degree Models for Predicting the Generation Time and Flight Activity of Local Populations of *Lobesia Botrana* (Den. & Schiff.) (Lep., Tortricidae) in Greece. *Journal of Applied Entomology - J APPL ENTOMOL*, 125:515–518. [4](#)
- Morris, A. S. and Langari, R. (2012). Chapter 16 - Flow Measurement. In Morris, A. S. and Langari, R., editors, *Measurement and Instrumentation*, pages 425 – 459. Butterworth-Heinemann, Boston. [36](#)
- Mosland, E. (2013). Reciprocity Calibration Method for Ultrasonic Piezoelectric Transducers in Air. Master’s thesis, University of Bergen. [59](#)
- muRata (2001). Piezoelectric Ceramic Sensors. [47](#), [48](#)
- Oertel, S., Eggert, M., Gutmuths, C., Wilhelm, P., Müller, H., and Többen, H. (2019). Validation of Three-Component Wind Lidar Sensor for Traceable Highly Resolved Wind Vector Measurements, journal = Journal of Sensors and Sensor Systems. 8(1):9–17. [xvii](#), [34](#), [35](#)
- Parvez, S., Saha, J., Hossain, M., Hussain, H., Ghuri, M., Chowdhury, T., Rahman, M., Shuchi, N., Islam, A., Hasan, M., and Paul, B. (2016). A Novel Design and Implementation of Electronic Weather Station and Weather Data Transmission System Using GSM Network. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 15:21. [26](#), [31](#), [32](#)
- Paulsen, U., Mortensen, N., and Hansen, J. (2007). Field Calibration of Cup Anemometers. [31](#)
- Pawłowski, E. (2018). Single Sensor Hot-Wire Anemometer Based on Thermal Time Constant Estimation. In *2018 XV International Scientific Conference on Optoelectronic and Electronic Sensors (COE)*, pages 1–4. [36](#), [37](#)
- Piñeres-Espitia, G., Cama-Pinto, A., Estevez, F., Cama-Pinto, D., and Daniel, D. (2017). Design of a Low Cost Weather Station for Detecting Environmental Changes. *Espacios*, 38:13. [41](#)

- Pindado, S., Pérez-Álvarez, J., and Avila-Sanchez, S. (2012a). On Cup Anemometer Rotor Aerodynamics. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 12:6198–217. [31](#), [32](#)
- Pindado, S., Sanz-Lobera, A., and Wery, A. (2012b). Deviation of Cup and Propeller Anemometer Calibration Results with Air Density. *Energies*, 5. [32](#), [44](#)
- Popa, M. and Iapa, C. (2011). Embedded Weather Station with Remote Wireless Control. In *2011 19th Telecommunications Forum (TELFOR) Proceedings of Papers*, pages 297–300. [30](#)
- Pérez-Expósito, J., Fernández-Caramés, T., Fraga-Lamas, P., and Castedo, L. (2017). VineSens: An Eco-Smart Decision-Support Viticulture System. *Sensors*, 17:465. [25](#)
- Robert, P. C. (2002). *Precision Agriculture: a Challenge for Crop Nutrition Management*, pages 143–149. Springer Netherlands, Dordrecht. [14](#)
- Safari, A. and Akdogan, E. (2008). Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications. *Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications*. [47](#), [48](#)
- Santos, M. J. S. F. d. (2004). *Ondas Ultra-Sonoras Guiadas na Caracterização e Controlo Não Destrutivo de Materiais*. PhD thesis, Universidade de Coimbra Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra. [42](#), [45](#)
- Sciarretta, A., Zinni, A., Mazzocchetti, A., and Trematerra, P. (2008). Spatial Analysis of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) Male Population in a Mediterranean Agricultural Landscape in Central Italy. *Environmental Entomology*, 37(2):382–390. [4](#), [27](#)
- Shah, N., Desai, U., Das, I., Merchant, S., and Yadav, S. (2009). IN-Field Wireless Sensor Network (WSN) for Estimating Evapotranspiration and Leaf Wetness. *International Journal of Agricultural Research*, 18:43–. [20](#), [25](#)
- Stafford, J. V. (2000). Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(3):267 – 275. [7](#), [11](#), [26](#)

- Strickland, R., Ess, D., and Parsons, S. (1999). Precision Farming and Precision Pest Management: The Power of New Crop Production Technologies. *Journal of nematology*, 30:431–5. [19](#)
- Tan, W. C., Prakash, C., Lim, E., Eng Aik, L., and Hin, T. (2012). Development of Low Wind Speed Anemometer. *International Journal on Advance Science, Engineering and Information Technology*, 0. [31](#)
- Tiwari, P., Golhani, K., Chandel, N., and H., T. (2014). Role of Precision Agriculture Tools for Agribusiness Management. [7](#)
- Torres, L. (2013). Ecovitis : Maximização Dos Serviços Do Ecosistema Vinha Na Região Demarcada Do Douro. *APH - Associação Portuguesa de Horticultura*, pages 29–32. [3](#)
- Vogt, S. and Thomas, P. (1995). SODAR — A Useful Remote Sounder to Measure Wind and Turbulence. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 54-55:163 – 172. Third Asian-Pacific Symposium on Wind Engineering. [33](#)
- Wächter, M., Rettenmeier, A., Kühn, M., and Peinke, J. (2008). Wind velocity Measurements Using a Pulsed LIDAR System: First Results. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1:012066. [33](#)
- Wilson, P. and Mantooth, H. A. (2013). Chapter 6 - Block Diagram Modeling and System Analysis. In Wilson, P. and Mantooth, H. A., editors, *Model-Based Engineering for Complex Electronic Systems*, pages 169 – 196. Newnes, Oxford. [67](#)
- Yue, J., Lei, T., Li, C., and Zhu, J. (2012). The Application of Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing in Quickly Monitoring Crop Pests. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 18. [20](#), [22](#)
- Zhang, N., Wang, M., and Wang, N. (2002). Precision Agriculture—a Worldwide Overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2):113 – 132. [7](#), [8](#), [9](#), [11](#), [19](#), [20](#)

Zhou, Y. and Wang, Y. H. (2011). To Measure Wind Speed Using the Theory of One-Dimensional Ultrasonic Anemometer. [44](#)