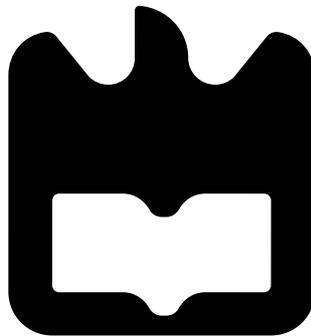




**Rui Filipe  
Rodrigues Morais**

## **Controlo de Postura Animal**







**Rui Filipe  
Rodrigues Morais**

## **Controlo de Postura Animal**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Paulo Bacelar Reis Pedreiras, Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro e do Professor Doutor Pedro Alexandre de Sousa Gonçalves Professor Adjunto da Universidade de Aveiro.



**o júri / the jury**

presidente / president

**Professor Doutor Pedro Nicolau Faria da Fonseca**

Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro (por delegação do Reitor da Universidade de Aveiro)

vogais / examiners committee

**Professor Doutor Paulo Bacelar Reis Pedreiras**

Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro (orientador)

**Doutor Paulo Jorge de Campos Bartolomeu**

Diretor, Globatronic - Electrónica e Telecomunicações, Lda (Arguente Principal)



## **Agradecimentos**

Quero agradecer a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram durante o percurso acadêmico. Gostaria, contudo, de fazer alguns agradecimentos de forma especial: Ao Professor Paulo Pedreiras e ao Professor Pedro Gonçalves por terem acompanhado o meu trabalho de forma atenta, apoiando-me sempre que necessário; À minha família e em especial aos meus pais e irmã por todo o apoio ao longo do percurso acadêmico, sem eles não teria sido possível; A todos os meus amigos que com a sua ajuda, motivação, espírito de camaradagem e com momentos de descompressão tornaram este percurso mais fácil, agradável e enriquecedor.



## Resumo

A remoção de espécies vegetais indesejadas nas culturas é um processo oneroso, que precisa ser repetido durante um ano de cultivo. Tipicamente é feito através da utilização de métodos mecânicos e de herbicidas, que tornam o processo dispendioso e agressivo para a própria cultura e para o meio ambiente. Este projeto pretende utilizar animais como método alternativo de remoção de plantas infestantes nas culturas, tornando o processo menos agressivo e menos dispendioso aliando ainda o ganho em área de pasto para as explorações pecuárias. No entanto surge o problema de os animais não se limitarem a ingerir as espécies vegetais indesejadas e alimentarem-se também das próprias espécies cultivadas. O objetivo, é por isso, criar um mecanismo capaz de monitorizar e controlar a postura do animal para impedir que este se alimente das espécies cultivadas. Para esse efeito foi desenvolvido um protótipo de uma coleira, que integra um microcontrolador como unidade central de processamento, um módulo de rádio para transmissão de dados, ultrassons e acelerómetro para monitorização da postura do animal e os atuadores do sistema, no caso um *buzzer* e um módulo para aplicar choques elétricos.



## **Abstract**

The removal of unwanted plant species in crops is an onerous process that needs to be repeated several times during the year. Typically, this process is done using mechanical methods and herbicides which makes it expensive and aggressive not only for the environment, but also for the cultivated plants. This project intends to use animals as an alternative method of removing weeds in crops, making the process less aggressive and less expensive. This method also leads to gains in pasture area for livestock farms. However, animals do not limit themselves to ingest undesired plant species and they also feed on the cultivated species. Therefore, the goal is to create a mechanism capable of monitoring and controlling the posture of the animal to prevent it from feeding on the cultivated species. For this purpose, was developed a prototype that includes: a microprocessor as a central processing unit; a radio module for data transmission; an ultrasound and an accelerometer for monitoring animal posture and system actuators; and a Buzzer and a module for applying electric shocks.



# Índice

Índice	i
Índice de Figuras	iii
Acrónimos	v
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	2
1.3 Estrutura do documento . . . . .	3
<b>2 Técnicas de controlo animal</b>	<b>5</b>
2.1 Técnicas de monitorização do comportamento animal . . . . .	5
2.1.1 Monitorização da localização . . . . .	5
2.1.2 Monitorização da pastagem . . . . .	7
2.1.3 Monitorização do bem-estar . . . . .	8
2.1.4 Monitorização do ciclo reprodutivo . . . . .	9
2.2 Técnicas de condicionamento do comportamento animal . . . . .	10
2.2.1 Controlo alimentar animal . . . . .	11
2.2.2 Controlo de localização animal . . . . .	13
2.2.3 Bem-estar animal . . . . .	17
<b>3 Tecnologias Utilizadas</b>	<b>19</b>
3.1 Ultrassons . . . . .	19
3.2 Acelerometro . . . . .	21
3.3 Protocolos de Comunicação . . . . .	22
3.3.1 SPI . . . . .	22
3.3.2 I2C . . . . .	24
<b>4 Arquitetura do Sistema</b>	<b>27</b>
4.1 Funcionalidades e requisitos . . . . .	27
4.2 Arquitetura geral . . . . .	28
4.3 Coleiras . . . . .	28
4.3.1 Medição distância . . . . .	30

4.3.2	Medição ângulo . . . . .	30
4.3.3	Localização . . . . .	31
4.4	Faróis . . . . .	31
4.5	Gateway . . . . .	32
<b>5</b>	<b>Implementação</b>	<b>33</b>
5.1	Hardware . . . . .	33
5.1.1	Alimentação . . . . .	33
5.1.2	Microcontrolador . . . . .	35
5.1.3	Ultrassons . . . . .	36
5.1.4	Acelerómetro . . . . .	42
5.1.5	Estímulos Sonoros . . . . .	43
5.1.6	Estímulos Elétricos . . . . .	44
5.1.7	PCB . . . . .	44
5.2	Firmware . . . . .	46
5.2.1	Ultrassons . . . . .	46
5.2.2	Acelerómetro . . . . .	49
5.2.3	Estímulos . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Resultados e Análise</b>	<b>53</b>
6.1	Postura das ovelhas . . . . .	53
6.2	Ultrassons . . . . .	55
6.3	Acelerometro . . . . .	58
<b>7</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>61</b>
7.1	Conclusões do trabalho . . . . .	61
7.2	Trabalho Futuro . . . . .	62
	<b>Bibliografia</b>	<b>63</b>

# Índice de Figuras

2.1	Uso do produto ESTROTECT™ [1]	10
2.2	FIL Tailpaint [2]	11
2.3	CowScout [3]	11
2.4	Fotografia de um cofinho [4]	12
2.5	Exemplo de cerca perigosa para os animais [5]	14
2.6	Cerca virtual [6]	16
3.1	Medição de através do método de onda contínua [7]	19
3.2	Medição de através do método de onda pulsada	20
3.3	Sistema massa-mola [8]	22
3.4	Esquema de ligação master-slave	23
3.5	Diagrama temporal de uma comunicação SPI	23
3.6	Diagrama temporal de uma comunicação I2C	24
4.1	Arquitetura geral do sistema	29
4.2	Estrutura modular da Coleira	30
4.3	Diagrama de blocos dos Faróis	31
4.4	Diagrama de blocos da <i>Gateway</i>	32
5.1	Circuito de alimentação	34
5.2	Diagrama de blocos do módulo CC1110 da <i>Texas Instruments</i> [9]	35
5.3	Circuito de <i>drive</i> e acondicionamento do módulo de ultrassons	36
5.4	Transdutor Ultrassons [10]	37
5.5	Circuito de emissão de ultrassons	37
5.6	Circuito de amplificação e filtragem	39
5.7	Circuito detetor de pico	41
5.8	Circuito comparador	41
5.9	Acelerómetro ADXL e placa de desenvolvimento [11]	42
5.10	Transdutor sonoro [12]	43
5.11	Interface ao transdutor sonoro	43
5.12	Circuito choques	44
5.13	Desenho PCB	45
5.14	Fluxograma medição da distância	48

5.15	Diagrama temporal de uma leitura de distância . . . . .	49
5.16	Ângulos de rotação . . . . .	49
5.17	Fluxograma da aplicação de estímulos sonoros . . . . .	50
5.18	Fluxograma da aplicação de estímulos elétricos . . . . .	51
6.1	Ovelha a caminhar . . . . .	54
6.2	Ovelha parada . . . . .	54
6.3	Ovelha a alimentar-se de vegetação rasteira . . . . .	55
6.4	Ovelha a alimentar-se de ramos altos . . . . .	55
6.5	Gráfico da distância medida em função da distância real . . . . .	56
6.6	Testes ao sensor de distância . . . . .	56
6.7	Ângulo máximo de medida em função da distância . . . . .	58
6.8	Ângulo medido em função do ângulo real . . . . .	59
6.9	Testes ao sensor de inclinação . . . . .	59

# Acrónimos

<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>TICE</b>	Tecnologias de Informação Comunicação e Eletrónica
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i>
<b>RFID</b>	<i>Radio-Frequency Identification</i>
<b>NIR</b>	<i>Near-Infrared</i>
<b>RGB</b>	<i>Red Green Blue</i>
<b>AHMS</b>	<i>Autonomous Health Monitoring System</i>
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications</i>
<b>SMS</b>	<i>Short Message Service</i>
<b>HTML</b>	<i>HyperText Markup Language</i>
<b>MEMS</b>	<i>Micro Electro Mechanical Systems</i>
<b>SPI</b>	<i>Serial Peripheral Interface</i>
<b>I2C</b>	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
<b>PCB</b>	<i>Printed Circuit Board</i>
<b>PWM</b>	<i>Pulse-Width Modulation</i>



# Capítulo 1

## Introdução

Esta dissertação surge enquadrada no projeto SheepIT [13] que pretende desenvolver uma solução inovadora para a remoção de espécies vegetais infestantes na agricultura, desenvolvendo um sistema baseado em tecnologias IoT (Internet of Things). Embora se pretenda um sistema modular, adaptável e funcional nos mais variados tipos de culturas, atualmente o projeto está direcionado para o sector vinícola.

### 1.1 Motivação

O crescimento de espécies invasoras no meio das culturas constitui uma ameaça ao crescimento e produtividade das plantações, pois competem com a espécie cultivada por nutrientes e por exposição solar. Como tal, é essencial a remoção destas espécies o que obriga a trabalhos de sacha e mondas. O seu crescimento é tanto maior quanto mais húmido e quente for o ano e no caso particular das vinhas obriga a que a monda seja efetuada várias vezes ao ano, utilizando normalmente fresas entre as linhas das plantações, e herbicidas químicos entre os pés da plantação ao longo da linha.

A utilização de animais para efetuar a monda é um processo antigo, que normalmente era efetuado até à altura do ano em que as videiras rebentavam e em que os animais ameaçavam os mesmos rebentos.

Uma forma de conseguir manter os animais dentro das plantações, sem que estes ameacem os ramos e os frutos da vinha, é controlar a postura animal de forma a que os animais se possam alimentar das plantas rasteiras sem que consigam atingir os ramos das plantas. O presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um dispositivo portátil acoplável ao pescoço dos animais que monitoriza a postura dos mesmos e que emite um conjunto de estímulos para que estes revertam a sua postura e assim deixem de constituir uma ameaça às videiras e aos frutos, podendo assim substituir, ao longo de todo o ano, os processos mecânicos e químicos utilizados atualmente.

A substituição do uso de métodos químicos e mecânicos pelo uso de animais na remoção de espécies indesejadas nas culturas e mais concretamente nas vinhas apresenta as seguintes vantagens:

- Criação de um produto inovador com potencial de exportação para países produtores de vinho como por exemplo Itália, França, Espanha.
- Dinamização da atividade pecuária, acrescentando fontes de rendimento, como por exemplo prestação de serviços a produtores vinícolas. Aumenta ainda as áreas de pasto disponíveis e permite o pastoreio automático, tendo por isso o potencial para aumentar o rendimento das explorações pecuárias.
- Redução do uso de herbicidas, algo que traz vantagens económicas mas principalmente vantagens a nível da saúde pública, a nível ambiental e a nível da qualidade biológica dos produtos. O uso de herbicidas para a eliminação das ervas infestantes acaba por contaminar as uvas que são posteriormente consumidas pela população. Acresce ainda o facto de os herbicidas aplicados nas vinhas serem arrastados pelas águas da chuva e da própria rega contaminando as linhas de água.
- Redução do consumo de combustíveis fósseis e como tal redução das emissões de carbono. Os processos de munda mecânicos dependem da utilização de alfaías (e.g. tratores, fresas e ceifeiras) que consomem combustíveis fósseis.
- Ganhos de imagem dos produtos vinícolas.

## 1.2 Objetivos

O principal objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema, baseado num dispositivo portátil, que implemente um mecanismo de monitorização e controlo de postura animal que permita a utilização de animais ovinos no processo de munda das vinhas sem que haja o risco de as danificar. O dispositivo móvel deve ser autónomo em termos energéticos e tirar partido do processo cognitivo animal para evitar que os animais adotem posturas indesejadas. Tendo como base o objetivo principal, podem definir-se nesta dissertação os seguintes objetivos:

- Estudar soluções já existentes para monitorização e condicionamento animal;
- Projetar uma solução baseada em sensores capaz de avaliar a postura tomada pelos animais;
- Selecionar um conjunto de atuadores capazes de estimular os animais, de tal modo, que estes sejam capazes de reverter comportamento considerados impróprios e posteriormente aprender a não adotar posturas indesejadas;
- Desenvolver um protótipo funcional que integre a solução projetada a nível de sensores e atuadores, e que permita realizar testes no terreno, neste caso as vinhas;
- Testar e validar o funcionamento do protótipo desenvolvido.

## 1.3 Estrutura do documento

A dissertação está dividida em 7 capítulos:

- **Capítulo 2:** é feita uma análise ao estado da arte de técnicas de monitorização e condicionamento animal;
- **Capítulo 3:** neste capítulo é feita uma breve descrição do funcionamento das tecnologias usadas;
- **Capítulo 4:** é apresentada a arquitetura do sistema a ser desenvolvido, as suas características e funcionalidades;
- **Capítulo 5:** é neste capítulo que se descreve todo o processo de implementação desenvolvido por forma a atingir o especificado na arquitetura do sistema.
- **Capítulo 6:** capítulo dedicado aos resultados práticos obtidos nos testes feitos ao sistema e a sua respetiva análise;
- **Capítulo 7:** sétimo e último capítulo da dissertação reservado para expor as conclusões alcançadas e sugerir o trabalho futuro com vista no melhoramento do sistema.



# Capítulo 2

## Técnicas de controlo animal

### 2.1 Técnicas de monitorização do comportamento animal

Por forma a aumentar o conhecimento sobre o mundo animal é essencial a observação e monitorização da vida animal. Como tal, desde o início da relação entre o Homem e o animal que este último é alvo de observação e mais tarde com a domesticação, alvo de monitorização. Inicialmente isto era feito utilizando apenas a observação direta dos animais. Com a evolução da biologia animal e principalmente com o surgimento da Zootécnia surgiu a necessidade de criar novos métodos de observação e monitorização.

A evolução na área das TICE (Tecnologias de Informação Comunicação e Eletrónica) tem contribuído grandemente para o aumento do número de soluções técnicas para este setor de atividade, assim como promovido o seu aperfeiçoamento e expansão.

De entre todas as soluções encontradas e exploradas que se enquadram no tema desta dissertação, o maior desafio que se tem colocado é a forma de armazenar, analisar e modelar [14] a quantidade de dados gerados. O tipo e quantidade de dados a serem gerados estão sempre ligados ao tipo de monitorização que se pretende. Na literatura são encontrados principalmente quatro áreas de monitorização:

- Monitorização da localização;
- Monitorização da pastagem;
- Monitorização do bem-estar do animal;
- Monitorização do ciclo reprodutivo.

#### 2.1.1 Monitorização da localização

A monitorização da localização tem especial interesse no estudo de animais selvagens, mas tem também um papel importante na monitorização de animais domésticos e principalmente em animais com interesse zootécnico como os bovinos, ovinos e caprinos. A

necessidade de novos métodos de monitorização de animais selvagens deve-se sobretudo à dificuldade da observação presencial destes animais no seu habitat natural. No caso dos animais de interesse Zootécnico há uma necessidade crescente de melhorar o conhecimento da localização, o aumento da eficiência de produção e um melhor controlo da qualidade dos animais [15].

Nesta secção vão ser exploradas algumas soluções de monitorização de localização já existentes. Na maioria das soluções encontradas o GPS (*Global Positioning System*) é a tecnologia utilizada. São disso exemplos os seguintes: o uso de um colar GPS num veado de cauda branca [16]; o uso do GPS juntamente com um acelerómetro tri-axial no estudo do comportamento de abutres [17]; uma plataforma (OzTrack) desenvolvida na Austrália que permite a diferentes investigadores o carregamento dos dados recolhidos por GPS e sensores, sendo armazenados, analisados e apresentados resultados pela mesma plataforma [14]; a plataforma e-Pasto [18], composta por um equipamento de geolocalização (constituído por um GPS e um acelerómetro) e uma interface web onde se pode visualizar as diferentes localizações e definir cercas virtuais. Apesar da larga integração do GPS nas soluções de monitorização de localização, esta tecnologia apresenta duas grandes desvantagens: o alto consumo energético e perdas de sinal na presença de obstáculos entre os dispositivos recetores e os satélites [19]. Para contornar este problema têm sido estudadas algumas soluções, como por exemplo, o aumento da capacidade das baterias, a utilização de sistemas de energia renovável e a redução do *duty-cycle* do GPS. Mas mesmo estas soluções enfrentam problemas: o aumento da capacidade das baterias vem com um aumento do tamanho e peso tornando inviável o seu uso em dispositivos para animais de pequeno porte, e a dificuldade em encontrar um ponto de equilíbrio entre o *duty-cycle* do GPS e a eficiência do sistema de localização.

Existem também, como alternativa, soluções baseadas em sistemas de radio. Normalmente estas soluções utilizam algoritmos que estimam a localização de um nó através de uma estimativa da distância entre esse nó e nós cuja a localização é conhecida e bem definida. Para o efeito (estimativa de localização utilizando nós com posição conhecida) são conhecidos três métodos [20]:

- Ângulo de chegada das mensagens recebidas;
- Diferença do tempo de chegada;
- Potência do sinal recebido.

Como exemplo de utilização da potência de sinal recebido na monitorização da localização de animais, temos o trabalho desenvolvido por (Esmail Shahrak Nadimi et al.) [21] e (Huiracán et al.) [20], onde a tecnologia para comunicação entre os nós e a estação base é o ZigBee e o indicador de qualidade de ligação é o parâmetro utilizado para num dos casos estimar o tempo que os bovinos pastam em determinada área [21] e no outro para estimar a distância entre os nós e as várias estações bases [20].

Outra forma de monitorização é feita utilizando detetores de proximidade, como por exemplo RFID. Nos trabalhos desenvolvidos em (Swain et al.) [22] e (Prayaga et al.)

[23] temos exemplos de utilização de detetores de proximidade RFID (Radio-Frequency Identification) para o estudo da vida animal, nomeadamente para perceber de que forma escolhem os seus parceiros, como se relacionam com animais de outra espécie, ou como as crias evoluem consoante a qualidade da amamentação que recebem. Esta alternativa apresenta porém a desvantagem de só apresentar resultados conclusivos para pequenas distâncias (1-2 metros), envolvendo muita complexidade das infraestruturas, no caso de se pretender monitorização em áreas grandes, o que torna esta solução pouco viável para localização de animais com precisão.

### 2.1.2 Monitorização da pastagem

A pastagem está diretamente relacionada com a qualidade e eficiência da produção animal. Torna-se portanto essencial monitorizar a pastagem dos animais. No caso particular da alimentação dos animais ser feita através do livre pastoreio é de grande importância controlar e gerir as áreas de pastagem. Os métodos tradicionais, como por exemplo a monitorização presencial, tornam-se de difíceis de utilizar e/ou muito dispendiosos quando aplicados a grandes explorações. A integração da monitorização da localização dos animais no contexto do pastoreio é importante na medida em que permite estudar e perceber o comportamento animal durante a pastagem nomeadamente a escolha dos pastos e locais de pastagem. Isto permite aos produtores um melhor dimensionamento das áreas de pastagem mais precisamente na escolha dos locais mais adequados para a pastagem, para a colocação da água e/ou outros suplementos [24].

As soluções já existentes para a monitorização da pastagem são essencialmente baseadas em três métodos: com recurso a sensores multi-espectrais e câmaras; com recurso a imagens satélite e por fim através da monitorização da atividade dos animais em cada instante.

