



Rui Alexandre de  
Oliveira Pais

**Pesagem e Identificação Automática no Auxílio à  
Agropecuária**

“Valeu e vale a pena apostar na agricultura, hoje um setor vivo, dinâmico e cheio de esperança”

Assunção Cristas, Ministra da Agricultura e do Mar





**Rui Alexandre de  
Oliveira Pais**

**Pesagem e Identificação Automática no Auxílio à  
Agropecuária**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro



**O júri / The jury**

Presidente / President

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho**  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

**Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos**  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

**Prof. Doutor António Ferreira Pereira de Melo**  
Professor Catedrático Aposentado da Universidade de Aveiro



## Agradecimentos / Acknowledgements

Aqui ficam os meus agradecimentos a todos os que me ajudaram nesta longa caminhada académica, que se revelou com momentos de sacrifício, mas também de boas e fortificantes experiências de vida.

Em primeiro lugar quero agradecer à minha mãe Ilda e ao meu pai Alberto pelo apoio, compreensão e motivação em todos os momentos.

Agradeço ao meu irmão Nuno que me ajudou imenso na entrada para o mundo académico, pela motivação e encorajamento que me deu durante todo o curso e ainda mais na conclusão desta dissertação.

Agradeço a todos os meus colegas de curso que me ajudaram a chegar a este patamar e a concluir esta dissertação, mas mais que tudo àqueles pelos quais os laços de amizade e companheirismo cresceram de forma inigualável e que perdurarão no futuro. Agradeço desta forma ao Rui Bártolo, ao Bruno Barroqueiro, ao Tiago Godinho, ao André Válega, ao Carlos Oliveira, ao João Poito Coelho e ao César Cardoso, pela grande motivação transmitida, pelos ensinamentos trocados, experiências vividas e pela presença nos bons e maus momentos.

Agradeço ao Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos, meu orientador de dissertação, pela disponibilidade demonstrada, conhecimentos transmitidos e pela compreensão, apoio e amizade manifestadas.

Agradeço às empresas PecPlus, Fertiprado e DigiDelta pelos ensinamentos transmitidos, ideias trocadas e motivação dada para esta dissertação, principalmente na visita realizada em Abril de 2013 às instalações da exploração agrícola de ovinos do Grupo Fertiprado na Herdade dos Esquerdos, Monforte (Alentejo).

Não podia deixar de agradecer também a Ele, que em todos os momentos esteve presente e que me guiou neste caminho sinuoso.

A todos um muito obrigado!





## Palavras-chave

RFID; Identificação Eletrónica de Animais; ISO 11784/5; Pecuária de precisão; Gestão de gado; Automação na agropecuária; Balanças eletrónicas de animais; Pesagem voluntária; Rastreabilidade agroalimentar; Zigbee; IEEE 802.15.4, Visual Basic, programação C, Microcontroladores, Bases de Dados; MySQL, RS485.

## Resumo

A evolução sentida na agropecuária tem levado à procura de mecanismos que permitam a rentabilidade das explorações agropecuárias e redução de custos, nomeadamente na gestão pecuária e na organização de informação individualizada de cada animal. Isto deve-se às crescentes preocupações com a saúde alimentar, rastreabilidade agroalimentar e com a produtividade animal. A gestão manual está apoiada na mão-de-obra e no muito tempo dispendido, produzindo stress nos animais devido à presença humana e às ações neles inculcadas contra a sua vontade. Nesta dissertação pretende-se criar uma solução integradora de hardware e software para apoio à gestão de animais, mais concretamente num equipamento de identificação automática e pesagem voluntária, em que o próprio animal toma a iniciativa, atraído por um bebedouro de água instalado no local de pesagem. A cada presença de um animal é registada a data, hora, identificação animal e o peso correspondente. Essa informação é enviada via *wireless* para uma base de dados onde pode ser consultada através de uma interface desenvolvida para o efeito, permitindo efetuar configurações ao sistema. Outra das funcionalidades importantes é a possibilidade de poder sinalizar animais para serem sequestrados na estrutura, para se poder efetuar alguma ação veterinária de rotina, ou então simplesmente para localizar um animal no meio de um grande grupo. A identificação eletrónica é baseada na tecnologia RFID, em crescente expansão, quer ao nível industrial como agrícola. O protocolo *Zig-Bee*/IEEE 802.15.4 foi escolhido para a comunicação *wireless*, porque é uma comunicação eficiente, de baixo consumo e própria para comunicações com baixa taxa de transmissão de dados, como é o caso. O sistema de pesagem é baseado no arranjo de quatro células de carga e na soma das contribuições individuais de cada uma na medição do peso. A solução proposta para o funcionamento do equipamento de campo é totalmente baseada em microcontroladores. Para a estrutura que alberga o sistema de interação com os animais é apresentada uma possível configuração com modelação CAD 3D e dimensões apropriadas à espécie ovina, objeto de estudo na dissertação. O equipamento não foi testado na realidade com animais, mas esse é um dos vários pontos considerados para realização futura. Com este trabalho de dissertação pretende-se contribuir para um maior desenvolvimento e entusiasmo na automação da agropecuária.