Um exemplo de uma solução de monitorização com recurso a sensores multi-espectrais e câmaras digitais é o trabalho desenvolvido por (Gobbett et al.) [25] que pretende monitorar o modo e o ritmo a que o pasto cresce. São utilizados sensores multi-espectrais que utilizam a região próxima dos infravermelhos, NIR (Near-Infrared) o que permite detetar elementos fotossinteticamente ativos. São também utilizadas câmaras digitais RGB modificadas de modo a tornarem-se sensíveis aos infravermelhos. A transmissão da informação recolhida pelos sensores e câmaras é transmitida via radio para um gateway capaz de comunicar via 3G com a estação base. Os transmissores são alimentados através de pequenos painéis fotovoltaicos e as câmaras digitais alimentadas por baterias instaladas nos protótipos. Esta abordagem apresentou inúmeros problemas, entre eles a dificuldade na calibração de sensores, a transmissão das imagens capturadas, o consumo de energia e a manutenção/proteção da estrutura de suporte do protótipo.

Com recurso a imagens recolhidas por satélite há, o trabalho apresentado em (Handcock et al.)[26]. Foram utilizadas imagens que continham quatro bandas espectrais (verde, vermelho, NIR e radiação infravermelha curta) para calcular o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada, o que permite identificar a presença de vegetação. Os dados recolhidos foram depois cruzados com a localização dos animais determinada via GPS para perceber o comportamento dos animais durante a pastagem. A principal desvantagem desta

solução é a dificuldade em obter imagens de satélite regularmente, de modo a permitir um estudo exaustivo da evolução da pastagem e tirar conclusões em relação ao comportamento animal.

A monitorização da atividade dos animais em cada instante no contexto da monitorização da pastagem pretende normalmente identificar os momentos em que os animais se estão a alimentar. Cruzando essa informação com a localização dos animais em cada instante permite, ainda que de forma relativa, identificar e caracterizar as áreas de pastoreio. Para este efeito são normalmente utilizados dados recolhidos por GPS e por acelerómetros. Os dados são posteriormente tratados através de algoritmos de aprendizagem automática de forma a criar modelos capazes de identificar a atividade do animal. Como exemplo deste tipo de abordagem há o estudo em abutres [17], em caprinos [27] e em bovinos [28]. Em (Augustine and Derner) [28] é estudada a eficácia de modelos de aprendizagem. É estudada a eficácia num modelo em que há apenas dois estados (animal a alimentar-se ou não) e num modelo com mais estados (animal a alimentar-se, a descansar, só a andar ou um misto). O erro no caso dos dois estados estava compreendido entre 8% e 12% e no caso de mais estados entre 12% e 16%.

### 2.1.3 Monitorização do bem-estar

Um fator que também é de extrema importância e que está diretamente ligado à eficiência e qualidade de produção na pecuária é o bem estar dos animais. A tal, acresce o facto de haver um controlo cada vez mais apertado por parte das entidades reguladoras e uma maior atenção da generalidade das pessoas às condições de criação e exploração de gado. Como tal o conhecimento do passado dos animais, nomeadamente tudo o que é relativo à sua saúde, desempenha um papel cada vez mais relevante para a confiança dos diferentes mercados e para a saúde pública.

Atualmente na união europeia, o controlo e identificação animal é feito através de um identificador único composto por 21 dígitos que o identifica em todos os eventos associados à sua vida (ex. nascimento, movimentação, doenças, morte). Esse identificador é ainda colocado nos animais através de etiquetas ou transdutores de rádio frequência (colocados normalmente em brincos, colares ou em cápsulas gastrointestinais). A este identificador está associado o passaporte do animal onde são registadas todas as informações acerca dos animais.

Como exemplo de monitorização do bem estar animal tem-se o trabalho desenvolvido em (Nagl et al.) [29] no ano 2003, onde é apresentado um protótipo constituído por um microcontrolador e um conjunto de sensores (um oxímetro de pulso, um medidor de respiração, um sensor de temperatura corporal, um sensor de temperatura exterior e um eléctrodo para medição dos batimentos cardíacos) para monitorização de bovinos. Os dados eram enviados por Bluetooth para uma estação base onde os dados era posteriormente tratados e armazenados. O protótipo tinha ainda incorporado uma memória externa para armazenamento de dados no caso da estação base estar fora do alcance. De entre as limitações desta abordagem estão por exemplo o alcance da comunicação e o consumo energético/autonomia.

Em 2009 é apresentado o conceito de Sistema de Monitorização Autónomo de Saúde (AHMS – Autonomous Health Monitoring System) [30]. Introduce sistemas onde é possível obter feedback em tempo real do estado clínico de uma pessoa através de um dispositivo móvel e sensores. Em 2014 este conceito foi adaptado para o mundo animal [31]. Neste trabalho é apresentado um sistema de monitorização de saúde de bovinos composto por uma coleira (sensor piezoelétrico para medição dos batimentos cardíacos, um sensor de fluxo de ar para monitorização da respiração do animal, um identificador RFID e um transmissor Zigbee), um robot móvel com um transmissor Zigbee e um transmissor GSM. Aquando da deteção de alterações significativas na saúde e bem-estar do animal o utilizador era informado via SMS dessas mesmas alterações. A principal limitação deve-se ao facto de só poder ser implementado em espaços onde o robot se consiga movimentar.

#### 2.1.4 Monitorização do ciclo reprodutivo

Como se sabe um dos principais fatores para garantir a sobrevivência nas explorações pecuárias é a eficiência reprodutiva [32]. A introdução da inseminação artificial na pecuária veio contribuir favoravelmente nesse sentido, ajudando na padronização do rebanho e no controlo de doenças transmitidas sexualmente. Mas a principal vantagem da inseminação artificial é o processo de melhoramento genético e a obtenção de animais geneticamente superiores para produção e reprodução. Contudo, para que esta mantenha os índices altos de efetividade é muito importante que a técnica seja executada no momento adequado do ciclo reprodutivo das fêmeas, na fase de estro (cio). Como tal, é essencial conseguir identificar com antecedência quando as fêmeas se encontram nessa fase, períodos geralmente curtos que no caso dos pequenos ruminantes são de aproximadamente 12 horas.

Quando as ovelhas estão no ciclo éstrico apresentam os seguintes comportamentos: “nervosismo; aumento das vocalizações; diminuição do apetite; diminuição da produção de leite; vulva inchada e avermelhada com libertação de muco vaginal; reflexo de imobilização”. Alguns métodos que podem ser utilizados para identificar estes sinais são: “observação visual direta ou através de registos de imagens e vídeos; utilização de rufiões; cães treinados para detetar odores específicos (feromonas); medição da concentração de progesterona no leite; monitores de impedância vagino-vulvar e temperatura; monitores de atividade motora (pedómetros); detetores de monta” [33].

Há algumas soluções baseadas em métodos tradicionais, como a observação direta do comportamento dos animais, mas para grandes explorações, como já foi discutido anteriormente, este método é muito dispendioso e como tal pouco eficiente. Existem no mercado alguns produtos como por exemplo HotCow® [34] e o ESTROTECT™ [35] que utilizam películas colocadas no dorso das fêmeas e que mudam de cor com a fricção dos machos (figura 2.1) ou o FIL Tailpaint que consiste numa tinta colocada no dorso das fêmeas que se dissipa com a ação dos machos (figura 2.2).

Uma solução mais ligada à eletrónica é apresentada em (Antunes) [33], onde um sistema constituído por identificador RFID (tag) colocado na fêmea e um leitor móvel colocado nos machos permite detetar tentativas de salto em ovinos em tempo real. O leitor móvel por sua vez é contornado por um leitor RFID, microprocessador, módulo RF (Radio-Frequency)



Figura 2.1: Uso do produto ESTROTECT™ [1]

e um módulo de controlo de alimentação. Os dados recolhidos são tratados e enviados através de um módulo xBee para um servidor e armazenados na base de dados. Foi ainda desenvolvida uma aplicação baseada em HTML que permite ao utilizador consultar em tempo real os eventos ocorridos.

Um outro exemplo é o CowScout (figura 2.3), um sistema desenvolvido pela GEA Farm Technologies, cujo objetivo é identificar as fases do ciclo reprodutivo em bovinos e recolher informações que permitam classificar o bem estar animal, sendo para isso monitorizado o aumento ou a diminuição da atividade dos animais.

## 2.2 Técnicas de condicionamento do comportamento animal

O monitorização do comportamento dos animais é, como já foi descrito, muito importante na Zootecnia e a na pecuária para aumentar a produção em número e qualidade. O complemento perfeito, e que ajuda a que a produção seja efetivamente de maior qualidade em maior número e com processos mais eficientes, são as técnicas de condicionamento do comportamento dos animais. Estas técnicas de controlo do comportamento animal são desde há muito tempo utilizadas nos animais e vão sendo melhoradas. Tal como na monitorização, a evolução das TICE também tem contribuído em grande escala para o aprimoramento destas técnicas. Podem ser divididas em dois grupos: o condicionamento do alimento de que os animais se alimentam e o condicionamento do local de pastagem. O primeiro tem como objetivo proteger culturas, de forma a que os animais não se alimentem de determinadas plantas. O segundo tem como objetivo o confinamento dos animais



Figura 2.2: FIL Tailpaint [2]



Figura 2.3: CowScout [3]

---

durante a pastagem ou condicionar os animais a permanecerem no espaço agropecuário.

Grande parte das técnicas de condicionamento do comportamento animal, baseiam-se em mecanismos de defesa dos animais. Por exemplo o mecanismo de proteção alimentar que os protege da ingestão de alimentos contendo toxinas e que os leva a associar o mal estar ao alimento ingerido. O mecanismo de proteção de agressões exteriores que os protege dos predadores e cujas agressões o animal associa aos locais onde elas ocorreram [36].

### 2.2.1 Controlo alimentar animal

O controlo alimentar animal consiste na utilização de técnicas que permitam controlar do quê e quando os animais se alimentam. Este tipo de controlo é extremamente importante quando se tenta conciliar as atividades agrícolas e as atividades pecuárias, algo que é feito de forma recorrente, e como tal ao longo dos tempos foram desenvolvidas e utilizadas várias técnicas de controlo.

Em termos de técnicas tradicionais temos o exemplo da utilização de cofinhos (figura 2.4), que parecido com uma mordança (colocada no focinho dos animais) que impede os



Figura 2.4: Fotografia de um cofinho [4]

---

animais de se alimentarem. Esta técnica era utilizada, por exemplo, em bovinos quando estes eram utilizados para puxar arados durante a sementeira, impedindo que durante o processo este se alimentasse de plantas cultivadas nas proximidades do terreno a ser lavrado. Outro exemplo de um método tradicional, este mais destinado a ovinos e caprinos, é a utilização de um cordão para amarrar uma das patas do animal ao seu pescoço. Assim impede-se que o animal se alimente de vegetação mais alta e reduz a movimentação do animal.

Uma abordagem um pouco diferente mas com o mesmo propósito consiste na utilização de técnicas de condicionamento do apetite animal por determinadas espécies de plantas, para evitar que os animais se alimentem delas. Uma destas técnicas e provavelmente a mais antiga, é aplicar excrementos dos animais nas plantas e nos frutos como forma de evitar que eles se alimentassem delas. Tem a desvantagem de deixar resíduos indesejáveis nos frutos/plantas e de ter um efeito limitado aos frutos/plantas que forem protegidos. Outra técnica é induzir os animais a criar aversão alimentar a certas espécies para que não se alimentem delas [37][38][39]. Isto é feito aplicando, nas espécies que se pretende proteger, um agente químico que cause mau estar aos animais após a ingestão destas espécies e assim fazer com que o instinto de proteção alimentar animal se encarregue de desenvolver aversão à espécie vegetal.

Há ainda experiências realizadas para utilizar sinais visuais e estímulos eletrostáticos como meio de condicionamento aversivo nos animais [39]. Com os resultados de um dos

grupos de animais que foram sujeitos a administração de LiCL (cloreto de lítio) e de estímulos eletrostáticos, foi possível observar que é possível criar aversão alimentar e a um local, sendo que a aversão alimentar tem precedência sobre a aversão relativa a um local.

## 2.2.2 Controlo de localização animal

O controlo da localização do animal tem também grande importância na pecuária, pois para além de poder ser ele próprio um método de controlo alimentar (restringindo a localização dos animais é possível controlar, ainda que indiretamente, a alimentação dos animais) tem uma grande contribuição para a segurança dos animais e/ou dos bens aos quais os animais poderiam constituir uma ameaça.

O método mais antigo e atualmente ainda um dos mais usados é o pastoreio dos animais com a presença de um agente humano (pastor). O pastor acompanha o rebanho no processo de pastagem e é responsável por controlar o percurso e local de pastagem mantendo sempre o rebanho junto e dentro de um determinado perímetro. Embora seja um método muito fiável no controlo da localização dos animais, torna-se muito dispendioso por requerer muita mão de obra (pastor a controlar as movimentações dos animais a tempo inteiro).

O controlo de localização animal pode também ser feito recorrendo a estímulos visuais, auditivos e olfativos [40], embora seja um método utilizado apenas como suplemento a outros métodos ou em aplicações de menor criticidade ou precisão [41]. Estudos mostram que os bovinos e caprinos usam sinais visuais, tanto artificiais como naturais, com impacto visual significativo para localizar os locais de pastagem preferidos, mesmo quando as localizações destes sinais visuais são alterados. A utilização de sinais sonoros, apesar de não se ter destacado como sendo um dos mecanismos mais efetivos no que diz respeito ao controlo e à contenção dos animais, pode ser usado como método complementar ou como mecanismo de pré-aviso antecedendo outro tipo de penalização a aplicar aos animais, como por exemplo estímulos elétricos. É por isso importante no processo de aprendizagem animal permitindo que eles revertam comportamentos indesejados evitando penalizações [42][43].

Uma outra abordagem para controlar a localização dos animais é a utilização de cercas para vedar os locais de pastagem dos animais. As cercas podem ser separadas em três tipos: cercas tradicionais, cercas elétricas e cercas virtuais. Em seguida será feita uma análise a cada tipo de cerca.

### Cercas tradicionais

As cercas surgiram da necessidade de controlar a localização dos animais e da indisponibilidade de ter uma pessoa a vigiar os animais durante todo o período de pastagem dos mesmos. Originalmente feitas à base de madeira, pedra e arame, as cercas permitiam manter os animais a pastar confinados, libertando a mão-de-obra para outras tarefas garantindo a segurança dos mesmos e protegendo ainda culturas vizinhas de serem atacadas pelos animais em pastagem. Por apresentar estas vantagens as cercas foram evoluindo e para se ter uma ideia no século XVIII foram registadas aproximadamente 1200 patentes, só nos Estados Unidos [41]. Apesar das grandes vantagens apresentadas pelas cercas, as



Figura 2.5: Exemplo de cerca perigosa para os animais [5]

cercas tradicionais apresentam muitas limitações. O facto da sua estrutura estar exposta a fatores de desgaste natural tais como o sol, o frio e a chuva, faz com que o seu desgaste seja acelerado, enfraquecendo a cerca, que fica suscetível a derrubes por parte de animais de maior porte. Tal pode originar estragos nas culturas vizinhas, o que faz com que seja necessário fazer inspeções regulares às cercas e trabalhos de reparação estrutural. Se a implementação ou o planeamento do tipo de cerca não for feito cuidadosamente pode levar a causar ferimentos nos animais (figura 2.5) que podem ter consequências graves se as lesões forem nos úberes ou no escroto e testículos dos reprodutores, o que constitui mais uma forte limitação das cercas.

### **Cercas elétricas**

Para solucionar os problemas apresentados pelas cercas tradicionais, uma das soluções apresentadas foram as cercas elétricas. Começaram a ser desenvolvidas nos anos 30 sendo a primeira patente registada em em 1939 [41]. A eletrificação da cerca pretendia parar as investidas de animais de maior porte, como cavalos e bovinos, sem ser necessário um reforço excessivo das estruturas das cercas, que eram até então muitas vezes derrubadas por estes animais causando prejuízos em culturas vizinhas e destruição das cercas.

Para além da vantagem de conseguir parar animais de maior porte, as cercas elétricas têm ainda a vantagem de usar o efeito da aprendizagem animal, isto porque os animais passam a associar a cerca a um estímulo elétrico que lhes causa desconformo e como tal passam a evitar entrar em contacto com a cerca.

As cercas elétricas apresentam contudo algumas desvantagens. Na maior parte dos

casos exigem a utilização de baterias, que devido ao consumo da cerca necessitam de ser carregadas frequentemente. Adicionalmente não podem ser utilizadas em terrenos húmidos ou em terrenos onde haja vegetação alta.

### **Cercas virtuais**

O outro tipo de cercas, as cercas virtuais, sendo também uma evolução das cercas tradicionais, são o tipo de cerca mais tem evoluído com a evolução das TICE. As cercas virtuais pretendem controlar a localização dos animais, confinando-os numa determinada área sem que para isso sejam utilizadas qualquer tipo de barreiras físicas. Como tal a sua implementação apresenta um custo de instalação muito mais baixo quando comparada com o outro tipo de cercas. Para além disso têm a grande vantagem de permitir uma fácil mobilidade do local de pastagem. Este procedimento, mudança do local de pastagem, pode ser efetuado por questões sanitárias (evitar que os parasitas se mantenham alojados no local de pastagem), ou por questões de gestão da pastagem [44].

Por apresentarem estas vantagens e por resolverem a maior parte dos problemas das cercas convencionais, ao longo das últimas décadas têm sido imensas as propostas de mecanismos para construir uma infraestrutura virtual capaz de conter animais de pastagem. Estas propostas diferenciam-se basicamente em termos dos mecanismos de deteção dos limites da área permitida, ou em termos do estímulo aplicado aos animais.

Falando da deteção dos limites da área permitida de pastagem, existem atualmente três tipos de técnicas utilizadas:

- a produção de um sinal eletromagnético aplicado num condutor elétrico, detetado pelo dispositivo acoplado ao animal;
- a utilização de sinais de GPS, cujas coordenadas instantâneas do recetor acoplado ao animal são comparadas com um polígono definido por um conjunto de coordenadas;
- a utilização de sinais eletromagnéticos como forma de delimitação da zona permitida, ou como mecanismo de definição da zona proibida.

Métodos baseados na primeira técnica, embora seja um mecanismo ainda hoje comercializado em produtos destinados a animais domésticos, apresentam a desvantagem de implicar um processo de instalação trabalhoso (abertura de uma vala no local onde é enterrado o fio condutor). Não possuem nenhum elemento condicionador visual, o que torna o processo de aprendizagem animal mais difícil [45]. Apesar de ser considerada uma cerca virtual não apresenta a vantagem de fácil mobilidade do local de pastagem.

A utilização de GPS em cercas virtuais tem vindo a ser extensamente aplicada como forma de delimitação das cercas [46][47] (figura 2.6). Apesar de ser um método fiável na determinação da localização dos animais e como tal na delimitação da área de pastagem, esta solução apresenta alguns problemas inerentes da própria tecnologia GPS, como por exemplo consumo elétrico elevado e a falta de precisão dos sinais GPS que por vezes pode levar a erros na determinação da posição do animal, se dentro ou fora da cerca. De referir



Figura 2.6: Cerca virtual [6]

---

ainda que a criação de dispositivos individuais para os animais com recetores GPS apresenta ainda um custo elevado.

Em termos do tipo de estímulos usados para controlar a localização dos animais, são encontradas normalmente soluções com recurso a estímulos visuais, auditivos, olfativos e/ou elétricos [40].

A utilização de sinais visuais para condicionamento da posição de animais é alvo de estudo em [48]. O estudo foi feito em bovinos e os resultados do estudo comprovam que os animais usam as indicações fornecidas pelos sinais visuais chegando mais rapidamente aos locais de pastagem, quando ajudados pelos sinais visuais, independentemente dos locais de pastagem se manterem inalterados ou não.

A utilização de sinais auditivos também foi alvo de testes [41][47]. Por exemplo em [41] foram utilizados altifalantes de 10 metros, nos quais são reproduzidos sons de alta frequência com vista a irritar animais bovinos afastando-os dos limites da cerca. Com os resultados foi concluído que os sons constituem um estímulo adversativo válido para a implementação de uma cerca virtual, mas não suficiente para ser implementado comercialmente.

O tipo de estímulo atualmente mais usado é o estímulo elétrico. Normalmente este tipo de estímulo consiste num emissor de sinais elétricos de elevada tensão aplicado num colar. Quando aplicados no animal o sinal elétrico provoca incómodo, fisicamente traduzido numa contração dos nervos do animal. Em [49] é feito um estudo aplicando um estímulo

eletrostático de 650V em bovinos para controlar a sua localização durante a pastagem. Os estímulos são aplicados através de uma coleira controlada remotamente via rádio. Os resultados do estudo validam a possibilidade de controlar bovinos através de estímulos elétricos, e permitem concluir que a utilização de um mecanismo responsivo de estímulo favorece a aprendizagem animal, e conseqüentemente o seu bem-estar.

### 2.2.3 Bem-estar animal

Tal como já foi referido o bem-estar animal é um aspeto cada vez mais importante e como tal é preciso ter em conta quando é feito o condicionamento do comportamento animal. É possível encontrar vários estudos sobre os efeitos da utilização de técnicas de condicionamento sobre os animais, sendo reportados estudos acerca da saúde dos animais, da evolução em termos de comportamento do peso e até acerca da evolução de níveis das hormonas tradicionalmente associadas ao stress, como a serotonina e o cortisol.

Um exemplo disso é o estudo acerca do efeito da utilização de colares de treino canino em Beagles, utilizando como indicadores a variação do ritmo cardíaco e a quantidade de cortisol existente na saliva [50]. Foram testados em três grupos, um grupo era estimulado quando tocava num determinado objeto, no segundo grupo eram estimulados quando não obedeciam a ordens dadas durante ações de caça e um terceiro grupo onde os estímulos eram dados aleatoriamente. Foi detetado que nos animais do grupo dois e três houve um aumento significativo de cortisol na sua saliva enquanto que no grupo um não houve aumento das hormonas associadas ao stress animal. Com isto conclui-se que a utilização de estímulos deve ser usada em aplicações muito restritas e nos *timings* corretos.

Noutro estudo é comparado o efeito de utilização de cercas elétricas e cercas virtuais baseadas em coleiras emissoras de estímulos eletrostáticos em bovinos [49]. Durante os testes, foram medidos os ritmos cardíacos dos animais e foram colhidas amostras sanguíneas para análise das quantidades de cortisol e b-endorphin, hormonas tradicionalmente associadas ao stress animal. Os resultados mostram que em ambos os casos houve um aumento aceleração dos ritmos cardíacos e no aumento das hormonas de resposta ao aumento de stress.

Há ainda vários estudos que testam sistemas onde são combinados vários estímulos como forma de facilitar o processo cognitivo animal. Normalmente são utilizados estímulos elétricos associados com outro tipo de estímulo que cause menos incómodo no animal, permitindo que este possa reconhecer o comportamento indevido a tempo de o poder reverter, não necessitando assim de receber o estímulo eletrostático. Há ainda estudos [42] que defendem que a utilização de estímulos combinados melhora o bem-estar animal relativamente às soluções de condicionamento tradicionais, pois permitem que o animal aprenda que comportamentos deve ou não ter, evitando posteriormente a aplicação de qualquer tipo de estímulo.



# Capítulo 3

## Tecnologias Utilizadas

### 3.1 Ultrassons

Os sensores ultrassons destinados à medição de distâncias são hoje em dia largamente utilizados. Baseiam-se na emissão e recepção de ondas sonoras com frequências superiores a 20KHz. Para este efeito são normalmente utilizados transdutores piezo-eletrotécnicos, que convertem sinais elétricos em ondas ultrassónicas. Uma das razões para a sua vasta utilização é o facto das ondas sonoras se propagarem a velocidades muito inferiores às ondas eletromagnéticas o que permite medições de tempos de receção e medidas de diferenças de fase com elevada precisão recorrendo a componentes de baixo custo e a eletrónica de baixa complexidade. O facto de este tipo de técnica ser, na parte da receção, digital para além de diminuir a complexidade dos circuitos de receção facilita a sua integração em sistemas baseados em micro-controladores, sem ser necessário recorrer a conversores analógico-digital.

Para medir através de sensores de ultrassons são utilizados dois métodos, método de onda contínua e método de onda pulsada. Ambos os métodos são brevemente explicados nos parágrafos seguintes.

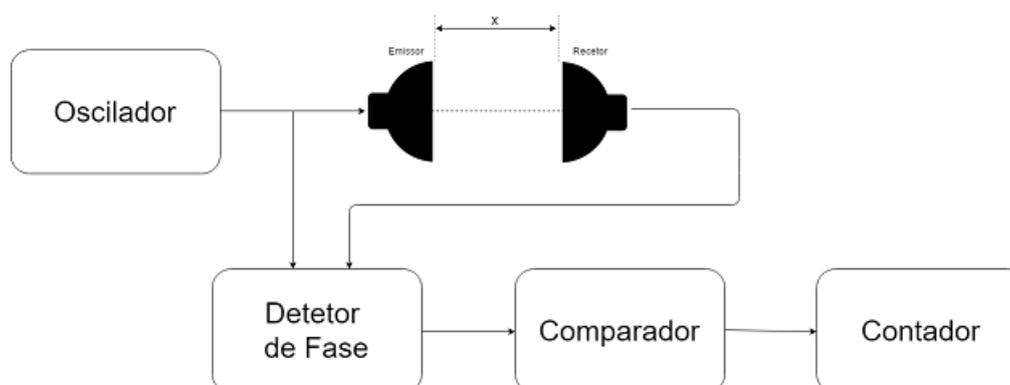


Figura 3.1: Medição de através do método de onda contínua [7]

O método de onda contínua usa a diferença de fase entre a onda enviada e a onda recebida para calcular distâncias. Como pode ser visto na figura 3.1, um oscilador gera um sinal sinusoidal que é utilizado para excitar o emissor de ultrassons e lido pelo recetor que está localizado inicialmente a uma distância conhecida. Os dois sinais, o emitido e recebido, são aplicados num detetor de fase que devolve na sua saída o valor da diferença de fase entre os dois sinais. Quando a distância entre o recetor e o emissor se altera, a diferença de fase entre o sinal emitido e recebido também se altera atingindo o máxima quando os dois se encontram em oposição de fase e mínima quando em fase. Como tal o sinal à saída do detetor de fase é comparado, através de um comparador, com o valor máximo de diferença de fase (por exemplo), obtendo-se um impulso na saída sempre que os sinais recebido e emitido estão em oposição de fase. Sempre que um impulso é detetado, significa que houve uma variação da entre recetor e emissor de um comprimento de onda, equação 3.1,

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

em que  $\lambda$  é o comprimento de onda,  $f$  a frequência e  $c$  a velocidade de propagação do som no ar. É assim possível medir deslocamentos em múltiplos do comprimento de onda. Com este método não é possível medir diretamente distâncias, apenas é possível medir deslocamentos. Outra desvantagem do método é o facto de não detetar o sentido da deslocação.

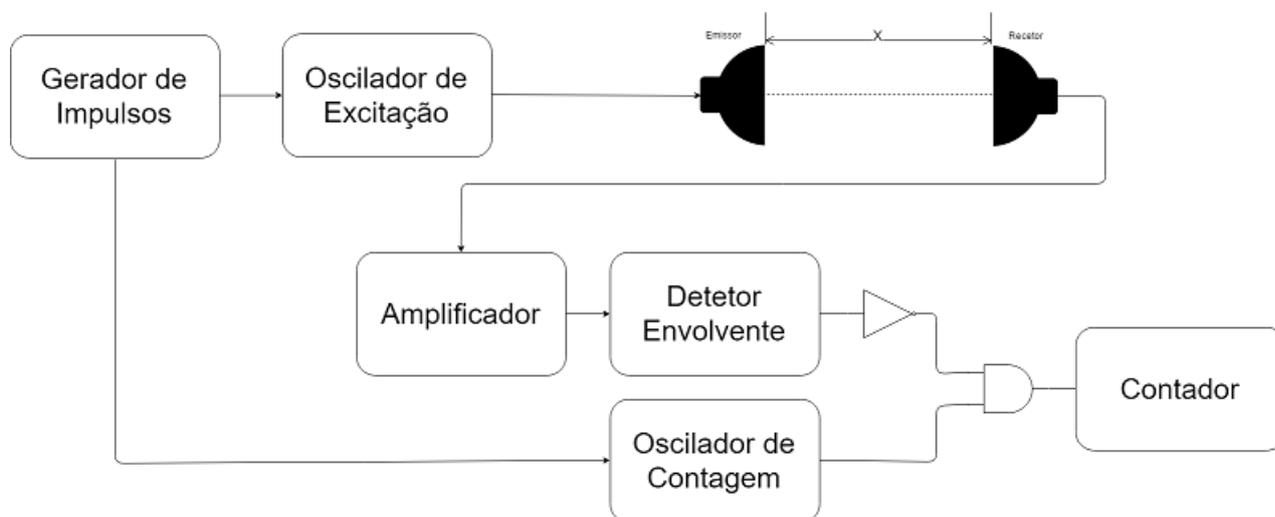


Figura 3.2: Medição de através do método de onda pulsada

O método de onda pulsada usa a velocidade de propagação dos ultrassons no ar, para estimar distâncias. Na figura 3.2 está representado um esquema simples de medição através do método de onda pulsada. Um gerador de impulsos periódicos, ativa durante um curto período de tempo o oscilador responsável por excitar o emissor de ultrassons que emite assim um trem de impulsos. Ao mesmo tempo é ativado o oscilador de contagem com uma frequência  $f$ . Quando o recetor recebe um sinal de ultrassons com amplitude suficiente

o circuito de recepção gera um impulso que faz parar a contagem. Assim é obtida uma contagem proporcional ao tempo de propagação da onda ultrassônica entre o recetor e emissor. Como o a frequência do contador é conhecida o tempo de propagação pode ser calculado através da equação 3.2,

$$t_p = \frac{N}{f} \quad (3.2)$$

em que  $t_p$  é o tempo de propagação e  $N$  o número na saída do contador. Através do tempo de propagação e do valor da velocidade de propagação das ondas sonoras no ar, calcula-se a distância percorrida pelas ondas ultrassônicas, através da equação 3.3,

$$x = c * t_p \quad (3.3)$$

em que  $x$  é a distância. Neste caso está ser considerado que emissor e recetor estão colocados em linha vista mas este método pode também ser utilizado com o emissor e recetor colocados lado a lado, ou utilizando um *transceiver*, sendo que as ondas sonoras são refletidas no objeto ao qual se pretende medir a distância. O tempo de propagação vai ser por isso duas vezes superior ao tempo de propagação quando utilizados os transdutores em linha de vista e a distância é dada pela equação 3.4.

$$x = \frac{c * t_p}{2} \quad (3.4)$$

A utilização de ultrassons para medir a distância apresenta, para além das já referidas vantagens do baixo custo, simplicidade de eletrónica de acondicionamento e fácil integração em sistemas baseados em microcontroladores, a vantagem de conseguirem detetar materiais tanto no estado solido como liquido e de propriedades dos objetos tais como, cor, textura, transparência não afetarem a qualidade das medições. No entanto a utilização de ultrassons exige alguns cuidados relacionados como a alteração da velocidade de propagação das ondas sonoras no ar com a variação da temperatura, humidade e pressão que podem levar a erros na medição da distância.

## 3.2 Acelerometro

Os acelerómetros são dispositivos que permitem medir acelerações. As acelerações medidas podem ser de dois tipos, estáticas ou dinâmicas. As acelerações estáticas estão normalmente associadas à aceleração da gravidade e permitem determinar ângulos de inclinação e detetar quedas livres dos dispositivos. As acelerações dinâmicas estão associadas a qualquer tipo de força não constante aplicada nos acelerómetros e permitem, por exemplo, detetar movimentos, vibrações e colisões.

Tipicamente o funcionamento dos acelerómetros baseia-se num sistema massa-mola e na lei de Hooke para determinar a aceleração. Uma simplificação do sistema é uma massa inercial ligada por uma mola a uma estrutura fixa (figura 3.3). Sempre que ocorre uma aceleração a inercia faz com que a massa resista ao movimento e estenda a mola.

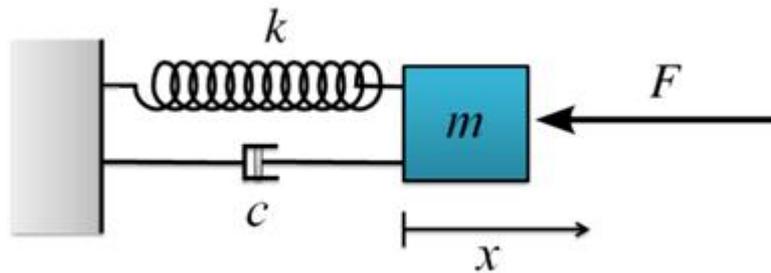


Figura 3.3: Sistema massa-mola [8]

Segundo lei de Hooke, a deformação de um corpo, neste caso da mola, é proporcional à força aplicada. A deformação da mola é igual ao deslocamento da massa inercial e a força aplicada proporcional à aceleração (Segunda lei de Newton). Assim determinando a deslocação da massa pode ser determinado o valor da aceleração.

Sendo este o princípio básico, existem atualmente varias formas de o implementar. Os tipos mais comuns são os que utilizam efeitos capacitivos, piezoelétricos ou piezoresistivos e os MEMS (Micro Electro Mechanical Systems).

## 3.3 Protocolos de Comunicação

### 3.3.1 SPI

O SPI (Serial Peripheral Interface) é um protocolo do tipo *master-slave*. Foi desenvolvido para permitir comunicações série síncronas e *half-duplex*. Normalmente é utilizado em sistemas baseados em micro-controladores, tipicamente o *master*, para comunicar com os periféricos do sistema (por exemplo memórias *flash*, sensores, ADC's/DAC's,...), os *slaves*. Só é possível usar um *master* mas o número de *slaves* é teoricamente ilimitado, sendo apenas limitado pela capacidade de carga introduzida pelos *slaves*. O protocolo usa quatro fios de comunicação (figura 3.4):

- SS (Slave Select): fio para selecionar o *slave*;
- SCLK (Serial Clock): fio para partilha do sinal de relógio do *master*;
- MISO (Master Input/Slave Output): fio utilizado pelo *master* para enviar dados para o *slave*;
- MOSI (Master Output/Slave Input): fio utilizado pelo *slave* para enviar dados para o *master*.

A comunicação é sempre iniciada pelo *master*. O master gera o sinal de relógio, sendo que a frequência tem de ser menor que a frequência máxima suportada pelos *slaves*, e



Figura 3.4: Esquema de ligação master-slave

partilha-o com os slaves através da linha SCLK. Para iniciar uma comunicação, o *master* tem de por a linha SS do slave com o qual pretende comunicar no estado lógico '0', ativando o *slave*. Depois de selecionar o *slave* o *master* pode começar a transferência de dados, feita bit a bit. No SPI a comunicação é sempre bi-direcional, isto é, sempre que o *master* envia um bit pela linha MOSI lê um bit na linha MISO. Assim é garantida a transferência síncrona em ambos os sentidos (figura 3.5).

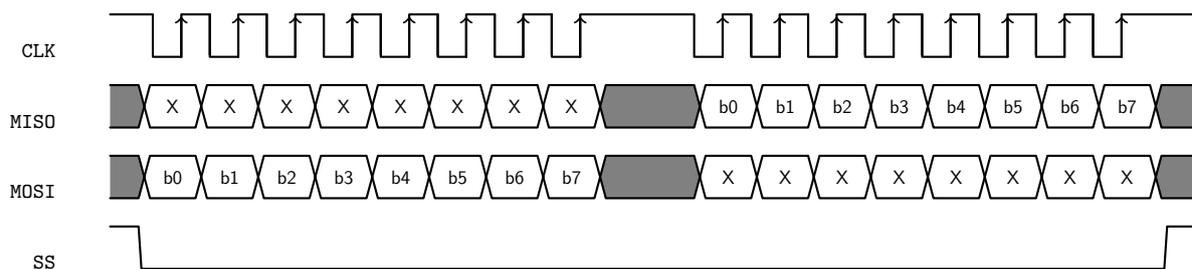


Figura 3.5: Diagrama temporal de uma comunicação SPI

As vantagens do SPI são:

- Dados podem ser transferidos sem interrupções, não há limite de bits enviados/recebidos por comunicação;
- O sistema de endereçamento é mais simples do que no I2C;
- As taxas de transmissão de dados são mais elevadas em relação a protocolos série assíncronos (por exemplo I2C);
- Suporta um número elevado de *slaves* (teoricamente infinito);
- Utiliza fios separados para transmissão de dados do *master* e para o *slave* o que permite transferências de dados nos dois sentidos simultaneamente.

Em termos de desvantagens o SPI:

- Usa pelo menos 4 fios (I2C usa dois por exemplo);
- Requer um sinal SS para cada *slave* ao contrário do I2C;
- *Master* controla todas as comunicações e os *slaves* não podem comunicar diretamente entre eles;
- Só permite a utilização de um *master*;
- Não tem mecanismo de deteção de erros de transmissão.

### 3.3.2 I2C

O I2C (Inter-Integrated Circuit) é, tal como o SPI, um protocolo do tipo *master-slave* para comunicações série síncronas e bi-direcionais. É tipicamente usado para comunicações de curta distância entre circuitos integrados. A comunicação é feita através de dois sinais, SCL (Serial Clock) e SDA (Serial Data) permitindo a utilização no mesmo sistema de um ou vários *masters* a controlar um ou vários *slaves*. Usa um sistema de endereçamento para seleccionar o dispositivo com o qual se vai comunicar sendo o número de dispositivos permitidos definido pelo número de bit's do sistema de endereçamento (número de endereços disponíveis) e pela capacidade de carga introduzida pelos dispositivos ligados.

A comunicação é iniciada sempre por um *master*. Quando um master quer comunicar deve manter a linha SCL no estado lógico '1' e baixar a linha SDA para o estado lógico '0'. Ao fazer isto os *slaves* são informados que uma transmissão está prestes a acontecer. Se dois *masters* pretenderem comunicar, ganha o direito a comunicar o master que baixar o SDA para '0' mais rápido. O primeiro *frame* enviado pelo *master* deve conter o endereço do *slave* com o qual pretende comunicar e que tipo de comunicação vai ser feita (leitura ou escrita). Nos *frames* seguintes são enviados os dados do *master* para o *slave* ou do *slave* para o *master* conforme esteja a ser feita uma leitura ou uma escrita. No fim de cada *frame* é dado o controlo da linha SDA ao dispositivo que está a receber os dados, e este fica responsável por baixar a linha para o estado lógico '0' dando o ACK (*acknowledge*) de que recebeu o *frame* enviado. Se o ACK não acontecer, significa que o *frame* não foi enviado/recebido com sucesso ficando o *master* responsável por decidir como proceder a seguir. Quando todos os *frames* forem transmitidos, o *master* gera a condição de paragem, através da transição da linha SCL de '0' para um '1' seguida de uma transição de '0' para '1' na linha SDA mantendo a SCL a '1'. Na figura 3.6 está representado o diagrama temporal de uma comunicação I2C com um sistema de endereçamento de 7-bits.

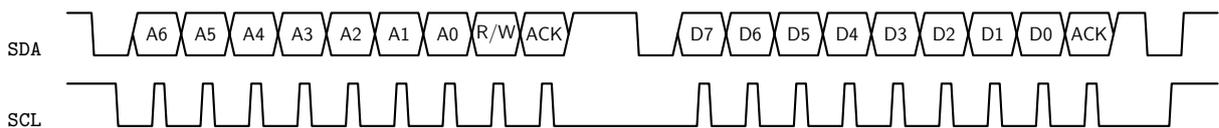


Figura 3.6: Diagrama temporal de uma comunicação I2C

As vantagens do I2C são:

- Apenas usa dois fios para comunicar;
- Permite ter vários *slaves* e vários *masters* no mesmo sistema;
- Tem mecanismo de confirmação de recepção de dados.

As desvantagens do I2C são:

- Taxas de transmissão mais pequenas do que no SPI;
- Sistema de endereçamento pode causar conflitos;



# Capítulo 4

## Arquitetura do Sistema

Neste capítulo é feita a descrição da arquitetura do sistema, das suas funcionalidades e requisitos. É inicialmente descrita de uma forma geral e posteriormente é analisada de forma individual a arquitetura de cada módulo que compõe o sistema. Uma vez que para esta dissertação a parte do sistema de maior interesse é a dos dispositivos moveis (coleiras), a análise à sua arquitetura é feita de forma mais detalhada.