**Keywords**

RFID; Animal Electronic Identification; ISO 11784/5; Precision Livestock; Cattle management; Livestock automation; Electronic scales for animals; Voluntary weighing; Agri-food traceability; Zigbee; IEEE 805.15.4; Visual Basic; C programming; Microcontrollers; Data Bases; MySQL; RS485.

**Abstract**

The agriculture's evolution has been looking for mechanisms that enable the profitability of agricultural exploitations and cost reduction, particularly in the cattle management and organization of individualized information of each animal. This is due to the growing concerns about food health, agri-food traceability and animal productivity. The manual management is supported by workmanship and time spent, producing stress in animals due to the human presence and the actions in them instilled against their will. This dissertation aims to create a solution that integrates hardware and software to support cattle management, specifically a device for the automatic identification and voluntary weighing, in which the animal itself takes the initiative, attracted by the drinking fountain installed in place of weighing. In each presence of an animal is recorded the date, the time, the animal identification and the corresponding weight. This information is sent wirelessly to a database, where it can be viewed through an interface designed for this purpose, allowing make adjustments in the system. Another important feature is the possibility to signal animals to be hijacked in the structure, in order to perform some veterinary action routine, or just to find an animal in the middle of a large group. The electronic identification is based on RFID technology, increasingly widespread, both at industrial and agricultural level. The protocol ZigBee/IEEE 802.15.4 was selected to the wireless communication, because it is an efficient communication, needs low-power and fit for communications with the low rate of data transmission, as is the case. The weighing system is based on the arrangement of four load cells and in the sum of the individual contributions of each in weight measurement. The proposed solution for the field equipment operation is fully based in microcontrollers. For the structure that houses the system interaction with the animals a possible configuration is shown with 3D CAD modelling with appropriate dimensions to the sheep, the object of study in this dissertation. The equipment has not been tested in reality with animals, but this is one of several points considered for future achievement. This dissertation is intended to contribute to the further development and enthusiasm in the livestock automation.



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento . . . . .	1
1.2	Motivação . . . . .	3
1.3	Objetivos . . . . .	3
1.4	Estrutura da Dissertação . . . . .	4
<b>2</b>	<b>A agropecuária</b>	<b>5</b>
2.1	A evolução da agropecuária . . . . .	5
2.1.1	PAC . . . . .	6
2.1.2	Intervenientes a nível nacional atualmente no setor . . . . .	7
2.1.3	Funcionamento típico de uma exploração agropecuária . . . . .	9
2.1.4	Identificação animal e rastreabilidade agroalimentar . . . . .	11
2.1.5	Automatização da exploração agropecuária . . . . .	14
2.1.6	Considerações sobre a evolução da agropecuária . . . . .	17
2.2	Soluções comerciais . . . . .	19
2.2.1	Soluções apresentadas em Portugal de apoio à agropecuária . . . . .	19
2.2.2	Principais soluções de identificação eletrónica e/ou pesagem de animais no mundo . . . . .	23
2.3	Publicações científicas . . . . .	24
2.4	Síntese do capítulo “A agropecuária” . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Tecnologias de Suporte</b>	<b>29</b>
3.1	Introdução histórica à era das comunicações . . . . .	29
3.2	Introdução aos processos de identificação automática . . . . .	30
3.2.1	Código de barras . . . . .	31
3.2.2	OCR . . . . .	31
3.2.3	Processos Biométricos . . . . .	31
3.2.4	<i>Smart Cards</i> . . . . .	32
3.2.5	Comparação dos principais sistemas . . . . .	32
3.3	Tecnologia RFID . . . . .	33
3.3.1	História da evolução da tecnologia . . . . .	34
3.3.2	Constituição de um sistema RFID . . . . .	35
3.3.3	Classificação dos sistemas RFID . . . . .	36
3.3.4	Princípios de funcionamento da comunicação leitor- <i>tag</i> . . . . .	36
3.3.5	Métodos de funcionamento de <i>tags</i> . . . . .	39
3.3.6	Armazenamento de dados das <i>tags</i> . . . . .	39
3.3.7	Características físicas das <i>tags</i> . . . . .	40