### 4.1 Funcionalidades e requisitos

Estando o trabalho desenvolvido nesta dissertação integrado no projeto SheepIT e, como tal, os requisitos do sistema a desenvolver são impostos pelos objetivos do projeto. O SheepIT pretende desenvolver um sistema capaz de monitorizar e controlar o comportamento e a localização de ovelhas, de maneira a permitir que estas sejam utilizadas na remoção de ervas indesejadas das vinhas. Pretende ainda recolher, armazenar, processar e apresentar de forma legível aos utilizadores dados acerca do comportamento e estado do animal (bem estar, saúde). Para cumprir aquilo a que se propõe foram definidas e estipuladas as seguintes funcionalidades e requisitos:

- **Dimensões:** os dispositivos a colocar nas ovelhas não devem afetar o seu bem estar, isto é, as ovelhas devem ser capazes de se movimentar e alimentar sem para isso terem de fazer um esforço anormal, devido ao peso e porte do dispositivo. Para isso é necessário ter em atenção as dimensões e peso da coleira a colocar nos animais.
- **Postura:** determinar a postura do animal, especialmente a posição da cabeça e pescoço, uma vez que são os mais relevantes para determinar de que género de vegetação o animal se está a alimentar. É por isso relevante conseguir medir distância ao chão e inclinação do pescoço da ovelha. Para poder tirar conclusões acerca da posição da cabeça a resolução do instrumento de medida de distância de ser de cerca de 5cm e do instrumento de medida de inclinação de cerca de 10 graus.
- **Localização:** determinar a localização dos animais dentro da área de pastagem definida.

- **Estímulos:** conjunto de atuadores capazes de estimular o animal por forma a evitar que este tenha comportamentos indesejados. É importante que o animal associe os estímulos aos comportamentos indesejados sem que estes perturbem o bem estar do animal.
- **Cerca Virtual:** tem de ser capaz de confinar os animais num determinado espaço sem que para isso seja utilizada uma estrutura física.
- **Comunicação:** rede de sensores capaz de transferir os dados recolhidos pelos sensores para os servidores onde vão ser armazenados, processados e posteriormente apresentados aos utilizadores. A rede de sensores deve ser capaz de acomodar um número de dispositivos na casa das centenas.

## 4.2 Arquitetura geral

A arquitetura geral do sistema pode ser vista na figura 4.1, está separa em três partes essenciais: as coleiras, os faróis (*beacon*) e a *gateway*. A coleira, dispositivo a ser colocado nos animais, é constituída por um grupo de sensores (determinação da postura), atuadores (estímulos elétricos e sonoros), um módulo de radio (comunicação com a rede de sensores e determinação da localização), um módulo de processamento e uma bateria. Recolhe dados através dos sensores e estima a postura do animal, determina a localização relativa através do módulo de radio, através da RSSI, processa os dados de forma a saber se o comportamento do animal é aceitável e em função disso aplica os estímulos. O módulo de rádio tem ainda a função de comunicar com a rede de sensores. Cada animal que transporte uma coleira vai ser portanto um nó móvel na rede de sensores que comunica com os faróis que estão no seu raio de alcance. Os faróis são estruturas fixas colocados estrategicamente nos terrenos por forma a selecionar a área de funcionamento do sistema. São responsáveis por recolher os dados das coleiras e fazê-los chegar à *gateway*. São ainda os elementos responsáveis por coordenar a rede. A *gateway* recolhe os dados enviados pelos faróis e é responsável por envia-los para a Internet (servidores remotos, cloud), onde os dados são armazenados e posteriormente processados e finalmente disponibilizados aos utilizadores.

## 4.3 Coleiras

As coleiras são constituídas por quatro módulos: sensores, atuadores, módulo de comunicação wireless e módulo de processamento (figura 4.2). Para além das funcionalidades já mencionados é preciso ter em conta uma série de requisitos importantes para o bom funcionamento e eficiência da coleira e do sistema em geral. A coleira vai ser transportada por animais de pequeno/médio porte durante um número de horas significativo por dia (durante o pasto) e como tal as dimensões da coleira devem ser as mais reduzidas possível por forma a não causar desconforto e esforço desnecessário aos animais. Outro requisito importante é a autonomia que deve ser tão grande quanto possível e durar pelo menos uma

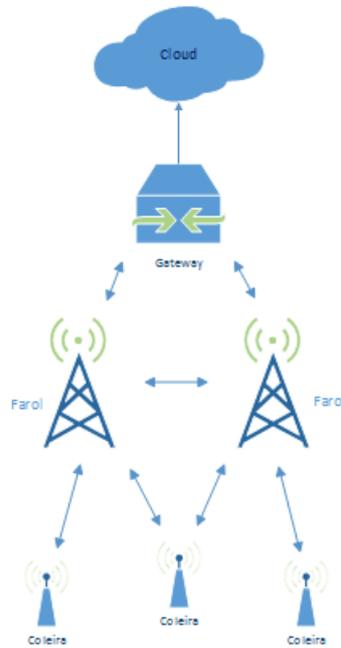


Figura 4.1: Arquitetura geral do sistema

semana, para evitar trocas e/ou recargas frequentes de baterias. Uma autonomia maior diminui a carga de trabalho necessária para a manutenção do sistema (trocas e recargas de baterias num sistema com dezenas/centenas de coleiras). A autonomia do sistema deve, na medida do possível, ser aumentada através do baixo consumo do sistema, em detrimento do aumento da capacidade das baterias que levam a um aumento considerável no peso das coleiras. Adicionalmente é importante para a aprendizagem dos animais, que os estímulos sejam aplicados segundo um conjunto de regras muito específicas e evitar ao máximo penalizar os animais por erros de decisão.

Para determinar a postura do animal vão ser usados sensores de distância com o objetivo de medir a distância da coleira ao chão, sendo também a distância ao chão do pescoço do animal, e sensores para medir o ângulo de inclinação da coleira, dando ao mesmo tempo o ângulo de inclinação da cabeça dos animais. A determinação de postura é um dos fatores de decisão de aplicação de estímulos e como foi referido é crucial para a aprendizagem dos animais evitar erros de decisão e como tal é preciso definir resoluções mínimas nas medidas de distância e ângulos que permitam uma determinação fidedigna da postura. A medição da distância deve ser feita com uma resolução mínima 5cm e a medição do ângulo com uma resolução de  $10^{\circ}$ . Por sua vez os atuadores, neste caso estímulos sonoros e elétricos, têm de ser calibrados de forma a não aumentarem os níveis de stress dos animais, nem a porem em risco a sua saúde e bem estar, mas ao mesmo tempo têm de ser capazes de fazer os animais corrigirem os comportamentos considerados indesejados, por exemplo saírem da zona de pasto estipulada pela cerca virtual.

O módulo de processamento é o módulo central do sistema deve ser capaz de comuni-

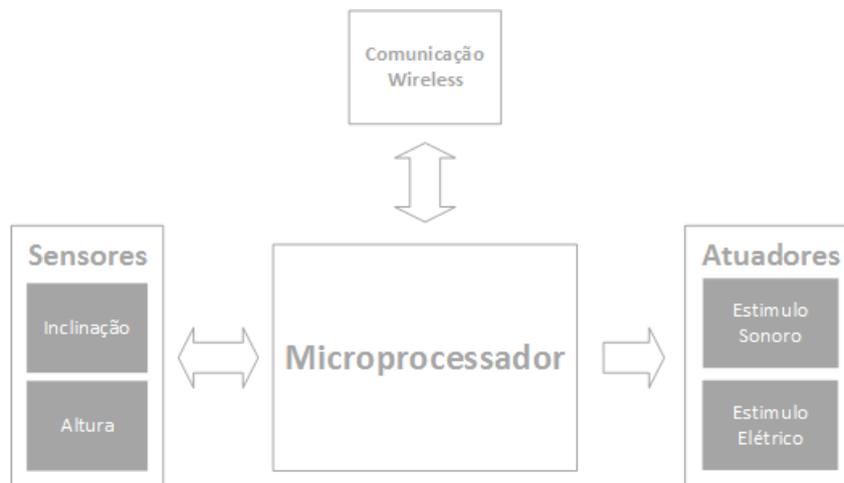


Figura 4.2: Estrutura modular da Coleira

car com os sensores, atuadores e módulo comunicação wireless, isto é, possuir interfaces compatíveis com o resto dos módulos do sistema. Tem de recolher os dados dos sensores, determinar a postura do animal e ativar ou desativar os estímulos.

Como são responsáveis por controlar os animais, é necessário que cada animal transporte consigo uma coleira, fazendo com que sejam o dispositivo em maior número no sistema podendo ser necessário a utilização de dezenas ou centenas de coleiras. Como tal o custo unitário da produção de uma coleira vai afetar em grande escala o custo de produção de todo o sistema. É por isso importante que na seleção de componentes e tecnologias a serem utilizadas nas coleiras e tenha em atenção os custos de implementação.

### 4.3.1 Medição distância

A medição da distância ao chão desde o pescoço do animal é feita através da utilização de sensores de ultrassons. Escolheu-se este tipo de sensor, pois como foi referido no Capítulo 3, os circuitos de condicionamento para este tipo de sistemas de medida de distâncias é de baixa complexidade quando comparado com sistemas que usam ondas eletromagnéticas tendo como tal um menor custo de implementação sem comprometer os requisitos exigidos para a medição da distância. Não necessita de conversores analógico-digital para integração com micro-controladores, facilitando a integração com módulo de processamento das coleiras. O facto da reflexão das ondas sonoras não variar consideravelmente com a variação de propriedades dos materiais como por exemplo a textura, cor, transparência foi outro dos fatores que levaram à sua escolha.

### 4.3.2 Medição ângulo

A medição do ângulo de inclinação do pescoço/cabeça dos animais é feita utilizando como sensor um acelerómetro. Como conseguem medir a aceleração estática da gravidade,

é possível com a informação recolhida pelo acelerómetro calcular o ângulo de inclinação em relação ao solo.

### 4.3.3 Localização

A determinação da localização dos animais no pasto é feita recorrendo aos módulos de comunicação RF, mais concretamente à potência de sinal recebido pelas coleiras durante a comunicação com os faróis. Esta opção permite reaproveitar o módulo de comunicação, não sendo por isso necessário hardware adicional para a determinação da localização. Este método permite apenas fazer uma localização relativa, fazendo uma estimativa da distância a que o recetor se encontra do emissor. Como o objetivo da localização é implementar uma cerca virtual o cálculo da distância das coleiras aos faróis é suficiente para determinar se os animais estão dentro ou fora da área de pasto.

## 4.4 Faróis

Os faróis são estruturas fixas que devem ser capazes de comunicar com as coleiras, entre eles e com a *gateway* do sistema. Devem ser instalados no terreno de forma estratégica por forma a dar cobertura para a rede de sensores em toda a área de pasto, pois são o ponto de acesso das coleiras à rede. Uma vez que a posição das coleiras é calculada com a distância aos faróis e a cerca virtual implementada a partir dessa distância, a localização dos faróis no terreno vai também definir os limites da cerca virtual sendo assim mais um aspeto a ter em conta na sua instalação. É ainda importante que os faróis sejam capazes de determinar a sua posição, permitindo assim que com o cruzamento de dados se obtenha uma estimativa da posição da ovelha dentro da zona de pasto, sendo ainda possível conferir se todos os faróis se encontram na posição onde foram instalados dando assim robustez ao sistema.

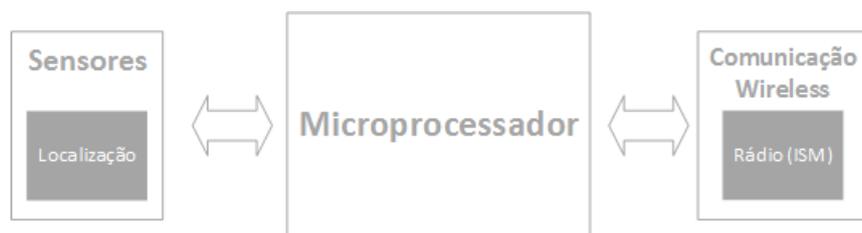


Figura 4.3: Diagrama de blocos dos Faróis

É da responsabilidade dos faróis coordenar a rede de sensores, devem ainda receber os dados das coleiras e transmiti-los para a Gateway.

São constituídos por um módulo de processamento, um módulo de comunicação que permita comunicar com todos os dispositivos da rede sensores no seu raio de alcance e por um módulo que permita determinar a localização do farol (figura 4.3).

## 4.5 Gateway

A *Gateway* é o módulo do sistema responsável por receber os dados transmitidas pelos faróis e envia-los para a cloud. A *Gateway* deve ser instalada num sítio seguro mas ter ao seu alcance pelo menos um farol para que consiga receber os dados provenientes da rede de sensores. Tal como os Faróis, também a *Gateway* deve ser capaz de determinar a sua posição.

A *Gateway* é constituída por um microcomputador, um módulo de localização, um módulo de comunicação capaz de comunicar com a rede de sensores e um segundo módulo de comunicação que permita ter acesso à *Internet* (4.4).



Figura 4.4: Diagrama de blocos da *Gateway*

# Capítulo 5

## Implementação

Neste capítulo descreve-se o processo de implementação das coleiras. Para tal é primeiramente explicado o critério de seleção do material utilizado e são descritas as suas características. De seguida é descrito o *hardware* desenhado e desenvolvido, e são justificadas as opções tomadas no seu dimensionamento. É ainda abordado o *firmware* desenvolvido, e tal como no que respeita ao *hardware* descreve-se todo o processo de desenvolvimento e são justificadas as opções tomadas.

### 5.1 Hardware

O *hardware* foi escolhido e dimensionado por forma a cumprir os requisitos do sistema especificados no Capítulo 4. Como foi referido, o preço das coleiras influencia em grande escala o preço geral do sistema e, como tal, na escolha dos componentes o preço foi um fator relevante. Outro fator de grande importância que foi tido em conta em todas as escolhas de componentes e equipamentos foi o consumo energético, dado que as coleiras são alimentadas por baterias e devem ter pequenas dimensões e elevada autonomia.

Todo o *hardware* desenvolvido foi inicialmente implementado em placa branca, módulo por módulo, e cada módulo foi testado individualmente. Como um dos objetivos do projeto é desenvolver um protótipo das coleiras, foi posteriormente desenhada um PCB (*Printed Circuit Board*) para integrar todos os módulos.

#### 5.1.1 Alimentação

As coleiras são dispositivos móveis e como tal a sua alimentação é feita através de baterias. A bateria escolhida para alimentar as coleiras foi a 2447-3030 do fabricante ANSMANN [51] e apresenta as seguintes características:

- Capacidade nominal de 2600 mAh;
- Tensão nominal de 7.4 V;

	LM2937-3.3	LM2937-5
Vin op. (min)	4.75V	6V
Vin op. (max)	26V	26V
Vout (typ)	3.3V	5V
Quiescent current(typ)	2mA	2mA
Reverse DC Vin (min)	-15V	-15V

Tabela 5.1: Características dos reguladores usados nos circuitos de Alimentação

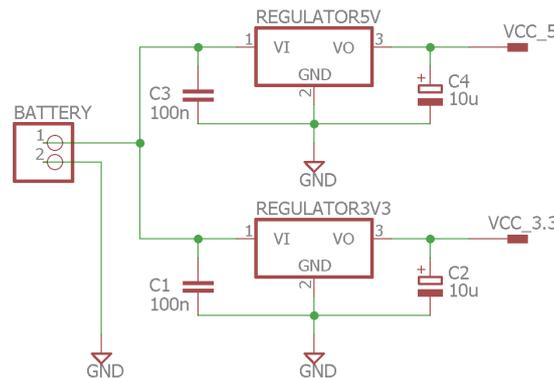


Figura 5.1: Circuito de alimentação

- Corrente máxima de 5 A;
- Dimensões: 38 mm x 71 mm;
- Peso: 100 g.

Esta bateria foi selecionada tendo em consideração estimativas iniciais relativas ao consumo, podendo vir, posteriormente, a ser substituída por outra de diferente capacidade.

Na figura 5.1 está representado o circuito de alimentação das coleiras. A alimentação é feita pela bateria descrita anteriormente, que apresenta uma tensão nominal de 7.4V. No entanto a tensão da bateria varia com a carga que possui. Assim, para garantir uma tensão de alimentação estável, foram usados reguladores para gerar as tensões de alimentação das coleiras. São geradas duas tensões através de dois reguladores, uma tensão de 3.3V (VCC\_3.3) para os circuitos digitais e uma de 5V (VCC\_5) para os circuitos analógicos. Foram utilizados os reguladores LM2937-3.3 [52] para gerar a tensão de 3.3V e o LM2937-5 [53] para gerar a tensão de 5V. As principais características que levaram à sua escolha estão na tabela 5.1. É de salientar que a tensão de entrada mínima e máxima de funcionamento dos reguladores estão de acordo com a gama de tensões que a bateria apresenta na saída em condições normais de carga.

## 5.1.2 Microcontrolador

O microcontrolador é o módulo de processamento central das coleiras. Este módulo tem de ser capaz de comunicar com todos os outros módulos do sistema. O microcontrolador escolhido tem por isso de possuir as interfaces necessárias para comunicar com os sensores, com os atuadores e com o módulo de comunicação. É importante que tenha modos de poupança de energia e funções integradas que permitam ler facilmente os valores dos sensores sem ser necessário recorrer a *hardware* adicional.

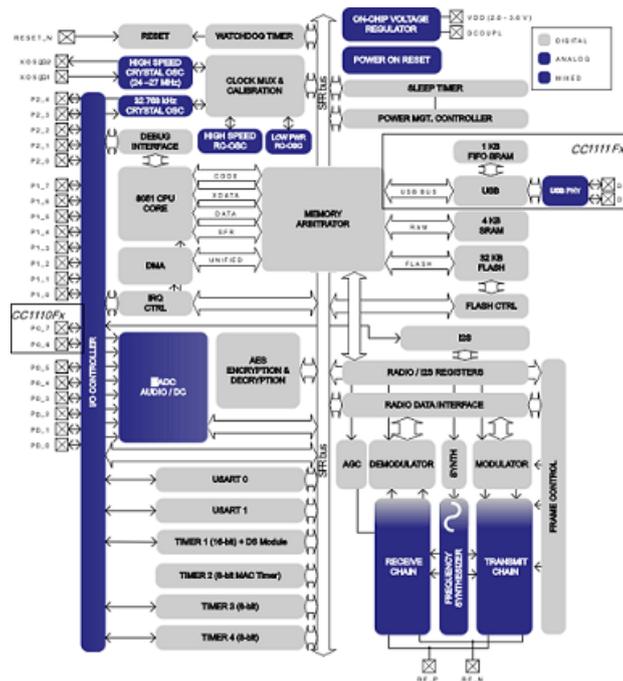


Figura 5.2: Diagrama de blocos do módulo CC1110 da *Texas Instruments* [9]

Aspetos chaves na escolha do microprocessador:

- Interfaces necessárias para comunicar com os restantes módulos do sistema;
- Consumo;
- Preço;
- Funcionalidades integradas: PWM (*Pulse-Width Modulation*), *timer* e interrupções.

Para a implementação foi escolhido o módulo CC1110 da Texas Instruments [9] (figura 5.2). As características e funcionalidades mais relevantes no contexto do projeto são:

- **Módulo de comunicação RF integrado.**
- **32Kb de memória programável para *firmware***

- Duas USART's
- Quatro modos de poupança de energia;
- 21 GPIO's;
- 3 timers de 8 bit e um timer de 16 bit;
- Tensões de alimentação de 2 V - 3.6 V

### 5.1.3 Ultrassons

Como foi referido no Capítulo 3 para medir distâncias através de sensores de ultrassons podemos optar por duas técnicas, onda contínua ou onda pulsada. Com o primeiro método apenas é possível medir variações de posição, optou por isso usar-se o método de onda pulsada. Como foi já explicado para utilizar este método é necessário um gerador de impulsos para excitar o emissor ultrassons, um recetor de ultrassons que converta as ondas ultrassónicas de novo num sinal elétrico, um amplificador que permita trabalhar com os sinais elétricos produzidos pelo recetor de ultrassons, um comparador para detetar a receção de ultrassons e um temporizador para contar o tempo entre a emissão e a receção das ondas de ultrassons.

Na figura 5.3 está representado o diagrama com todos os blocos de *hardware* desenvolvidos para o sensor de ultrassons. É importante referir que se optou por usar apenas um transdutor de ultrassons em detrimento de usar um recetor e um emissor.