3.3.8	Frequência de operação e alcance . . . . .	41
3.4	Normalizações do RFID na identificação de animais . . . . .	42
3.4.1	ISO 11784 - Estrutura de código . . . . .	43
3.4.2	ISO 11785 - Especificações técnicas . . . . .	43
3.4.3	ISO 14223 - <i>tags</i> avançadas . . . . .	47
3.5	ZigBee e padrão IEEE 802.15.4 . . . . .	50
3.5.1	Introdução às redes <i>wireless</i> . . . . .	50
3.5.2	Comparação de diferentes tecnologias <i>wireless</i> . . . . .	51
3.5.3	Perspetiva histórica sobre Zigbee e IEEE 802.15.4 . . . . .	53
3.5.4	Dispositivos de rede . . . . .	54
3.5.5	Topologias de rede . . . . .	54
3.5.6	Arquitetura protocolar ZigBee/IEEE 802.15.4 . . . . .	55
3.5.7	Tipos de tramas MSDU . . . . .	60
3.6	Protocolos de comunicação industrial . . . . .	63
3.6.1	RS232 . . . . .	63
3.6.2	RS485 . . . . .	64
<b>4</b>	<b>Solução proposta</b>	<b>67</b>
4.1	“Sistema Campo” (SC) . . . . .	72
4.1.1	“Módulo Processamento” (MPr) . . . . .	73
4.1.2	“Módulo Comunicação <i>Wireless (Slave)</i> ” (MCW-S) . . . . .	83
4.1.3	“Módulo Identificação Eletrónica” (MIE) . . . . .	83
4.1.4	“Módulo Pesagem” (MPe) . . . . .	86
4.1.5	“Módulo Controlo Portas” (MCP) . . . . .	87
4.1.6	“Módulo Detecção Passagem” (MDP) . . . . .	87
4.1.7	Estrutura do “Sistema Campo” (SC) . . . . .	88
4.2	“Sistema Central Exploração” (SCE) . . . . .	90
4.2.1	Interface gráfica . . . . .	91
4.2.2	Base de dados . . . . .	97
4.2.3	“Módulo Comunicação <i>Wireless (Master)</i> ” (MCW-M) . . . . .	98
<b>5</b>	<b>Implementação</b>	<b>99</b>
5.1	“Sistema Campo” (SC) . . . . .	99
5.1.1	Apresentação dos elementos constituintes . . . . .	100
5.1.2	Escolha das unidades de controlo . . . . .	100
5.1.3	“Módulo Processamento” (MPr) . . . . .	103
5.1.4	“Módulo Comunicação <i>Wireless (Slave)</i> ” (MCW-S) . . . . .	105
5.1.5	“Módulo Identificação Eletrónica” (MIE) . . . . .	108
5.1.6	“Módulo Controlo Portas” (MCP) e “Módulo Detecção Passagem” (MDP) . . . . .	111
5.1.7	“Módulo Pesagem” (MPe) . . . . .	113
5.2	“Sistema Central Exploração” (SCE) . . . . .	115
5.2.1	“Módulo Comunicação <i>Wireless (Master)</i> ” (MCW-M) . . . . .	115
5.2.2	Interface gráfica . . . . .	116
5.2.3	Base de dados . . . . .	120

<b>6</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>121</b>
6.1	Conclusões . . . . .	121
6.2	Trabalhos futuros . . . . .	122
	<b>Bibliografia</b>	<b>125</b>
<b>A</b>	<b>Método dos Mínimos Quadrados</b>	<b>133</b>
A.1	Caso de estudo: cálculo de peso . . . . .	134
<b>B</b>	<b>Esquemas elétricos</b>	<b>137</b>
<b>C</b>	<b>Código exemplo Módulo Comunicação <i>Wireless (Slave) ZigBee</i></b>	<b>143</b>
<b>D</b>	<b>Desenhos da estrutura do SC</b>	<b>149</b>





# Lista de Tabelas

2.1	Distribuição pelo território nacional da evolução do número de explorações agrícolas [13] . . . . .	6
3.1	Comparação dos diferentes sistemas de identificação automática[58] . . . . .	32
3.2	Comparação dos sistemas de acoplamento [58] . . . . .	38
3.3	Comparação entre <i>tags</i> ativas e passivas [57] . . . . .	39
3.4	Frequências de operação utilizadas nos sistemas RFID [57; 58] . . . . .	42
3.5	Código de identificação para animais [58] . . . . .	43
3.6	Parâmetros de estabelecimento da transmissão do leitor para <i>tag</i> FDX-B [58] . . . . .	47
3.7	Parâmetro de transmissão de comandos entre leitor e <i>tag</i> [58] . . . . .	49
3.8	Algumas características dos protocolos <i>WiFi</i> , <i>Bluetooth</i> e <i>ZigBee</i> [68] . . . . .	51
3.9	Comparação entre as três bandas de operação [65] . . . . .	58
3.10	Descrição dos pinos conector DB9 [76] . . . . .	63
3.11	Características elétricas do protocolo RS485 [79] . . . . .	65
4.1	Representação das tabelas que formam a base de dados . . . . .	97
5.1	Descrição dos vários pinos do conversor ADM2484 [84] . . . . .	104
5.2	Descrição dos conectores existentes no “Módulo Processamento” . . . . .	105
5.3	Recursos PIC18F usados na implementação da <i>Microchip Stack ZigBee</i> [90] . . . . .	108
5.4	Tabela de mensagens e erros [97] . . . . .	111
5.5	Descrição pinos amplificador AD623 [100] . . . . .	114
A.1	Tabela de dados recolhidos para cálculo da regressão linear . . . . .	135



# Lista de Figuras

2.1	Organização nacional simplificada da política agrícola nacional . . . . .	7
2.2	Esquema de fluxos de materiais e informação dentro de uma exploração . . . . .	9
2.3	Vários tipos de identificação tradicional [27] . . . . .	11
2.4	Vários tipos de identificação eletrónica [28] . . . . .	12
2.5	Elementos básicos a associar a um sistema de informação animal [30] . . . . .	13
2.6	Comparação entre ordenha manual e mecanizada . . . . .	15
2.7	Ilustração de protótipos projetados e construídos para ajuda à gestão de animais . . . . .	18
2.8	<i>PecManga</i> para separação de animais [42] . . . . .	22
2.9	Exemplos de soluções apresentadas para identificação eletrónica e/ou pesagem de animais . . . . .	25
3.1	Diagrama temporal do desenvolvimento científico [57] . . . . .	30
3.2	Mercado total de RFID em milhões de dólares (USD) [59] . . . . .	33
3.3	Diagrama temporal da evolução histórica do RFID [57] . . . . .	34
3.4	Constituição de um simples sistema RFID [58] . . . . .	35
3.5	Representação da comunicação FDX, HDX e SEQ ao longo do tempo num sistema RFID [58] . . . . .	37
3.6	Acoplamento indutivo [58] . . . . .	38
3.7	Variados tipos de <i>tags</i> . . . . .	40
3.8	<i>Tags</i> mais usadas na agropecuária . . . . .	41
3.9	Atividade do campo de ativação de um leitor ao longo do tempo [58] . . . . .	44
3.10	Sequência de sincronização automática entre 2 leitores [58] . . . . .	44
3.11	Codificação DBP para sistema FDX [63] . . . . .	45
3.12	Estrutura de dados do protocolo FDX [64] . . . . .	46
3.13	Exemplo de modulação para protocolo HDX [63] . . . . .	46
3.14	Comutação entre comunicação ISO 11785 e modo avançado, com <i>tag</i> FDX-B [58] . . . . .	48
3.15	<i>Tag</i> HDX-ADV comuta para modo avançado a cada comando recebido [58] . . . . .	48
3.16	Estrutura de mensagem de envio de um comando ISO 14223 para transmissão de dados entre leitor e <i>tag</i> [58] . . . . .	49
3.17	Estrutura de mensagem de resposta ISO 14223 para transmissão de dados da <i>tag</i> para o leitor [58] . . . . .	49
3.18	Logótipos das diferentes tecnologias <i>WiFi</i> , <i>Bluetooth</i> e <i>ZigBee</i> [67] . . . . .	51
3.19	Representação gráfica da taxa de transferência de dados <i>versus</i> alcance[67] . . . . .	52
3.20	Representação das várias topologias de rede possíveis [69] . . . . .	55
3.21	Representação do modelo OSI [74] . . . . .	56

3.22	Representação da arquitetura protocolar <i>ZigBee</i> /IEEE 802.15.4 [69] . . . . .	57
3.23	Representação do formato de um PPDU [65] . . . . .	57
3.24	Representação das bandas de comunicação[65] . . . . .	58
3.25	Estrutura da trama MAC <i>beacon</i> [65] . . . . .	60
3.26	Estrutura da trama MAC de dados [65] . . . . .	61
3.27	Estrutura da trama MAC <i>acknowledgment</i> [65] . . . . .	62
3.28	Estrutura da trama MAC de comando [65] . . . . .	62
3.29	Conector DB9 [76] . . . . .	63
3.30	Oposição de sinais da comunicação diferencial RS485 [77] . . . . .	64
3.31	Modo <i>full duplex</i> e <i>half duplex</i> , respetivamente [78] . . . . .	64
3.32	Distância máxima de transmissão <i>versus baud rate</i> [78] . . . . .	65
3.33	Exemplo de sinais envolvidos na comunicação RS485 [78] . . . . .	65
3.34	Esquema típico de instalação de resistências de terminação, <i>pull-up</i> e <i>pull-down</i> [79] . . . . .	66
4.1	Esquema geral da solução proposta . . . . .	68
4.2	Interação dos vários intervenientes no processo . . . . .	71
4.3	Esquemático da solução proposta para o SC . . . . .	72
4.4	Estruturas de mensagem envolvidas na comunicação barramento, entre MPr, MCW-S e MIE . . . . .	73
4.5	Esquemático do algoritmo do MPr . . . . .	74
4.6	Esquemático do algoritmo de funcionamento modo MAN . . . . .	75
4.7	Esquemático do algoritmo da execução dos comandos em modo MAN . . . . .	76
4.8	Esquemático do algoritmo de funcionamento em modo AUTO . . . . .	77
4.9	Processo de cálculo do peso . . . . .	79
4.10	Esquemático do algoritmo de zeragem de balança . . . . .	80
4.11	Esquemático do algoritmo de configuração em estado DTV . . . . .	81
4.12	Esquemático do botão troca de estado . . . . .	82
4.13	Esquemáticos dos algoritmos utilizados no MCW-S . . . . .	84
4.14	Esquemático do algoritmo de receção de mensagens do MIE . . . . .	85
4.15	Esquema básico duma “ponte de <i>wheatstone</i> ” [81] . . . . .	86
4.16	Desenho 3D da estrutura proposta . . . . .	88
4.17	Outras vistas do equipamento . . . . .	89
4.18	Sistema de portas do SC . . . . .	89
4.19	Sistema de pesagem do SC . . . . .	90
4.20	Esquemático da solução proposta para o SCE . . . . .	91
4.21	Ilustração da proposta de interface gráfica . . . . .	91
4.22	Esquemático de funcionamento do algoritmo da interface gráfica . . . . .	92
4.23	Esquemático do algoritmo da rotina de receção de mensagem . . . . .	92
4.24	Esquemático do algoritmo da rotina de análise de mensagem recebida . . . . .	93
4.25	Esquemático do algoritmo da rotina de atualização do estado do sistema . . . . .	94
4.26	Esquemático do algoritmo da rotina de atualização da informação mostrada na interface . . . . .	95
4.27	Esquemáticos dos algoritmos envolvidos no pedido de calibração da balança . . . . .	96
4.28	Esquemático do algoritmo de cálculo da regressão linear . . . . .	96
4.29	Esquemático do algoritmo de pedido de verificação de parâmetros . . . . .	96
4.30	Esquemático do algoritmo de sinalização de animais para sequestro . . . . .	97