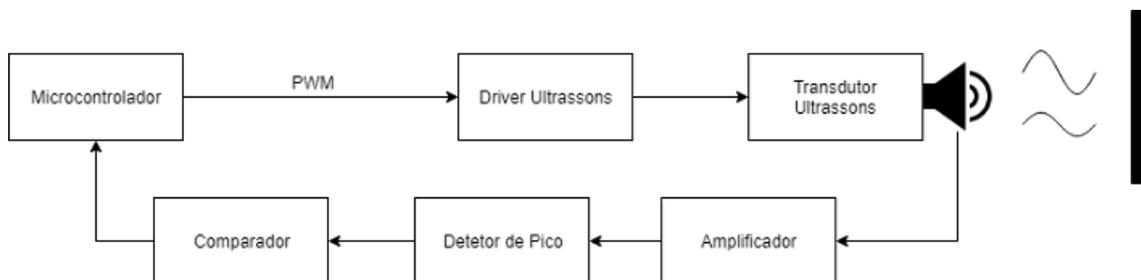


Figura 5.3: Circuito de *drive* e acondicionamento do módulo de ultrassons

#### Transdutor

O transdutor de ultrassons usado foi o K-14WP10 [54] (figura 5.4) que apresenta as seguintes características:

- Frequência de ressonância: 40 kHz  $\pm$ 1;
- Tempo de decaimento menor que 1.3 ms;
- Capacidade: 2000 pF  $\pm$ 15%;

- Tensão máxima: 140 V<sub>p-p</sub> a 40 kHz com *duty-cycle* de 2.5% num intervalo de 20ms;
- Diretividade segundo eixo X de  $110^{\circ} \pm 15$ ;
- Diretividade segundo eixo Y de  $65^{\circ} \pm 10$ ;

Uma característica muito importante deste sensor, e uma das mais relevantes para a sua escolha, é o facto de ser estanque, podendo por isso ser usado em animais ao ar livre.



Figura 5.4: Transdutor Ultrassons [10]

Para atingir as distâncias pretendidas o sensor de ultrassons deve ser excitado com um conjunto de impulsos com tensões pico a pico superiores a 100 V a uma frequência de 40 KHz. A duração dos pulsos não deve ser superior a 0.5ms, com intervalos de 20 ms.

### Driver Ultrassons

Para gerar os impulsos é usado um pino digital do micro-controlador que gera um sinal PWM a 40 KHz. A tensão máxima nos pinos do micro-controlador é de 3.9 V. Foi por isso projetado o *driver* da figura 5.5.

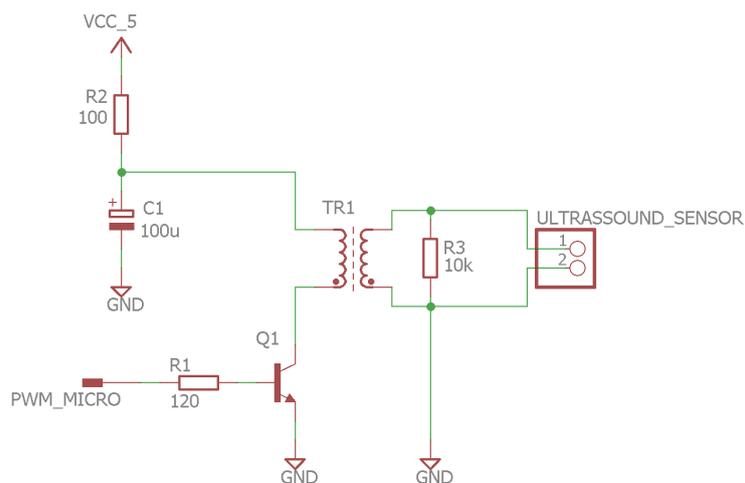


Figura 5.5: Circuito de emissão de ultrassons

Tabela 5.2: Características transístor MPSA06

Características	Condições	Valor
$V_{CE}(\text{sat.})$	$I_C=100\text{mA}$ , $I_B=10\text{mA}$	0.25V (max.)
$V_{BE}(\text{ON})$	$V_{CE}=1.0\text{V}$ , $I_C=100\text{mA}$	1.2V (max.)
$h_{FE}$	$V_{CE}=1.0\text{V}$ , $I_C=10\text{mA}$	100 (min.)
$h_{FE}$	$V_{CE}=1.0\text{V}$ , $I_C=100\text{mA}$	100 (min.)
$I_C$ (max)	Corrente continua	500mA

O *driver* foi projetado por forma a transformar o sinal vindo do microcontrolador num sinal com as características adequadas para excitar o transdutor de ultrassons. O circuito utilizado baseia-se num transformador de 1:10. O sinal proveniente do microcontrolador controla o transístor Q1 que vai funcionar na sua zona de corte e saturação, funcionando como um *switch*, que abre ou fecha o circuito entre o transformador (TR1) e a massa. A resistência R1 está presente para limitar a corrente de base do transístor e a resistência R2 para limitar a corrente no primário do transformador bem como a corrente entre o coletor e emissor do transístor. Quando o circuito está fechado a corrente flui no primário do transformador que acumula energia. Quando o circuito abre deixa de fluir corrente no enrolamento primário do transformador e a energia armazenada no transformador é libertada para a carga, gerando assim um sinal com amplitude suficiente para excitar o transdutor de ultrassons.

Para a implementar o circuito foi utilizado o transístor MPSA06 da *On Semiconductor* [55], um transístor bipolar de canal N. As suas características estão na tabela 5.2.

O transformador escolhido foi o K4000002 da *Prowave* [56] que tem uma relação de primário-secundário de 1:10, indutância variável e uma frequência de funcionamento de 40KHz.

## Amplificador

O sinal recebido pelo transdutor de ultrassons é um sinal atenuado em relação ao sinal emitido, sendo esta atenuação tanto maior quanto maior for a distância percorrida pelas ondas de ultrassons. Fatores como o ângulo de reflexão nos objetos, as características dos objetos refletoras e os ângulos de reflexão podem também aumentar a atenuação das ondas sonoras recebidas. A atenuação das ondas e a sensibilidade dos transdutores fazem com que os sinais elétricos correspondentes à receção de ultrassons sejam de amplitudes reduzidas, inferiores a 20 mV, sendo que a amplitude diminui com o aumento da distância. Visto isto, é conveniente amplificar o sinal recebido pelo transdutor. É também importante filtrar o sinal recebido, por forma a atenuar os efeitos de interferências aleatórias e de ruído, evitando leituras de ultrassons falsas que comprometem os resultados das distâncias medidas.

O circuito de amplificação e filtragem projetado pode ser visto na figura 5.6.

A resistência R1 e os díodos D1 e D2 são um circuito de proteção. Como é utilizado apenas um transdutor, o circuito de emissão está ligado ao circuito de receção. No circuito

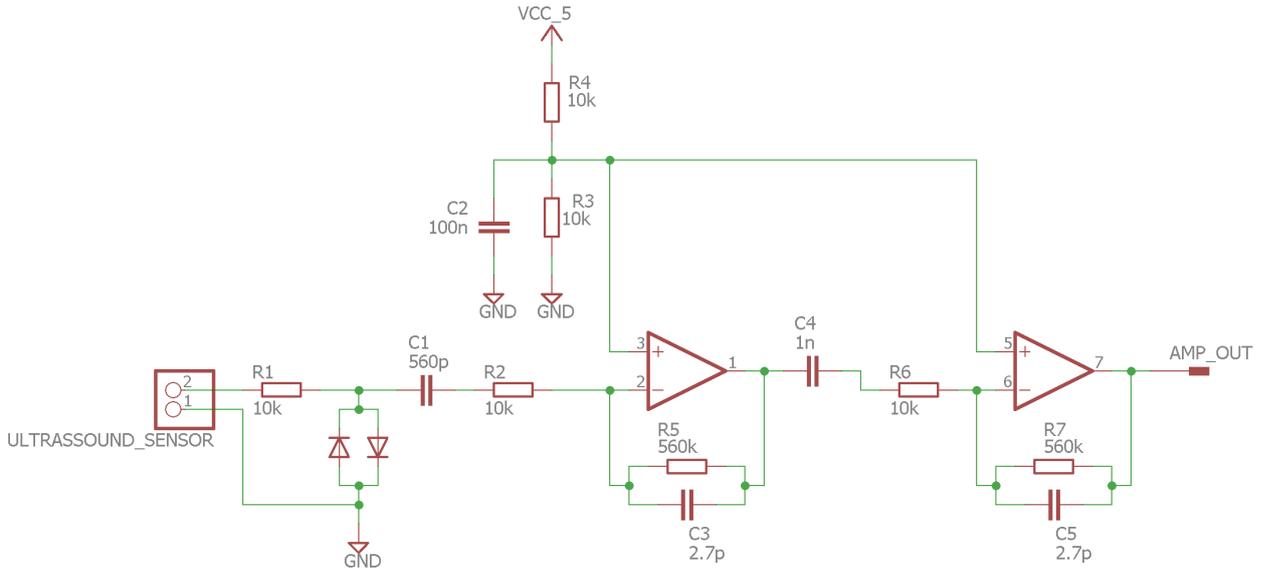


Figura 5.6: Circuito de amplificação e filtragem

de emissão são gerados sinais com amplitudes superiores a 100V pico-a-pico. Estas tensões têm o potencial de danificar os OP-Amp's do circuito de amplificação. Com a introdução do circuito de proteção, a tensão máxima aplicada na entrada do circuito de amplificação é de 2 V pico-a-pico. A resistência R1 limita a corrente nos díodos (1N4148 [57]) quando em condução, cerca de 15mA, o que está dentro dos limites indicados na folha de características.

O circuito de amplificação propriamente dito é constituído por dois OP-Amp's *rail-to-rail* em configuração inversora. Como se pretende um ganho total elevado optou-se por dividir o ganho por dois andares de amplificação reduzindo assim a exigência da resposta em frequência dos OP-Amp's utilizados bem como o produto ganho por largura de banda. Em cada andar de amplificação é ainda utilizado um filtro ativo passa-banda. O objetivo é amplificar o mais possível o sinal nas frequências próximas dos 40 KHz, por forma a ser possível detetar a receção de ondas de ultrassons, mesmo as mais atenuadas (que percorreram maiores distâncias) e atenuar o sinal em frequências afastadas dos 40 KHz por forma a evitar falsas deteções de receção de ultrassons. No primeiro amplificador o ganho é dado pela equação 5.1.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_5}{R_2 + R_1} = -\frac{560k}{10k + 10k} = -28 \quad (5.1)$$

As resistências R1, R2 e o condensador C1 definem a frequência de corte para a componente passa-alto (equação 5.2).

$$F_{c_{inf}} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_2 + R_1)} \approx 14.210kHz \quad (5.2)$$

A componente passa-baixo é realizada através da resistência R5 e do condensador C3. (equação 5.3).

$$F_{c_{sup}} = \frac{1}{2\pi R_5 C_3} \approx 105.261kHz \quad (5.3)$$

No segundo andar de ganho (implementado pelo segundo OP-AMP) o dimensionamento dos componentes foi feito por forma a implementar um filtro ativo com banda de passagem aproximadamente igual ao primeiro (equações 5.5 e 5.6) e com um ganho de -56 (equação 5.4).

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_7}{R_6} = -\frac{560k}{10k} = -56 \quad (5.4)$$

$$F_{c_{inf}} = \frac{1}{2\pi C_4 R_6} \approx 15.915kHz \quad (5.5)$$

$$F_{c_{sup}} = \frac{1}{2\pi R_7 C_5} \approx 105.261kHz \quad (5.6)$$

As resistências R4 e R3 estão presentes para gerar um sinal de referência aplicado na entrada positiva dos OP-AMP's para centrar o sinal a meio da tensão de alimentação (Vcc\_5). Esta parte do circuito é necessária, pois a alimentação é feita através de uma bateria que fornece uma alimentação mono-polar.

Para a implementação do circuito foram usados os OP-Amp's MCP6022 da *Microchip* [58], cujas principais características estão indicadas na tabela 5.3.

Tabela 5.3: Características OP-Amp's

Parameters	Conditions	Value
Supply Voltage (VDD)		2.5V(min.)-5.5V(max.)
Quiescent Current per Amp.	IO = 0	1mA (typ.)
Gain Bandwidth Product		10 MHz (typ.)
Slew Rate (SR)		7 V/ μs (typ.)
Settling Time, 0.2%	$G = 1V/V, V_{OUT} = 100mV_{p-p}$	250 ns (typ.)

## Detetor de pico

É importante saber qual a amplitude do sinal, pois é essa informação que permite avaliar se estão a ser recebidas ondas de ultrassons ou não. Para obter a amplitude do sinal é utilizado um detetor de pico (figura 5.7).

Os díodos usados foram mais uma vez os 1N4148, que apresentam quedas de tensão próximas de 0.7 V para correntes até 5 mA. O circuito apresenta por isso na sua saída a o valor da amplitude do sinal à entrada subtraído de aproximadamente 1.4 V. A resistência R1 está presente para o condensador C2 poder descarregar e apresenta um valor elevado para reduzir a tensão de *ripple*.

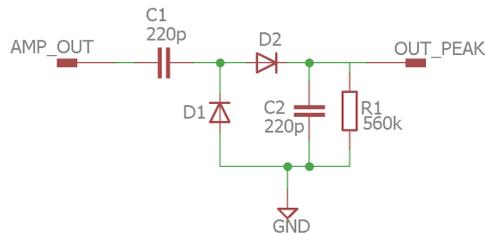


Figura 5.7: Circuito detetor de pico

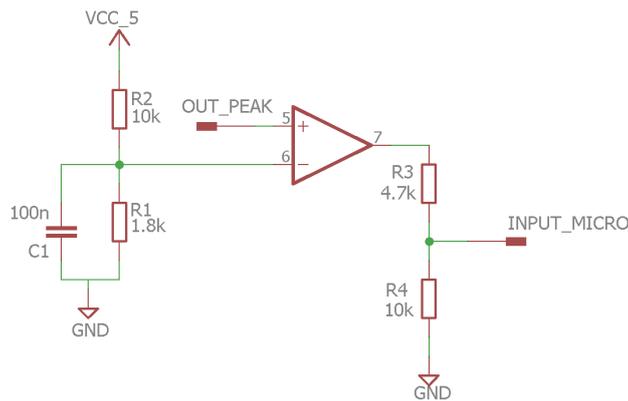


Figura 5.8: Circuito comparador

## Comparador

O comparador estabelece o limite de amplitude do sinal, a partir do qual é considerado que foi recebido o eco dos ultrassons. Transforma o sinal analógico que sai do detetor de pico (amplitude do sinal) num sinal digital (eco recebido, '1', ou eco não recebido '0'). O circuito comparador está representado na figura 5.8.

É utilizado um OP-AMP *rail-to-rail* em malha aberta para construir o circuito comparador. Na entrada positiva está o sinal que sai do detetor de pico e na entrada negativa está uma tensão de referência, gerada pelo divisor resistivo composto por R1 e R2. O divisor define a tensão a partir da qual é considerado que se recebeu o eco. Quando o sinal proveniente do detetor de pico é maior que a tensão de referência na entrada negativa é gerado na saída do OP-AMP a tensão correspondente ao *rail* superior, quando for menor que a tensão de referência, na saída do OP-AMP estará a tensão correspondente ao *rail* inferior.

A tensão de referência definida foi de 0.75 V. O valor foi determinado experimentalmente, tendo-se verificado que a amplitude que o ruído e as interferências provocam na saída do detetor de pico nunca ultrapassam esse valor evitando-se assim falsos positivos.

Na saída do comparador o sinal é já digital. No entanto as tensões neste ponto não são compatíveis com as tensões dos pinos digitais do microcontrolador, ao qual é preciso fazer chegar a informação da receção do eco dos ultrassons. Como tal é preciso, mais uma vez, utilizar um divisor resistivo que converta a tensão do sinal lógico '1' que é à saída

do comparador de 5V para a tensão do estado lógico '1' do microcontrolador de 3.3 V. O divisor resistivo é composto pelas resistências R3 e R4.

### 5.1.4 Acelerómetro

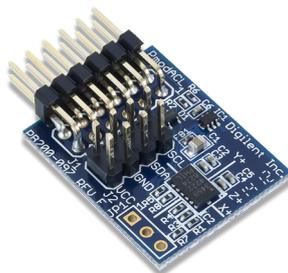


Figura 5.9: Acelerómetro ADXL e placa de desenvolvimento [11]

O acelerómetro escolhido foi o ADXL345 da Analog Devices [59] (figura 5.9). É importante referir que neste projeto o acelerómetro utilizado vem encapsulado numa placa de desenvolvimento da Digilent. As Principais características do acelerómetro são as seguintes:

- Medição da aceleração em 3 eixos ortogonais.
- Medição de aceleração estática e dinâmica. Detecção de toque, duplo toque e queda livre.
- Geração de interrupções.
- Baixo consumo (23  $\mu$ A para um frequência de 0.78 Hz). Modos de poupança de energia e *stand-by*.
- Gama de medição (+-2 g até +-16 g), resolução de 10 bit a 13 bit e frequência de funcionamento escolhidas pelo utilizador através da comunicação serie.
- Interface de comunicação digital, I2C ou SPI (3 e 4 fios).
- Gama de temperatura de funcionamento larga (-40<sup>o</sup>C a 85<sup>o</sup>C).

O principal motivos da escolha, para além do baixo consumo e preço, foram a possibilidade de comunicação série por I2C ou SPI que tornam a interface com o sensor mais simples e sem necessidade de implementar hardware adicional.



Figura 5.10: Transdutor sonoro [12]

### 5.1.5 Estímulos Sonoros

Os estímulos sonoros são aplicados através de um transdutor sonoro. Para a construção do prototipo foi utilizado o ABT-414-RC da PRO-SIGNAL [60] (figura 5.10). Características do ABT-414-RC:

- Tensão de funcionamento de 3 até 8 V pico-a-pico;
- Corrente nominal (para uma tensão de 6 V) de 50mA;
- Frequência de ressonância de 2400 Hz;
- Temperatura de funcionamento de  $-30^{\circ}\text{C}$  até  $70^{\circ}\text{C}$ .

Para produzir o estímulo sonoro é preciso aplicar no transdutor um sinal de 2400Hz com uma amplitude pico-a-pico de 3V a 8V. Para gerar o sinal é usado um pino digital do microcontrolador. A tensão nos pinos digitais do microcontrolador é de 3.3V para '1' e de 0V para '0' uma tensão compatível com as tensões de funcionamento do transdutor sonoro. No entanto o microcontrolador é incapaz de fornecer os 50mA requeridos pelo transdutor, pelo que foi implementado o *driver* da figura 5.11.

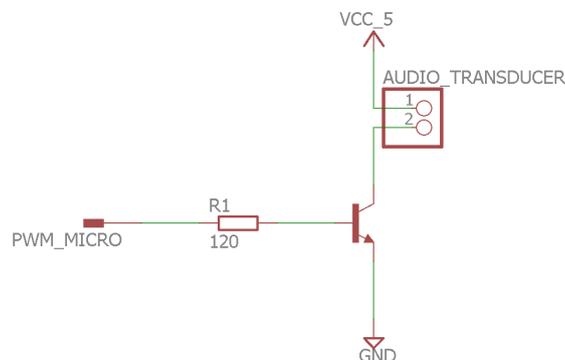


Figura 5.11: Interface ao transdutor sonoro

Foi mais uma vez utilizado o transistor MPSA06 para funcionar como *switch* entre o transdutor e a massa, sendo que o transdutor está também ligado à alimentação de 5 V. A resistência está presente para polarizar o transistor.

### 5.1.6 Estímulos Elétricos

Para gerar e aplicar os estímulos elétricos é utilizado o módulo TW-DC-DP da Ti-anwang. Na descrição do módulo é dito que tensão de alimentação tem de ser superior a 2.8 V apresentando uma tensão na saída de 7 kV. A informação fornecida pelo fabricante do módulo é escassa e para se poder dimensionar os circuitos foram desenvolvidos testes experimentais de modo determinar características essenciais para o tal dimensionamento. Verificou-se que quando alimentado com uma tensão de 5 V a sua corrente média é de 355 mA e uma corrente máxima de 604 mA.

O módulo é alimentado a 5 V. O microcontrolador controla quando o módulo está ligado ou desligado através de um pino digital ligado a um transistor, que funciona como interruptor. O circuito pode ser visto na figura 5.12

Para implementar o interruptor foi usado o transistor TN0702 da *Supertex inc.* [61], um DMOS FET de canal N. Apresenta um  $V_{GS(th)}$  máximo de 1 V e uma corrente máxima de dreno de 1 A.