4.31	Esquemáticos dos algoritmos utilizados no MCW-M . . . . .	98
5.1	Apresentação do protótipo para o SC . . . . .	99
5.2	Apresentação elementos constituintes do SC . . . . .	100
5.3	Quadro principal do sistema de automação do SC . . . . .	102
5.4	Identificação dos constituintes do MCW-S e MPr . . . . .	103
5.5	Configuração dos pinos e da ligação do ADM2484 [84] . . . . .	104
5.6	Placa MOD-ZIGBEE-UEXT da OLIMEX [86] . . . . .	106
5.7	Hardware básico para implementação da <i>Microchip ZigBee Stack Protocol</i> [90] . . . . .	107
5.8	Sistema para a identificação eletrónica de animais . . . . .	108
5.9	Sistema para o funcionamento das portas e implementação do MDP com fotocélulas . . . . .	112
5.10	Sistema de balança formado pelas 4 células de carga e MPe . . . . .	114
5.11	Diagrama de conexão dos pinos do amplificador AD623 [100] . . . . .	114
5.12	Identificação dos elementos constituintes do MCW-M . . . . .	115
5.13	Interface proposta - janela de ligação ao “Sistema Campo” . . . . .	117
5.14	Interface proposta - janela de calibração balança . . . . .	118
5.15	Interface proposta - janela de ativação sistema e modos MAN e AUTO . . . . .	118
5.16	Interface proposta - janela de consulta do registo de pesagem . . . . .	119
5.17	Interface proposta - janela de registo de animais para sequestro . . . . .	119
5.18	Interface proposta - janela para visualização do histórico de sequestros . . . . .	120
A.1	Representação gráfica da relação entre as grandezas X e Y [80] . . . . .	133
A.2	Representação gráfica da relação entre peso e conversão analógica respetiva	134
B.1	Esquema elétrico do “Módulo Comunicação <i>Wireless (Master)</i> ” . . . . .	137
B.2	Esquema elétrico “Módulo Processamento” . . . . .	138
B.3	Esquema elétrico “Módulo Identificação Eletrónica” . . . . .	139
B.4	Esquema elétrico “Módulo Comunicação <i>Wireless (Slave)</i> ” . . . . .	139
B.5	Esquema elétrico “Módulo Pesagem” . . . . .	140
B.6	Esquema elétrico do “Módulo Controlo Portas” . . . . .	141
B.7	Esquema do circuito pneumático do “Módulo Controlo Portas” . . . . .	141
B.8	Esquema elétrico da atuação das eletroválvulas . . . . .	141
B.9	Esquema elétrico da placa MOD-ZIGBEE-UEXT da OLIMEX [86] . . . . .	142