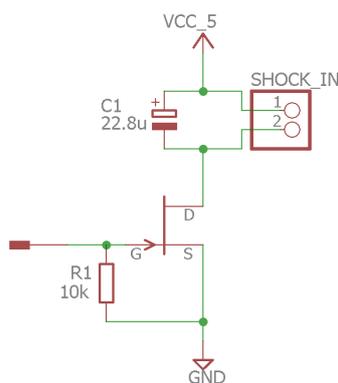


Figura 5.12: Circuito choques

### 5.1.7 PCB

Como foi referido, um dos objetivos do trabalho é a construção de um protótipo que permita testar o sistema no terreno, isto é, ter um dispositivo portátil e acoplável aos animais que permita tirar conclusões em relação ao funcionamento do sistema em situações reais. Para a construção do protótipo é importante ter todos os módulos integrados na mesma placa e foi por isso desenhada e desenvolvida um PCB.

A PCB foi desenhada na ferramenta *EAGLE* da *AUTODESK*. Para além de integrar todos os módulos descritos nesta secção a PCB deve ainda ter:

- Interface que permita a programação do microcontrolador;
- Interface que permita comunicação série com outros dispositivos;
- Botão de *reset*;
- Power LED;
- Mais um botão e LED programáveis;

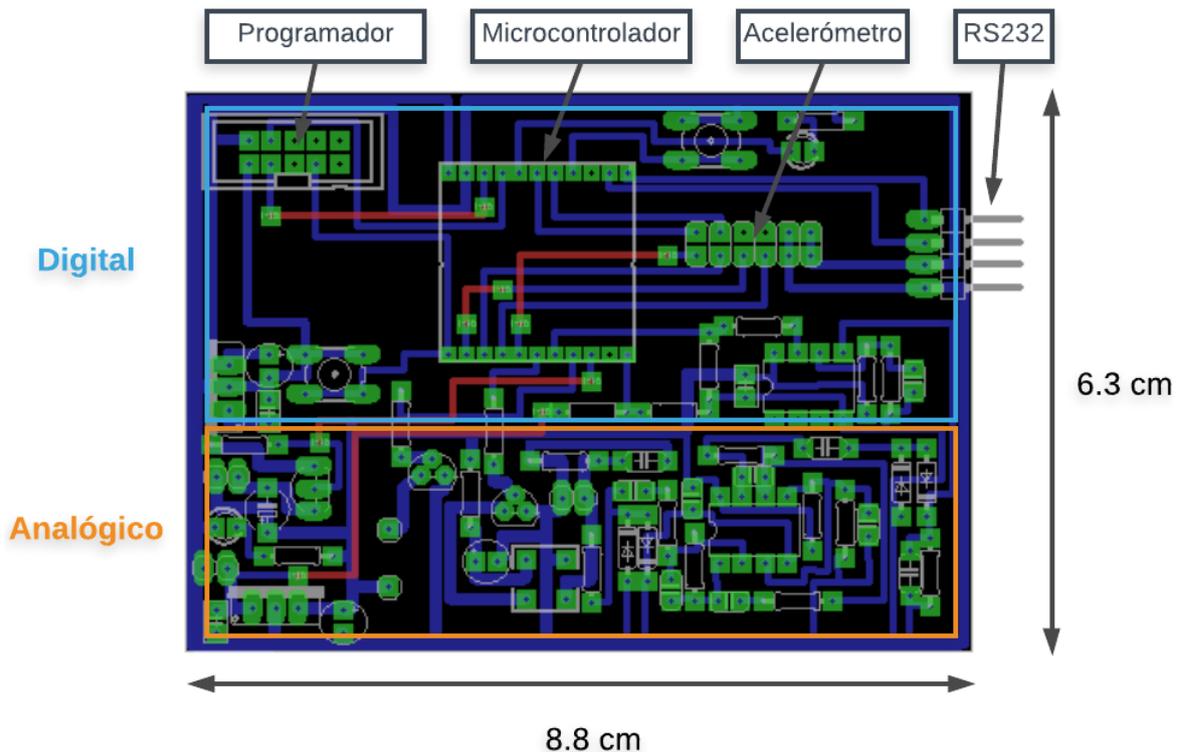


Figura 5.13: Desenho PCB

Por ser um protótipo inicial, apenas para testar o comportamento do sistema no terreno, optou-se por usar componentes com *packages through hole* pois apesar de apresentarem normalmente dimensões maiores quando comparados por exemplo com *packages surface-mount*, facilitam o processo de *assembly* e tornam mais fácil a substituição de componentes, aspeto importante quando se trata de prototipagem. É ainda importante referir que se optou por usar as placas de desenvolvimento do acelerómetro e do microcontrolador soldando apenas na PCB *sockets* que permitam que estas placas de desenvolvimento encaixem na PCB desenvolvida. Mais uma vez em detrimento de uma PCB de menores dimensões, aumentou-se a facilidade do processo de *assembly* e de substituição, neste caso do acelerómetro e do microcontrolador.

No desenho da PCB foram tidos em conta os seguintes aspetos:

- Desenhar a PCB com as dimensões mais reduzidas que for possível;
- Circuitos analógicos separados dos circuitos digitais e do circuito de alimentação;
- Pistas de maior grossura, para partes do circuito com correntes mais elevadas;
- Pistas de massa e de alimentação o mais diretas que for possível;

O desenho final da PCB pode ser visto no figura 5.13.

## 5.2 Firmware

A presente secção descreve o *firmware* desenvolvido para o microcontrolador integrado nas coleiras, com exceção da parte do *firmware* relacionado com o protocolo de comunicação da rede de sensores, que sai fora do âmbito desta dissertação.

O *firmware* foi desenvolvido no *IAR Embedded Workbench* da *IAR Systems* por ser o IDE recomendado pelo fabricante do microcontrolador, *Texas Instruments*. Foi utilizada a linguagem C, sendo uma das principais razões o facto da *Texas Instruments* fornecer o código exemplo e bibliotecas para este microcontrolador nesta linguagem. A programação da memória flash dos micro-controladores é feita através do programador SMARTRF04EB e com o software *Smartrf Flash Programmer*, ambos da *Texas Instruments*.

Nesta dissertação o trabalho desenvolvido a nível de *firmware*, foi a criação de funções para ativar os sensores e os atuadores. Estas funções são chamadas pela máquina de estados que implementa o protocolo de comunicação, uma vez que é responsabilidade deste decidir quando a coleira está em modo de poupança de energia (stand-by) ou em modo de leitura dos sensores/aplicação de estímulos, dependendo dos valores lidos pelos sensores.

Antes de desenvolver o *firmware* para as funções de medição de distâncias, ângulos e aplicação de estímulos, foi necessário fazer o levantamento dos recursos que cada tarefa exige do microcontrolador, nomeadamente a nível de módulos e pinos I/O usados, e fazer as respetivas configurações.

### 5.2.1 Ultrassons

A medição da distância através do sensor de ultrassons utiliza os seguintes módulos e pinos do microcontrolador:

- Dois *timers*;
- Um pino de entrada digital, capaz de gerar interrupções;
- Um pino de saída digital.

Um dos *timers* é utilizado para gerar o sinal PWM de 40 kHz, que vai excitar o sensor de ultrassons. O sinal de PWM é aplicado através do pino de saída digital anteriormente mencionado e representado na figura 5.5, com o nome PWM\_MICRO. O outro *timer* é

utilizado para contar o tempo de viagem das ondas sonoras. A resolução deste *timer* e a frequência de *tick* dos timers define a resolução máxima da medição de distâncias, sendo essa resolução igual ao produto entre a metade do tempo que passa entre cada *tick* do *timer* ( $t_{tick}$ ), pela velocidade de propagação do som no ar ( $c$ ), como indicado na equação 5.7.

$$Max_{res} = \frac{t_{tick}}{2} * c \quad (5.7)$$

O microcontrolador possui três timers de 8 bit, embora apenas dois deles estejam disponíveis para serem programados, e um timer de 16 bit. Idealmente e para obter a maior resolução possível, o timer a utilizar seria o de 16 bit. No entanto este timer é usado pelo protocolo de comunicação e, como tal, está indisponível. É usado um dos timers de 8 bit disponíveis. A frequência de *tick* dos timers pode ser programada. É utilizada uma frequência de *tick* de 1.625 MHz, condição imposta pelas necessidades do protocolo de comunicação das coleiras. Utilizando este valor na equação 5.7 obtemos o valor de resolução de aproximadamente 0.1 mm, valor muito abaixo da resolução mínima requerida, que era de 5 cm. Contudo a distância máxima que pode ser medida também depende da frequência de *tick* dos *timers* de acordo com a equação 5.8

$$Max_{dist} = \frac{t_{tick}}{2} * c * (2^{T_{res}} - 1) \quad (5.8)$$

em que  $T_{res}$  é a resolução do *timer*. Com o frequência de *tick* dos *timers* a 1.625 MHz e como a resolução dos *timers* disponíveis é de 8bit, a distância máxima que é possível medir é de aproximadamente 2.7 cm, um valor muito inferior ao desejado. Para resolver o problema o *timer* foi configurado com um *pre-scaler* de 4, obtendo-se assim uma resolução máxima de aproximadamente 0.4mm e uma distância máxima de aproximadamente 10.7 cm. Como a distância máxima fica ainda a baixo do necessário (80 cm) foi implementado um contador baseado no overflow do *timer*. Assim, sempre que o contador do *timer* atinge o valor máximo, o contador de *overflows* incrementa e o *timer* recomeça a contagem. Consegue-se assim manter uma resolução de 0.4 mm enquanto aumentamos a distância máxima de medição. A distância máxima medida passa a ser o valor dado pela equação 5.8 multiplicado pelo número máximo que o contador de overflows consegue contar. No caso foi utilizado um contador de 8 bits pelo que o número máximo que consegue contar é 255, logo, no que concerne ao *firmware*, a distância máxima que se consegue medir passa a ser de 27m, bastante acima da especificação.

O pino de entrada digital (INPUT\_PIN\_MICRO) está ligado à saída do circuito comparador representado na figura 5.8 e gera interrupções quando a saída do comparador passa do valor lógico '0' para '1' (o que significa receção das ondas sonoras pelo sensor de ultrassons).

Quando a função para medir distâncias é chamada, dá-se início à sequência descrita pelo fluxograma da figura 5.14. É ativado o *tick* responsável por gerar o sinal de PWM a 40 kHz. O *timer* é configurado previamente para funcionar a uma frequência de 80 kHz e para fazer o *toggle* no valor lógico do pino de saída que lhe está associado, sempre que ocorra um *overflow* no seu contador. Sempre que ocorre um *overflow* no *timer* responsável por gerar

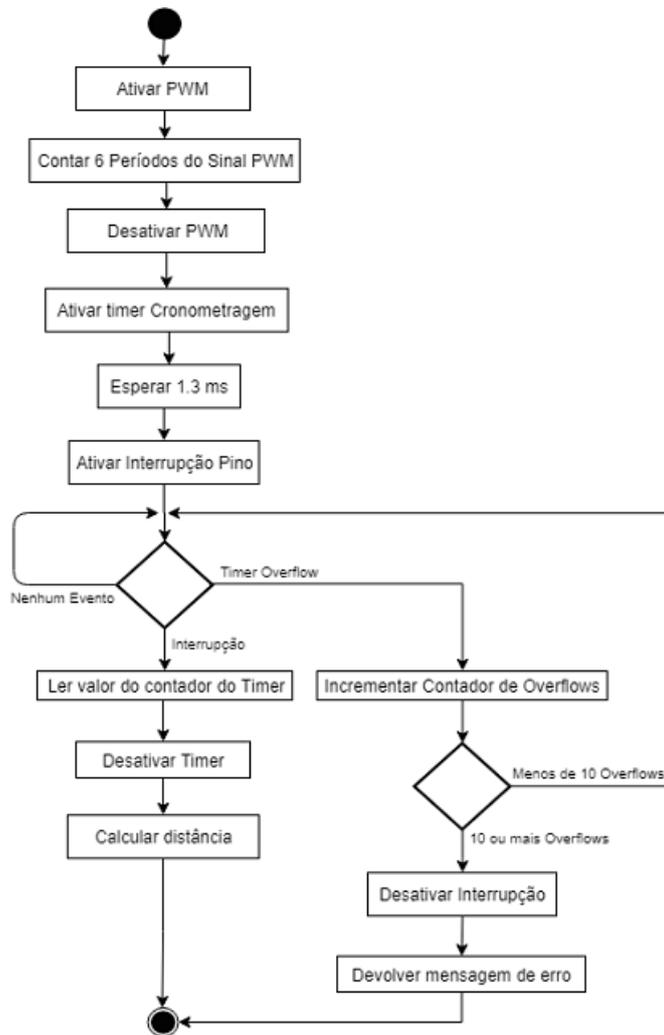


Figura 5.14: Fluxograma medição da distância

o sinal PWM é incrementado um contador. Após doze *overflows* o *timer* é desativado e como tal é também desativado o PWM. São assim gerados seis impulsos a uma frequência de 40 kHz. Logo a seguir à desativação do *timer* responsável por gerar o sinal de PWM, é ativado o *timer* que vai cronometrar o tempo de viagem das ondas sonoras. Antes de ativar as interrupções no pino de entrada é necessário esperar 1.3ms para que o valor na saída do comparador ligado ao pino estabilize. Após os 1.3ms as interrupções no pino são ativadas. A partir daqui o sistema fica à espera de um de dois eventos: ou interrupção gerada pelo pino (assinalando a receção das ondas sonoras) ou do *overflow* do contador do *timer*. Se ocorrer a interrupção gerada pelo pino, o *timer* de cronometragem é desativado e o valor do seu contador é lido. Com o valor lido é calculada a distância. Se ocorrer o *overflow* do contador do *timer*, é incrementado um contador de *overflows* do *timer* de cronometragem e é verificado se já ocorreram mais de 10 *overflows* ou menos de 10 *overflows*. Se já ocorreram mais de 10 *overflows* as interrupções no pino são desativadas e é devolvida uma

mensagem de erro. Se ainda não tiverem ocorrido 10 *overflows* o sistema volta para o estado em que está à espera que ocorra a interrupção do pino ou o *overflows* do *timer* de cronometragem. Na figura 5.15 está representado o diagrama temporal dos sinais digitais nos pinos do microcontrolador utilizados na medida de distâncias.

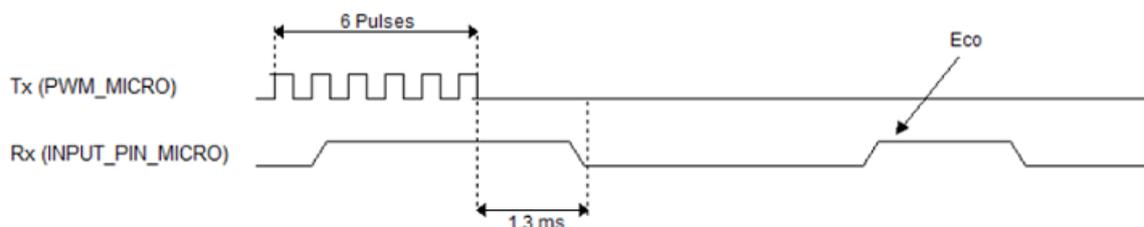


Figura 5.15: Diagrama temporal de uma leitura de distância

## 5.2.2 Acelerómetro

A comunicação com o acelerómetro é feita através de SPI com uma frequência de relógio de 2.4 kHz. É primeiramente feita a configuração inicial do acelerómetro escrevendo nos seus registos específicos de configuração. É configurado para funcionar a uma frequência de 0.78 Hz, em modo *full range* ( $\pm 16g$ ), com uma resolução de 13bits e uma sensibilidade de 4 mg/LSB.

Sempre que é necessário fazer uma leitura do ângulo de inclinação, é lido o valor de aceleração nos três eixos do acelerómetro. Para isso foi desenvolvida uma função que comunica com o acelerómetro por SPI e lê os valores nos registos que correspondem à aceleração de cada eixo.

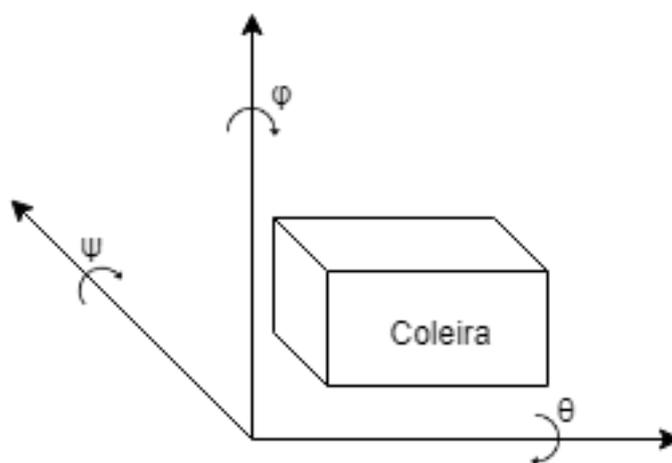


Figura 5.16: Ângulos de rotação

Para calcular a inclinação da coleira através dos valores lido pelo acelerómetro recorreu-se a uma *application note* da Freescale Semiconductor [62]. Nesta *application note* é fornecida

a fórmula (equação 5.9) que permite calcular os três ângulos de rotação representados na figura 5.16.

Como para o sistema desenvolvido apenas se pretende estimar se a ovelha tem o pescoço levantado ou não, é apenas necessário calcular o ângulo  $\theta$ , ou também referido como *pitch*. O cálculo do ângulo de rotação  $\theta$  é feito através da equação 5.9, onde  $G_{px}$ ,  $G_{py}$ ,  $G_{pz}$  são os valores de aceleração lidos pelo acelerómetro no eixo x, y e z respetivamente.

$$\tan\theta_{xyz} = \frac{-G_{px}}{\sqrt{G_{py}^2 + G_{pz}^2}} \quad (5.9)$$

### 5.2.3 Estímulos

#### Sonoro

Como foi referido na secção de hardware para produzir os estímulos sonoros a partir do transdutor selecionado, é preciso aplicar um sinal com uma frequência próxima da frequência de ressonância do transdutor (2400Hz). Para aplicar este sinal vão ser usados os seguintes recursos do microcontrolador:

- Um *timer*;
- Um pino de saída digital associado ao timer.

O timer é necessário para gerar o sinal PWM no pino de saída digital. Este pino de saída vai estar ligado ao ponto PWM\_MICRO da figura 5.10.

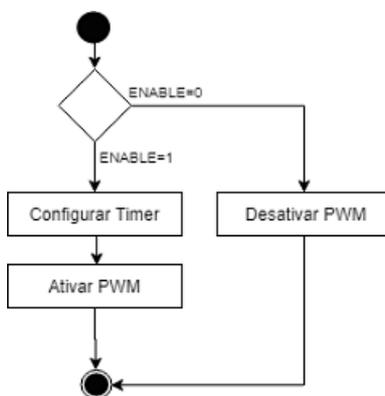


Figura 5.17: Fluxograma da aplicação de estímulos sonoros

O *firmware* foi desenvolvido por forma a que sempre que for necessário aplicar um estímulo sonoro apenas seja preciso chamar um função que tem como parâmetros de entrada a frequência e o *duty cycle* do sinal a ser aplicado no transdutor, facilitando assim aplicação de estímulos sonoros de diferentes frequências e intensidades. A função tem um terceiro parâmetro de entrada, uma *flag* (ENABLE). Quando é igual a 1 os estímulos sonoros são ativados, quando é 0 os estímulos são desativados, como pode ser visto no fluxograma da figura 5.17.

## Elétrico

No caso dos estímulos elétricos, o *firmware* desenvolvido é apenas uma função que liga/-desliga o módulo dos estímulos elétricos, fluxograma da figura 5.18. Tem como parâmetro de entrada uma *flag* (ENABLE). Como pode ser visto na secção de *hardware* o módulo de estímulos elétricos escolhido gera uma tensão de 7 kV sempre que é alimentado por uma tensão DC superior a 2.8 V. O hardware está desenvolvido de maneira a que o módulo possa ser ligado/desligado da alimentação através de um pino digital do microcontrolador.