# Lista de Acrónimos

<b>AIDC</b>	<i>Automatic Identification and Data Capture</i>
<b>ANSI</b>	<i>American National Standard Institute</i>
<b>APL</b>	<i>Application Layer</i>
<b>APS</b>	<i>Application Support Sublayer</i>
<b>BPSK</b>	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
<b>BSE</b>	<i>Bovine Spongiform Encephalopathy</i>
<b>CCA</b>	<i>Clear Channel Assessment</i>
<b>CE</b>	Comunidade Europeia
<b>CEE</b>	Comunidade Económica Europeia
<b>CSMA-CA</b>	<i>Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance</i>
<b>DBP</b>	<i>Differential Bi-Phase</i>
<b>DGAV</b>	Direção-Geral de Alimentação e Veterinária
<b>DSSS</b>	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
<b>EAN</b>	<i>European Article Number</i>
<b>EAS</b>	<i>Electronic Article Surveillance</i>
<b>ED</b>	<i>Energy Detection</i>
<b>EEPROM</b>	<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>
<b>EUSART</b>	<i>Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
<b>FFD</b>	<i>Full Function Devices</i>
<b>FSK</b>	<i>Frequency Shift keying</i>
<b>GPR</b>	<i>General Purpose Register</i>
<b>GTS</b>	<i>Guaranteed Time Slot</i>
<b>HF</b>	<i>High Frequency</i>
<b>ICAR</b>	<i>International Committee for Animal Recording</i>
<b>ISM</b>	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
<b>ISO</b>	<i>International Standard Organization</i>
<b>IDEA</b>	<i>Identificacion Eletronique des Animaux</i>
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
<b>LF</b>	<i>Low Frequency</i>
<b>LQI</b>	<i>Link Quality Indication</i>
<b>MAC</b>	<i>Medium Access Control Layer</i>
<b>MCP</b>	“Módulo Controlo Portas”
<b>MCW-M</b>	“Módulo Comunicação <i>Wireless (Master)</i> ”
<b>MCW-S</b>	“Módulo Comunicação <i>Wireless (Slave)</i> ”
<b>MLME-SAP</b>	<i>MAC Sublayer Management Entity-Service Access Point</i>

<b>MDP</b>	“Módulo Detecção Passagem”
<b>MDPU</b>	<i>MAC Protocol Data Unit</i>
<b>MIE</b>	“Módulo Identificação Eletrónica”
<b>MPe</b>	“Módulo Pesagem”
<b>MPr</b>	“Módulo Processamento”
<b>MSDU</b>	<i>MAC Service Data Unit</i>
<b>MSSP</b>	<i>Master Synchronous Serial Port</i>
<b>NAIS</b>	<i>National Animal Identification System</i>
<b>NUTS</b>	<i>Nomenclature Commune Des Unités Territoriales Statistiques</i>
<b>NWK</b>	<i>Network Layer</i>
<b>O-QPSK</b>	<i>Offset Quadrature Phase Shift Keying</i>
<b>OSI</b>	<i>Open Systems Interconnection</i>
<b>PAC</b>	Política Agrícola Comum
<b>PAN</b>	<i>Personal Area Network</i>
<b>PLME</b>	<i>Physical Layer Management Entity</i>
<b>PHR</b>	<i>PHY Header</i>
<b>PHY</b>	<i>Physical Layer</i>
<b>PPDU</b>	<i>PHY Protocol Data Unit</i>
<b>PSDU</b>	<i>Physical Service Data Unit</i>
<b>QoS</b>	<i>Quality of Service</i>
<b>RFD</b>	<i>Reduced Function Devices</i>
<b>RFID</b>	<i>Radio Frequency Identification</i>
<b>SAP</b>	<i>Service Access Point</i>
<b>SC</b>	“Sistema Campo”
<b>SCE</b>	“Sistema Central Exploração”
<b>SFD</b>	<i>Start-of-Frame Delimiter</i>
<b>SFR</b>	<i>Special Function Register</i>
<b>SHR</b>	<i>Synchronization Header</i>
<b>SNIRA</b>	Sistema Nacional de Informação e Registo Animal
<b>SNIRB</b>	Sistema Nacional de Informação e Registo de Bovinos
<b>SQL</b>	<i>Structured Query Language</i>
<b>UEXT</b>	<i>Universal Extension Connector</i>
<b>UPC</b>	<i>Universal Product Code</i>
<b>UHF</b>	<i>Ultra High Frequency</i>
<b>USART</b>	<i>Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
<b>USDA</b>	<i>United States Departement of Agriculture</i>
<b>WLAN</b>	<i>Wireless Local Area Network</i>
<b>WMAN</b>	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
<b>WPAN</b>	<i>Wireless Personal Area Network</i>
<b>WWAN</b>	<i>Wireless Wide Area Network</i>
<b>ZDO</b>	<i>ZigBee Device Object</i>
<b>uC</b>	microcontrolador







# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Enquadramento

A necessidade de troca, organização e acumulação de informação numa exploração agropecuária tem aumentado ao longo do tempo devido a diversos fatores, que resumidamente são de ordem agrícola, económica, política, tecnológica, fitossanitária e de segurança alimentar. Dessa forma, o sector primário da economia portuguesa tem-se tornado um mercado competitivo e exigente. O aumento de produtividade nas explorações agropecuárias, a diminuição de preço dos produtos e o aumento da sua qualidade são os caminhos adotados para as explorações sobreviverem ao clima financeiro menos bom que se vive hoje em dia [1; 2; 3].