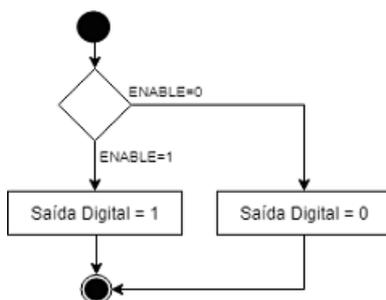


Figura 5.18: Fluxograma da aplicação de estímulos elétricos



# Capítulo 6

## Resultados e Análise

Nesta secção são apresentados e analisados os resultados dos testes experimentais feitos ao sistema. Numa primeira parte serão recolhidos dados relativos às distâncias ao solo e ângulo de inclinação do pescoço das ovelhas para os vários comportamentos da ovelha durante o pasto. São depois apresentados os resultados dos testes feitos aos sensores, analisando o seu desempenho no contexto do sistema que se pretende desenvolver.

### 6.1 Postura das ovelhas

Para se poder definir os limites de decisão de aplicação de estímulos nas ovelhas a partir dos valores lidos pelos sensores, é preciso estudar o comportamento das ovelhas e registar os valores de altura do pescoço e inclinação do pescoço para as diferentes ações feitas pela ovelha. Para isso foram observadas ovelhas no pasto e foram registadas em fotografia as posturas tomadas pelas mesmas para os seus diferentes comportamentos. A altura do pescoço é estimada através das fotografias sabendo que a altura do dorso da ovelha é de sensivelmente 80cm.

Das várias posturas que podem ser adotadas pelas ovelhas as de maior interesse e que permitem tirar conclusões para a definição de limites de altura e inclinação são:

- Ovelha a caminhar;
- Ovelha parada;
- Ovelha a alimentar-se de vegetação rasteira;
- Ovelha a alimentar-se de ramos altos.

Quando a ovelha está a caminhar (figura 6.1) a altura do seu pescoço é de cerca de 55cm e a inclinação em relação ao solo de aproximadamente  $0^{\circ}$ . Quando a ovelha apresenta este comportamento não põe em perigo as culturas que se pretende proteger com o sistema desenvolvido e como tal quando valores próximos dos registados são lidos pelos sensores não deve ser tomada nenhuma medida para corrigir o seu comportamento.



Figura 6.1: Ovelha a caminhar

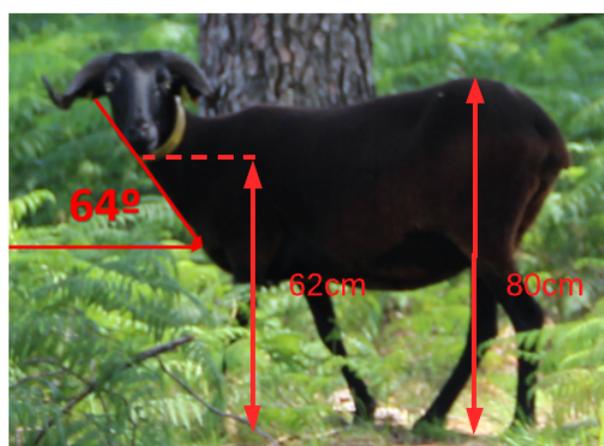


Figura 6.2: Ovelha parada

Na figura 6.2 está registada a postura de uma ovelha parada, ou seja, sem estar a caminhar nem a pastar, podendo observar-se na mesma figura que foi registado para este comportamento uma altura do pescoço de aproximadamente 62 cm e um ângulo de inclinação do pescoço de  $64^{\circ}$ . Embora a ovelha com este comportamento não seja uma ameaça para as culturas, a altura da sua cabeça fica ao nível de algumas culturas que se pretende proteger, no caso das vinhas essa altura é tipicamente de 60 cm. Por isso é considerado que quando os sensores registarem valores próximos dos registados nesta fotografia a ovelha está no limite de transgressão, não recebendo no entanto qualquer estímulo.

No caso da ovelha se estar a alimentar de vegetação rasteira (6.3) apresenta valores de altura do pescoço a rondar os 26 cm e ângulos de inclinação próximos dos  $46^{\circ}$ . Nesta posição a ovelha está a ter o comportamento desejado, ou seja, a alimentar-se da vegetação rasteira que representa a vegetação infestante nas culturas onde se pretende usar o sistema desenvolvido. Por conseguinte não é aplicado qualquer estímulo às ovelhas quando os valores lidos dos sensores se aproximam aos registados nesta figura.

Na figura 6.4 podemos observar um exemplo de uma ovelha a alimentar-se de vegetação

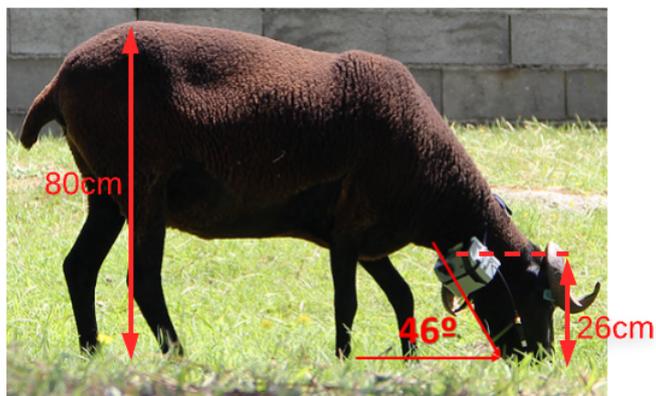


Figura 6.3: Ovelha a alimentar-se de vegetação rasteira

alta, o comportamento indesejado e que se pretende corrigir. Neste exemplo a cabeça da ovelha apresenta uma altura de cerca de 83 cm e uma inclinação do pescoço próxima dos  $82^{\circ}$ . Qualquer valor lido dos sensores próximo dos registados nesta figura, ou mais elevados devem desencadear a aplicação de estímulos para as ovelhas, de modo a que estas corrijam o seu comportamento.

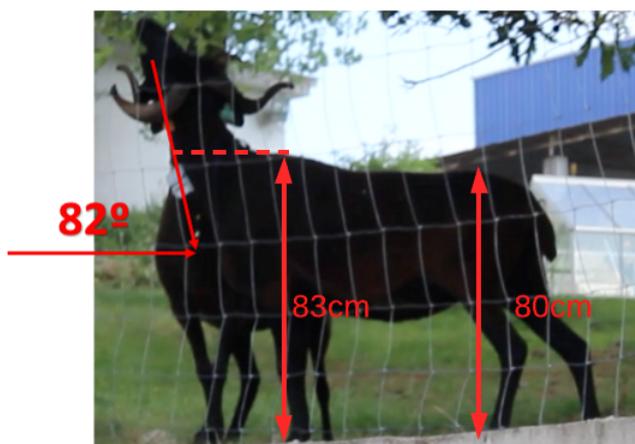


Figura 6.4: Ovelha a alimentar-se de ramos altos

## 6.2 Ultrassons

É pretendido que o sensor de ultrassons seja capaz de medir a distância desde o pescoço dos animais até ao chão. A medida é utilizada para determinar se a altura do pescoço do animal está dentro dos limites definidos. O sistema pretende ensinar as ovelhas alimentarem-se apenas de vegetação rasteira evitando que ataquem a vegetação mais alta que se pretende proteger. Como tal o importante é definir limiares de altura do pescoço e que o sensor de ultrassons seja capaz de medir essas alturas com resolução, exatidão

precisão suficientes para evitar erros de avaliação. Como vai ser utilizado em ovelhas, e analisando os dados recolhidos na secção anterior, definiu-se uma gama de medição de alturas de [25:90] cm.

Para avaliar o desempenho do sensor foram realizados dois testes. Um dos testes tem o objetivo de determinar erros e incertezas nas medições dentro da gama [25:90] cm. O outro teste pretende determinar o ângulo máximo de medição em função da distância.

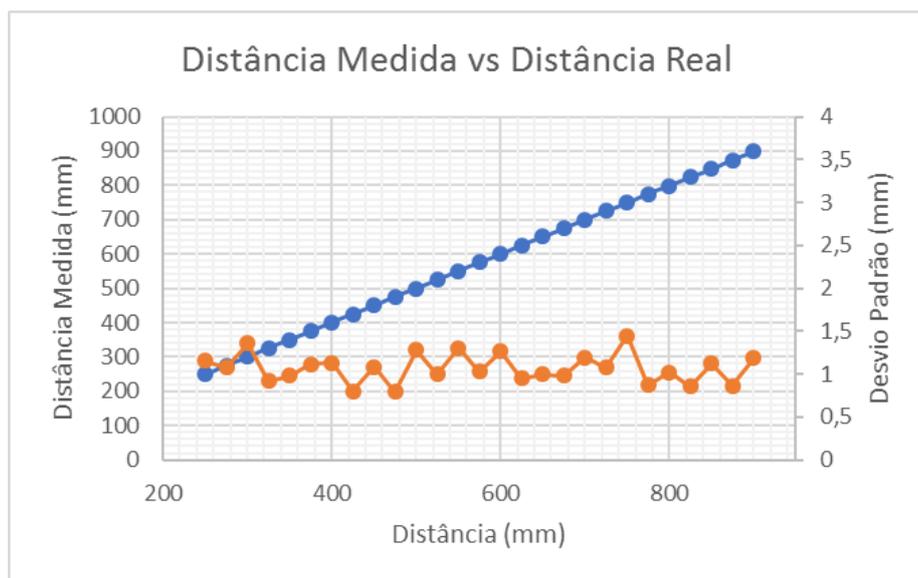
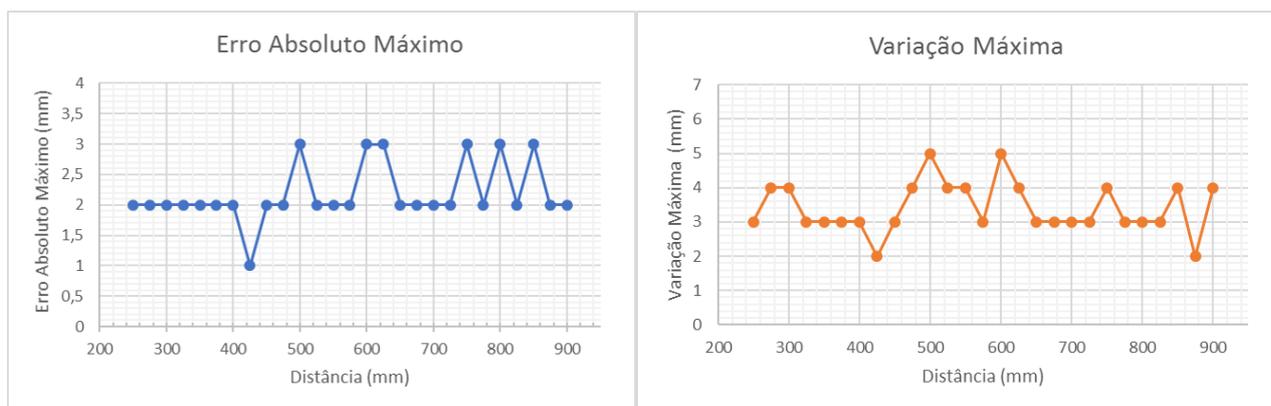


Figura 6.5: Gráfico da distância medida em função da distância real



(a) Gráfico Erro Absoluto Máximo

(b) Gráfico Variação Máxima de Valores Medidos

Figura 6.6: Testes ao sensor de distância

No primeiro teste o sensor de ultrassons foi colocado a apontar diretamente para um obstáculo colocado a uma distância conhecida, utilizando para isso uma fita métrica com um resolução de 0.5mm, e foram feitas 100 medições registrando-se os valores obtidos. O

procedimento foi feito inicialmente a uma distância de 25 cm e foi repetido aumentando a distância em 2.5 cm até se atingir os 90 cm. O procedimento foi repetido dez vezes.

No gráfico da figura 6.5, é apresentada a média dos valores medidos e o respetivo desvio padrão em função da distância. Na figura 6.6 são apresentados dois gráficos, do erro absoluto máximo (6.6a) e da variação máxima (6.6b).

Verificou-se que a variação de 2.5cm da distância do sensor em relação ao obstáculo ao qual se pretende medir a distância, provocou sempre uma alteração no valor medido pelo sensor de distância, verificando-se assim que este apresenta uma resolução de pelo menos 2.5cm.

Pode ser observado no gráfico 6.5 que o sensor de ultrassons apresenta um comportamento linear com a variação da distância dentro da gama de medição. Verifica-se uma diferença entre a média dos valores medidos e a distância real sempre menor a 1mm. Verifica-se ainda um desvio padrão máximo de 1.5 mm nas medições efetuadas. A principal razão para a flutuação observada no valor do desvio padrão ao longo da gama de medição, ainda que pequena, deve-se aos erros introduzidos pelo processo experimental, nomeadamente o erro da colocação do sensor na distância de referência e pela resolução do instrumento de medida que determina essa mesma distância (fita métrica com resolução de 0.5mm).

Nos gráficos da figura 6.6, em particular no 6.6 verifica-se que o máximo erro absoluto registado nas medições foi de 3 mm. Embora esse erro máximo varie ao longo da distância mantém-se sempre entre 1 e 3 mm. O maior erro relativo registado foi de 0.8% (no início da gama) e o menor de 0.2% (no fim da gama).

No gráfico da figura (6.6b) pode observar-se que as variações máximas são de 5mm no valor da distância estimada pelo sensor quando se mantém o sensor à mesma distância.

Analisando os resultados do ponto de vista estatístico e probabilístico, tendo em conta que os resultados das medições para cada distância apresentam a forma de uma distribuição normal, pode-se através do valor da média e do desvio padrão determinar a incerteza das medições do sensor. Sabe-se que para uma distribuição normal a probabilidade de um valor estar entre menos 3 desvios padrão e mais três desvios padrão em relação à média é de 99.7% [63]. Nos resultados obtidos das medições o pior caso do desvio padrão é, como já foi referido, de 1.5mm. Como tal pode-se afirmar que em 99.7% dos casos o valor medido pelo sensor está no intervalo  $[\mu + 4.5mm ; \mu - 4.5mm]$  onde  $\mu$  é o valor da média. Das medições feitas também se observou que o maior erro registado no valor da média em relação ao valor de referência foi de 1mm, logo, no pior caso o valor medido pelo sensor está afastado do valor real da distância em  $\pm 5.5mm$ .

No segundo teste, com o sensor de ultrassons inicialmente colocado a apontar diretamente para um obstáculo, foi-se variando o ângulo de inclinação do sensor em relação ao objeto para determinar qual o ângulo máximo para o qual o objeto é identificado pelo sensor. A experiência foi repetida para varios valores de distância dentro da gama de interesse.

Na figura 6.7 estão representados os resultados das medições efetuadas. Observa-se uma diminuição da abertura máxima do ângulo de medida quando a distância aumenta e um ângulo máximo de abertura de  $\pm 40^\circ$ .

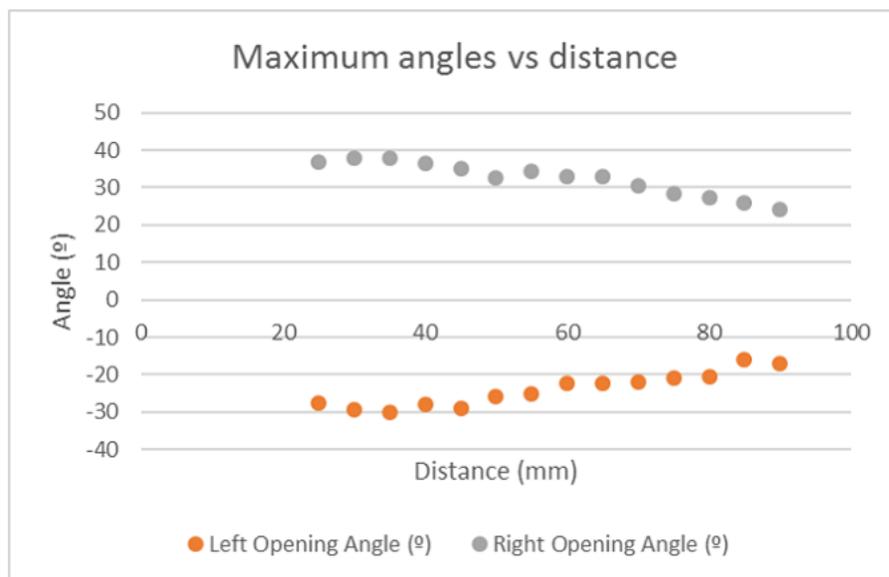


Figura 6.7: Ângulo máximo de medida em função da distância

### 6.3 Acelerometro

O acelerómetro é o sensor responsável por medir o ângulo de inclinação da cabeça dos animais. Tal como na medição da distância ao chão desde o pescoço do animal, também aqui é definido um limite de inclinação da cabeça a partir do qual o animal está a cometer um infração e como tal sujeito aos estímulos. Neste caso a gama de interesse da medição dos ângulos é  $[0:90]$  graus.

De modo a avaliar o desempenho do acelerómetro na medição da inclinação foi executada uma experiência. A experiência consistiu em colocar o acelerómetro com uma certa inclinação do seu eixo X em relação ao solo, medida por um transferidor com resolução de  $0.5^\circ$ , e fazer 25 estimativas da inclinação registando os valores obtidos. A experiência foi feita para toda a gama  $[0:90]$  graus, com intervalos de  $5^\circ$ . O procedimento foi repetido dez vezes.

No gráfico da figura 6.8, é apresentada a média dos valores medidos e o respetivo desvio padrão em função da inclinação. Na figura 6.9 são apresentados dois gráficos, do erro absoluto máximo (6.9a) e da variação máxima (6.9b).

A experiência realizada, particularmente as variações de  $5^\circ$  na inclinação do acelerómetro, permitiu verificar que o sensor de inclinação apresenta uma resolução de pelo menos  $5^\circ$  uma vez que se observou alteração na saída sempre que se alterou a inclinação.

No gráfico da figura 6.8 pode ver-se que o sensor apresenta uma resposta linear dentro da gama de medição, verificando-se no entanto um ligeiro desvio desse comportamento no fim da gama. O valor médio das medições efetuadas em cada ponto apresenta um erro máximo de  $2^\circ$ . Observa-se ainda um desvio padrão máximo de  $0.75^\circ$  a variar entre  $0.3^\circ$  e  $0.75^\circ$  ao longo da gama de medição. Também aqui é importante referir que, contribuem para o erro e para as variações nas medidas, fatores como o erro de observação no processo

de medida do ângulo de inclinação do sensor e a resolução do instrumento de medida usado para medir esse mesmo ângulo (transferidor com resolução de  $0.5^\circ$ )

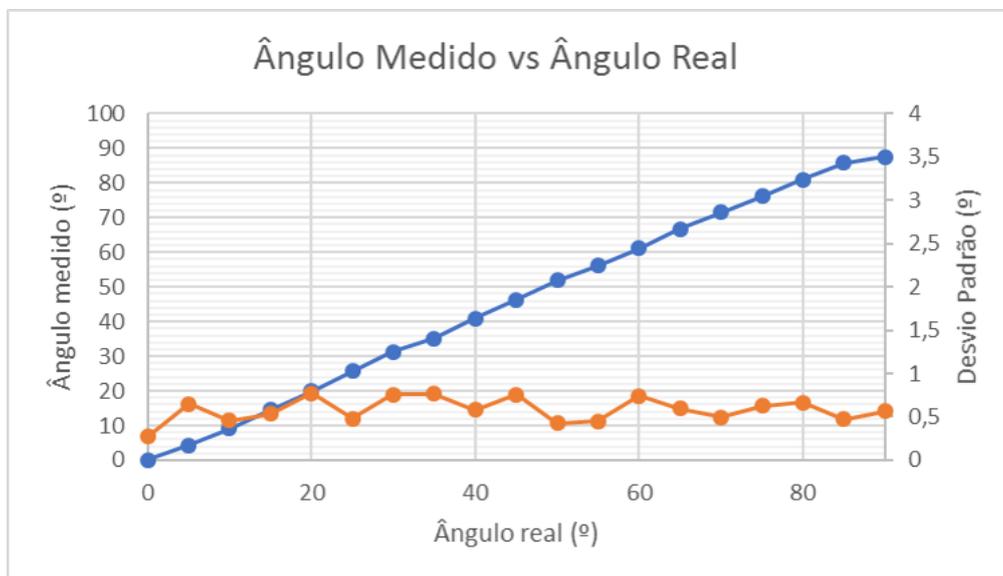
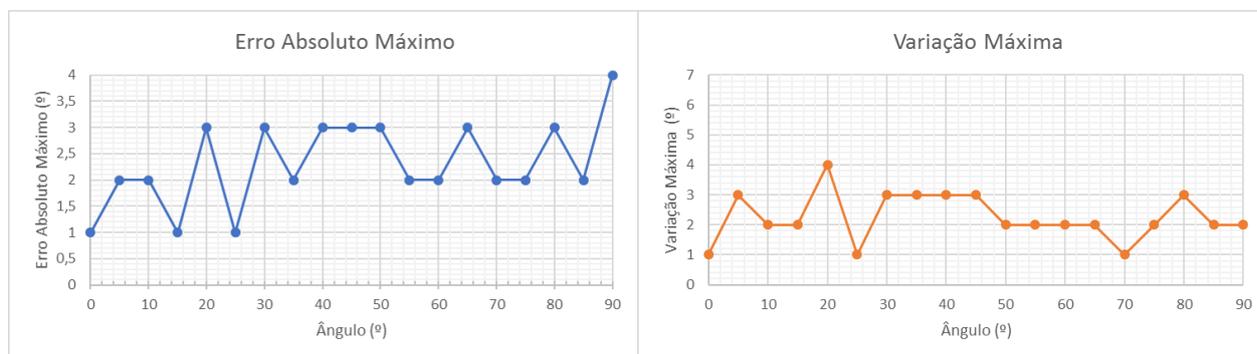


Figura 6.8: Ângulo medido em função do ângulo real



(a) Gráfico Erro Absoluto Máximo

(b) Gráfico Variação Máxima de Valores Medidos

Figura 6.9: Testes ao sensor de inclinação

O maior erro absoluto registado nas medições feitas foi de  $4^\circ$ , registando-se apenas quando o ângulo de inclinação era de  $90^\circ$ . Nas restantes medições efetuadas o erro absoluto nunca ultrapassou os  $3^\circ$ , o que pode ser verificado no gráfico 6.9a).

Através do gráfico (6.9b) verifica-se que a variação máxima das medições efetuadas para um valor de inclinação fixo é de  $4^\circ$ .

Fazendo também aqui uma análise do ponto de vista estatístico e probabilístico, determinou-se a incerteza do sensor usando o mesmo método da secção anterior. Neste caso os piores casos de desvio padrão e erro do valor da média em comparação com o valor referência são

respetivamente  $0.75^\circ$  e  $2^\circ$ . O valor medido pelo sensor estará portanto, com uma probabilidade de 99.7, no intervalo  $[\mu + 2.25 ; \mu - 2.25]$ . No pior caso o valor medido pelo sensor está afastado do valor real de inclinação em  $\pm 4.25^\circ$ .

# Capítulo 7

## Conclusões e Trabalho Futuro

### 7.1 Conclusões do trabalho

Nesta dissertação é apresentada uma solução alternativa para o processo de monda em culturas, direcionada principalmente para vinhas. Surge da necessidade de criar técnicas de monda mais eficientes e menos agressivas para o meio ambiente e para as próprias culturas. O sistema pretende controlar a postura de ovelhas para que possam pastar nas vinhas eliminando assim as espécies vegetais indesejadas sem que ataquem as videiras e as uvas. Para o efeito desenvolveu-se uma placa com sensores, microcontrolador e atuadores para integrar a coleira.

No estado de arte, são analisadas as alternativas existentes na literatura e no mercado para a monitorização e controlo de animais com interesse Zootécnico. Nenhuma das soluções encontradas se adequa na resolução do problema proposto, mas foi possível concluir que é possível monitorizar a localização, a pastagem, o bem estar e o ciclo reprodutivo dos animais usando soluções ligadas às tecnologias de informação, comunicação e eletrónica. Foi ainda possível concluir que é possível condicionar o comportamento de animais através da aplicação de estímulos sonoros, visuais e/ou elétricos sendo que a utilização de diferentes estímulos combinados e de sistemas de pré aviso favorecem o processo de aprendizagem animal e o aumento do seu bem-estar.

Desenvolveu-se uma solução de monitorização da postura animal baseada num sensor de distância e num sensor de inclinação. O sensor de distância, baseado em emissão e receção de ultrassons, foi implementado e testado, tendo-se concluído que é funcional na gama [25:90]cm apresentando uma incerteza de  $\pm 5.5\text{mm}$ , com uma confiança de 99.7% para medições dentro dessa gama. O sensor de inclinação foi implementado a partir de um acelerómetro tendo-se testado a sua funcionalidade na gama [0<sup>o</sup>:90<sup>o</sup>] tendo-se verificado que apresenta uma incerteza de  $\pm 4.25^{\circ}$  nas medições com uma confiança de 99.7%. Estas características dos sensores, e analisando o comportamento das ovelhas, permitem concluir, que no contexto do projeto, fornecem informação importante para determinar se as ovelhas estão a ter um comportamento indesejado durante o pasto. No entanto, nos testes realizados ao sensor de ultrassons verificou-se que o ângulo máximo em relação ao

solo que permite tirar medidas de distância é de 40<sup>o</sup>, no melhor dos casos, pelo que pode comprometer o funcionamento.

Para condicionar o comportamento dos animais foi desenhada e implementado uma solução baseada na aplicação de choques como estímulo principal e de um sistema de pré-aviso sonoro. Terão ainda de ser realizados mais testes, especialmente no campo, por forma confirmar o funcionamento e melhorar o desempenho.

Foi projetado e desenvolvido um protótipo das coleiras, integrando todos os módulos desenvolvidos. O seu funcionamento foi testado e validado em ambiente laboratorial. Apesar de posteriores melhoramentos a serem feitos no prototipo da coleira, provou-se que é possível construir um módulo portátil capaz de monitorizar e aplicar estímulos a animais dependendo do seu comportamento.

## 7.2 Trabalho Futuro

O trabalho desenvolvido nesta dissertação consistiu numa abordagem inicial ao problema, e como tal pode ser consideravelmente melhorado. Nesta secção são feitas algumas sugestões de trabalho a ser feito no futuro por forma a tornar esta solução mais viável. Estudar novas soluções de determinação da postura dos animais que possam ser integradas na solução desenvolvida de forma a melhorar a qualidade da determinação e diminuir os erros de decisão.

Implementar novas funcionalidades que permitam tirar conclusões quanto ao bem estar dos animais, tipicamente associado à sua atividade. Os animais apresentam diminuição de atividade física em caso de doença, mesmo antes de que a doença possa ser detetada pelo operador humano ou pelo veterinário. Uma proposta consiste na utilização do acelerómetro incluído no presente trabalho de forma a poder operar como um pedómetro, permitindo avaliar os níveis de atividade dos animais e ao mesmo tempo contribuir para as o suporte de localização.

Ao nível do protótipo desenvolvido, deve ser melhorada a sua autonomia optando por soluções e componentes que apresentem consumos mais baixos. Outro aspeto a melhorar é a diminuição das dimensões do protótipo.

Deverão ser realizados mais testes de campo, por exemplo testes na aplicação estímulos a ovelhas, de maneira a concluir quais os estímulos a que estas respondem melhor e qual a intensidade desses mesmos estímulos para que não ponham em causa o seu bem estar.

O algoritmo de controlo da postura é atualmente apenas um controlador On-Off, mas deverá ser melhorado de forma a conjugar os dados de ambos os sensores de uma forma mais inteligente e tomando em consideração as inclinação do terreno e do pescoço. A inclinação do terreno poderá causar um falso indício de incorreção postura, que terá que ser validada através do sensor de distância ao solo. Por outro lado o sensor de distância também irá dar indicações erradas em função das irregularidades do terreno, que terão que ser validadas através do acelerómetro.

# Bibliografia

- [1] “Estroprotect detector in use.” [http://www.ansci.wisc.edu/jjp1/ansci\\_repro/lab/cow\\_project/estroprotect\\_image.html](http://www.ansci.wisc.edu/jjp1/ansci_repro/lab/cow_project/estroprotect_image.html). (accessed 2017-07-08T23:05:38Z).
- [2] “Animal Marking - Tail Paint.” <http://www.gea.com/en/products/animal-marking-accurate-heat-detection.jsp>. (accessed 2017-07-08T23:15:00Z).
- [3] “CowScout activity monitoring is here in WA.”
- [4] “Construção de canil - dúvidas gerais — Página 16 — Fórum da Casa.” <https://forumdacasa.com/discussion/45899/16/construcao-de-canil-duvidas-gerais/>. (accessed 2017-07-08T23:19:34Z).
- [5] “Pictures of Barbed Wire Hair - Retro Filtered Agricultural Concept Photo... csp19286285 - Search Stock Photos, Images, Photographs, and Photo Clip Art.” <http://www.canstockphoto.com/barbed-wire-hair-19286285.html>. (accessed 2017-07-08T23:37:31Z).
- [6] “Ear-A-Round headphone to guide cows home to mamma - Newlaunches.” [http://newlaunches.com/archives/eararound\\_headphone\\_to\\_guide\\_cows\\_home\\_to\\_mamma.php](http://newlaunches.com/archives/eararound_headphone_to_guide_cows_home_to_mamma.php). (accessed 2017-07-08T23:43:00Z).
- [7] Pedro Fonseca, *Sistemas de Instrumentação Electrónica*, Universidade de Aveiro, Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática. Edição 2010/2011.
- [8] “Medições de som e vibração: Guia prático - National Instruments.” <http://www.ni.com/tutorial/7110/pt/>. (accessed 2017-07-08T23:44:21Z).
- [9] Texas Instruments, *True System-on-Chip with Low-Power RF Transceiver and 8051 MCU*. Rev. H.
- [10] “22mm Ultrasonic Equipamentos Do Sistema De Detector de Radar Do Carro Sensor De Estacionamento Para Todos Os Carros Reverso Assistência Radar Backup System Monitor em Sensores de estacionamento de Automóveis & Motos no AliExpress.com — Alibaba Group.” [//pt.aliexpress.com/item/New-Parking-Sensor-Car-Reverse-Back-Up-Ultrasonic-Radar-G0448-P/32275360413.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02](http://pt.aliexpress.com/item/New-Parking-Sensor-Car-Reverse-Back-Up-Ultrasonic-Radar-G0448-P/32275360413.html?src=ibdm_d03p0558e02r02). (accessed 2017-07-08T23:49:23Z).

- [11] “Pmod ACL: 3-axis Accelerometer - Digilent.” <http://store.digilentinc.com/pmod-acl-3-axis-accelerometer/>. (accessed 2017-07-08T23:51:21Z).
- [12] “ABT-414-RC PRO SIGNAL, Transducer, 3 V to 8 V, 85 dB, Sounder, 40 mA, Through Hole — Farnell element14.” <http://uk.farnell.com/pro-signal/abt-414-rc/transducer-electro-mech-audio/dp/2098836>. (accessed 2017-07-08T23:52:52Z).
- [13] “SheepIT Project.” <http://www.av.it.pt/sheepit/>. (accessed 2017-06-09T13:30:51Z).
- [14] J. Hunter, C. Brooking, W. Brimblecombe, R. G. Dwyer, H. A. Campbell, M. E. Watts, and C. E. Franklin, “OzTrack – E-Infrastructure to Support the Management, Analysis and Sharing of Animal Tracking Data,” pp. 140–147, IEEE.
- [15] M. E. Alonso de la Varga, D. Bartolomé Rodríguez, J. J. García García, S. Olmedo de la Cruz, A. Tovar, and V. R. Gaudioso Lacasa, “Aplicación de las Nuevas Tecnologías GPS-GPRS para el estudio del comportamiento y mejora de la producción de la raza de Lidia,” pp. 101–106.
- [16] J. L. Bowman, C. O. Kochanny, S. Demarais, and B. D. Leopold, “Evaluation of a gps collar for white-tailed deer,” *Wildlife Society Bulletin*, pp. 141–145, 2000.
- [17] R. Nathan, O. Spiegel, S. Fortmann-Roe, R. Harel, M. Wikelski, and W. M. Getz, “Using tri-axial acceleration data to identify behavioral modes of free-ranging animals: General concepts and tools illustrated for griffon vultures,” vol. 215, no. 6, pp. 986–996.
- [18] G. Terrasson, A. Llaría, A. Marra, and S. Voaden, “Accelerometer based solution for precision livestock farming: Geolocation enhancement and animal activity identification,” vol. 138, p. 012004.
- [19] E. Nadimi, R. Jørgensen, V. Blanes-Vidal, and S. Christensen, “Monitoring and classifying animal behavior using ZigBee-based mobile ad hoc wireless sensor networks and artificial neural networks,” vol. 82, pp. 44–54.
- [20] J. I. Huircán, C. Muñoz, H. Young, L. Von Dossow, J. Bustos, G. Vivallo, and M. Tonneatti, “ZigBee-based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields,” vol. 74, no. 2, pp. 258–264.
- [21] E. Nadimi, H. Sjøgaard, T. Bak, and F. Oudshoorn, “ZigBee-based wireless sensor networks for monitoring animal presence and pasture time in a strip of new grass,” vol. 61, no. 2, pp. 79–87.
- [22] D. L. Swain, M. A. Friend, G. J. Bishop-Hurley, R. N. Handcock, and T. Wark, “Tracking livestock using global positioning systems – are we still lost?,” vol. 51, no. 3, p. 167.

- [23] K. C. Prayaga, J. M. Henshall, D. L. Swain, and A. R. Gilmour, “Estimation of maternal variance components considering cow-calf contacts under extensive pastoral systems,” vol. 86, no. 5, pp. 1081–1088.
- [24] S. Kjellqvist, “Determining cattle pasture utilization using GPS-collars.”
- [25] D. Gobbett, R. Handcock, A. Zerger, C. Crossman, P. Valencia, T. Wark, and M. Davies, “Prototyping an Operational System with Multiple Sensors for Pasture Monitoring,” vol. 2, no. 3, pp. 388–408.
- [26] R. N. Handcock, D. L. Swain, G. J. Bishop-Hurley, K. P. Patison, T. Wark, P. Valencia, P. Corke, and C. J. O’Neill, “Monitoring Animal Behaviour and Environmental Interactions Using Wireless Sensor Networks, GPS Collars and Satellite Remote Sensing,” vol. 9, no. 5, pp. 3586–3603.
- [27] M. Moreau, S. Siebert, A. Buerkert, and E. Schlecht, “Use of a tri-axial accelerometer for automated recording and classification of goats’ grazing behaviour,” vol. 119, pp. 158–170.
- [28] D. Augustine and J. Derner, “Assessing Herbivore Foraging Behavior with GPS Collars in a Semiarid Grassland,” vol. 13, no. 3, pp. 3711–3723.
- [29] L. Nagl, R. Schmitz, S. Warren, T. Hildreth, H. Erickson, and D. Andresen, “Wearable sensor system for wireless state-of-health determination in cattle,” pp. 3012–3015, IEEE.
- [30] R. Shahriyar, M. F. Bari, G. Kundu, S. I. Ahamed, and M. M. Akbar, “Intelligent Mobile Health Monitoring System (IMHMS),” in *Electronic Healthcare* (P. Kostkova, ed.), vol. 27, pp. 5–12, Springer Berlin Heidelberg.
- [31] C. Yaashuwanth, C. Gopinath, and P. Prabhavathy, “Health monitoring and management system for dairy animals,” vol. 48, no. 6, p. 625.
- [32] N. Miranda, R. Morais, M. Dias, C. Viegas, F. Silva, C. Serôdio, J. Almeida, J. Azevedo, and M. Reis, “Bioimplantable impedance and temperature monitor low power micro-system suitable for estrus detection,” vol. 1, no. 1, pp. 505–508.
- [33] R. M. D. Antunes, “Sistema de monitorização de comportamento animal: O ciclo reprodutivo.”
- [34] “HotCow Home - Hotcow Estrus Detection Tags.” <http://www.hotcow.com.au/>. (accessed 2017-07-08T23:12:08Z).
- [35] “ESTROTECT™ Heat Detector — ESTROTECT™.” <http://estrotect.com/estrotect-heat-detector/>. (accessed 2017-07-08T22:56:26Z).

- [36] J. Garcia and R. A. Koelling, “Relation of cue to consequence in avoidance learning,” vol. 4, no. 1, pp. 123–124.
- [37] E. A. Burritt and F. D. Provenza, “Food aversion learning in sheep: Persistence of conditioned taste aversions to palatable shrubs (*Cercocarpus montanus* and *Amelanchier alnifolia*).,” vol. 68, no. 4, p. 1003.
- [38] A. Egber, A. Perevolotsky, R. Yonatan, A. Shlosberg, M. Belaich, and S. Landau, “Creating aversion to giant fennel (*Ferula communis*) in weaned orphaned lambs,” vol. 61, no. 1, pp. 51–62.
- [39] A. F. Cibils, L. D. Howery, and G. B. Ruyle, “Diet and habitat selection by cattle: The relationship between skin- and gut-defense systems,” vol. 88, pp. 187–208.
- [40] L. Howery, “Potential for using visual, auditory and olfactory cues to manage foraging behaviour and spatial distribution of rangeland livestock.,” vol. 8.
- [41] C. Umstatter, S. Brocklehurst, D. W. Ross, and M. J. Haskell, “Can the location of cattle be managed using broadcast audio cues?,” vol. 147, pp. 34–42.
- [42] C. Lee, K. Prayaga, M. Reed, and J. Henshall, “Methods of training cattle to avoid a location using electrical cues,” vol. 108, pp. 229–238.
- [43] C. Lee, J. M. Henshall, T. J. Wark, C. C. Crossman, M. T. Reed, H. G. Brewer, J. O’Grady, and A. D. Fisher, “Associative learning by cattle to enable effective and ethical virtual fences,” vol. 119, pp. 15–22.
- [44] S. B. Markus, D. W. Bailey, and D. Jensen, “Comparison of electric fence and a simulated fenceless control system on cattle movements,” vol. 170, pp. 203–209.
- [45] P. K. Fay, V. T. McElligott, and K. M. Havstad, “Containment of free-ranging goats using pulsed-radio-wave-activated shock collars,” vol. 23, pp. 165–171.
- [46] A. Rodgers and E. G. Lawson, “Field trials of the lotek gps collar on moose,” *The Wildlife Society and Biological Resources Division*. (Chairpersons JE Austin and PJ Pietz.) pp, vol. 58, 1997.
- [47] D. M. Anderson and L. W. Murray, “Sheep laterality,” vol. 18, no. 2, pp. 179–193.
- [48] L. D. Howery, D. W. Bailey, G. B. Ruyle, and W. J. Renken, “Cattle use visual cues to track food locations,” vol. 67, pp. 1–14.
- [49] C. Lee, A. D. Fisher, M. T. Reed, and J. M. Henshall, “The effect of low energy electric shock on cortisol, b-endorphin, heart rate and behaviour of cattle,” vol. 113, pp. 32–42.

- [50] E. Schalke, J. Stichnoth, S. Ott, and R. Jones-Baade, “Clinical signs caused by the use of electric training collars on dogs in everyday life situations,” vol. 105, no. 4, pp. 369–380.
- [51] ANSMANN, *Rechargeable Battery, 7.4 V, Lithium Ion, 2.6 Ah*, 6 2015.
- [52] Texas Instruments, *LM2937 2.5-V and 3.3-V 400-mA and 500-mA Voltage Regulators*, 11 2014. Rev.F.
- [53] Texas Instruments, *LM2937 500-mA Low Dropout Regulator*, 7 2014. Rev.F.
- [54] Elektrotechnik Karl-Heinz Mauz GmbH, *Assembled ultrasonic sensor*.
- [55] ON Semiconductor, *NPN - MPSA05, MPSA06; PNP - MPSA55, MPSA56*, 4 2007. Rev.3.
- [56] Pro-Wave, *Matching Transformers*.
- [57] Nexperia, *1N4148; 1N4448 High-speed diodes*, 8 2004.
- [58] Microship, *Rail-to-Rail Input/Output, 10 MHz Op Amps*, 2009.
- [59] Analog Devices, *Digital accelerometer*, 2013. Rev.E.
- [60] pro-signal, *Electromechanical Audio Transducer 6V*, 4 2012. V1.0.
- [61] Supertex, *N-Channel Enhancement-Mode Vertical DMOS FET*, 2013. Version E041009.
- [62] M. Pedley, “Tilt sensing using a three-axis accelerometer,” *Freescale semiconductor application note*, vol. 1, pp. 2012–2013, 2013.
- [63] “Normal distribution - Wikipedia.” [https://en.wikipedia.org/wiki/Normal\\_distribution#Standard\\_deviation\\_and\\_coverage](https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution#Standard_deviation_and_coverage). (accessed 2017-07-09T16:45:08Z).