Neste contexto, a rastreabilidade no sector agroalimentar tornou-se um elemento base, regulador de todo o processo produtivo, desde o simples produtor agropecuário até às superfícies comerciais e conseqüentemente ao consumidor final. O conceito rastreabilidade representa a capacidade de traçar o caminho percorrido por uma dada mercadoria, desde a sua origem até ao seu destino. Assim o destinatário terá acesso ao histórico da mercadoria, através da presença de um identificador por exemplo numérico ou eletrónico que a segue. Esta indicação permite ainda, no caso de surgir um problema de saúde pública, identificar todo o lote contaminado e, se necessário, retirá-lo do mercado, bem como definir a responsabilidade de cada um dos intervenientes na produção [2].

Na prática, um dos métodos que tem revolucionado a rastreabilidade no mundo agropecuário tem sido o uso de sistemas de informação capazes de gerir toda a informação relevante dos animais presentes na exploração, associado a sistemas de identificação eletrónica animal (tecnologia *Radio Frequency Identification* (RFID)). A ideia base é o uso de uma etiqueta (chamada *tag*), que é anexada (por coleira, brinco, chip injetável na pele ou na forma de bolo alimentar) ao animal que se quer rastrear, assim como um leitor que acede aos dados gravados na *tag* por radiofrequência. Estes dados (geralmente um código identificador único para cada animal) são então usados para consulta e registo de informações sobre cada animal numa base de dados associada ao sistema de informação existente. A partir disto, torna-se possível uma monitorização mais eficiente da exploração. O produtor tem acesso a todos os dados de todos os animais existentes a partir de um recurso eletrónico (evitando grandes registos em papel), passando a poder associar a cada animal mais quantidade de informação e a utilizá-la mais eficientemente. De salientar que tarefas que implicavam acesso a informação específica de cada animal tornam-se assim mais expeditas, poupando bastante tempo que pode ter utilidade para

outras atividades.

Associado ou não aos sistemas de informação animal, existem outras soluções de software e hardware implementadas, como os sistemas de ordenha mecânica e/ou robotizada, mangas de separação automática de animais, sistemas de localização geográfica, balanças eletrônicas, misturadores e doseadores de ração e também algum software de gestão financeira da exploração, controlando ao pormenor a produtividade, gastos e receitas. Na área das culturas existem por exemplo sistemas de controlo de rega e previsão das condições climáticas.

No entanto, é de esperar alguma resistência inicial dos agricultores aquando da aplicação de um sistema destes nas suas explorações. Na verdade, este passo requer uma mudança de mentalidade e de atitude perante os novos modos de gerir uma empresa agropecuária. A adaptação exige dedicação para aprender a trabalhar com novos dispositivos eletrónicos e software, assim como a necessidade dos animais se habituarem aos novos sistemas. Felizmente essa situação está a melhorar, com a aposta das cooperativas agrícolas, associações do setor e do próprio Estado Português na formação técnica e especializada das pessoas. Mas o problema maior reside nos investimentos iniciais que estes novos sistemas requerem. A situação é que muitos produtores ainda usam registos de dados dos animais das suas explorações em papel, por vezes em total desorganização e de consulta difícil. Apesar da existência de várias soluções de sistemas de identificação eletrónica e de software de gestão de informação à venda no mercado, os preços persistem em ser elevados para as capacidades monetárias de muitos produtores. A quantidade de animais existentes por vezes não justifica a instalação de equipamentos caros e complexos e os softwares apresentam-se, por vezes, sobredimensionados para as necessidades da exploração. Por outro lado, devido ao facto de hoje em dia a maioria das explorações ser de grandes dimensões, com centenas ou milhares de animais (pela extinção dos pequenos produtores), justifica-se a criação de equipamentos que reduzam o tempo e a mão-de-obra dispendida no maneo e gestão de um rebanho (ovinos ou caprinos) ou uma manada (bovinos), por exemplo. A gestão manual de um grande grupo é demorada e sujeita a falhas, dificultando os níveis de produtividade da exploração e da qualidade de vida de quem lá trabalha. O panorama para os produtores é a impossibilidade de estes darem um salto na produtividade e, desta forma, poderem combater as dificuldades profundas do sector primário da economia [4].

Os equipamentos de apoio à gestão animal possibilitam obter e registar mais informações de cada animal individualmente, com vista a tratar cada um de forma dedicada e singular e não agir sobre o grupo de forma global. Pelo que foi apresentado, os trabalhos desenvolvidos sobre automação na agropecuária são de grande interesse, de modo a permitir soluções simples, fáceis de utilizar e mais acessíveis financeiramente. Estes devem cumprir com as necessidades de uma determinada exploração, em termos de identificação de animais, assim como transmissão e registo de dados. Neste campo, emergem as tecnologias *wireless* que têm proporcionado um crescimento significativo das perspectivas industriais e científicas em todo o mundo. Ao nível agropecuário, o seu uso ainda é tímido mas revela ter um potencial de aplicação alto. Os seus consumos de energia e dimensões são apetecíveis para instalação na agropecuária [5]. De igual modo, a identificação eletrónica de animais (RFID), juntamente com a criação de bases de dados, tem mostrado ser uma grande aposta em inovação.

## 1.2 Motivação

O impacto da crise económica que se vive em Portugal tem virado a sociedade para o mundo rural. Apesar do sector agropecuário português atravessar sérias adversidades, em diversos níveis (político, económico-financeiro, catástrofes climáticas, saúde alimentar), este tem mostrado que é uma forte aposta no futuro. Os aumentos da exportação de produtos produzidos em solo português (atualmente cerca de 10 % do total de exportações portuguesas), a melhoria na qualidade alimentar e da sanidade animal, a diminuição de 15% do défice agroalimentar e o aumento do número de jovens agricultores a concorrer a apoios financeiros, mostram que a agricultura será o caminho para o crescimento económico nacional [6; 7; 2]. Assim, juntamente com a evolução e desenvolvimento exponencial das tecnologias de comunicação e controlo, proporciona-se um bom futuro para a automação agropecuária. Esta será a oportunidade para fazer crescer mais esta área tímida da automação. À semelhança do setor industrial da economia, a agropecuária é cada vez mais competitiva, à procura de produtos de qualidade e com preços baixos que só se conseguem com aumentos de produtividade e melhor controlo das explorações agrícolas. Infelizmente nem todos os produtores conseguem ter financiamento para isso e continuam a trabalhar com métodos tradicionais ou acabam por desistir da sua profissão. De forma a que esta situação não prevaleça, é necessário arranjar soluções que sejam monetariamente mais acessíveis para a adaptação das explorações, que aumentem a produtividade e diminuam a despesa.

## 1.3 Objetivos

Nesta dissertação pretende-se propor uma solução integrada de software e hardware de apoio à gestão de animais numa exploração agropecuária que permita a redução do tempo, da mão-de-obra gasta e do *stress* provocado nos animais na sua pesagem e identificação. Assim pretende-se que seja um equipamento autónomo, que o animal acesse a este voluntariamente e que também ajude o produtor a descobrir um animal no meio do grupo a que pertence, sem uma procura manual e/ou visual exaustiva.

Para isso são necessários os seguintes elementos:

- (i) Proposta de montagem da estrutura do equipamento para a pesagem e identificação, montada juntamente com um bebedouro de água que é o elemento que atrai os animais;
- (ii) Sistema de identificação eletrónica de animais através da tecnologia RFID, constituída por uma *tag* transportada por cada animal e um leitor fixo montado na estrutura;
- (iii) Sistema de pesagem. Este sistema deve integrar um modo de calibração e de zeragem de balança;
- (iv) Sistema de deteção de entradas/saídas dos animais da estrutura;
- (v) Sistema para restringir apenas um animal de cada vez no interior do equipamento;
- (vi) Sistema *wireless* para envio das informações de pesagem e identificação para uma central localizada num edifício da exploração;
- (vii) Atualização dos dados referentes aos animais (pesagens, identificações, data e hora da ocorrência) a tempo real numa base de dados central, que seja consultável em qualquer momento numa interface gráfica instalada num PC da exploração (esta interface tem de estar associada à base de dados);

(viii) Interface gráfica deve permitir lançar configurações ao equipamento e registrar animais para que estes sejam sequestrados no equipamento até que o responsável venha ao local e faça a tarefa que tem de fazer ao animal escolhido. Para isso a interface tem de ter um sistema de alerta quando esse animal for encontrado.

O equipamento também deve atender a questões económicas e deve ser acessível financeiramente, para permitir aos empresários agrícolas investir em inovação e melhorar a produtividade da exploração.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se dividida em seis capítulos (incluindo o atual capítulo - Introdução) e quatro apêndices. De seguida faz-se uma breve descrição dos assuntos tratados em cada uma dessas partes.

O atual capítulo 1 apresenta uma breve introdução ao tema em análise, procurando evidenciar ao leitor o enquadramento do trabalho, os problemas existentes para os quais se pretende dar um contributo na resolução, o porquê da motivação para realizar o trabalho de dissertação na área da agropecuária e os objetivos a alcançar com a solução proposta.

O capítulo 2 pretende dar a conhecer ao leitor alguns dos aspetos mais relevantes da evolução da agropecuária nos últimos 50 anos. Faz-se uma descrição das entidades a nível nacional que intervêm no setor agropecuário e descreve-se o funcionamento e constituintes típicos de uma exploração agropecuária. De seguida procura-se explicar a evolução dos sistemas de identificação animal e a sua importância na criação dos sistemas nacionais de registo animal, no combate aos problemas de saúde alimentar e no conceito de rastreabilidade. A automatização na agropecuária é referida de seguida com alguns exemplos de maior destaque, como as salas de ordenha, controlo de culturas e equipamentos de ajuda à gestão animal, sendo este último o objeto de estudo desta dissertação. Após isto, resume-se um conjunto de soluções comerciais existentes e apresenta-se algumas teses e artigos relacionadas com automação na agropecuária.

O capítulo 3 pretende dar a conhecer o estudo efetuado sobre as tecnologias utilizadas nesta dissertação (sistemas de identificação automática, RFID, comunicação *ZigBee*, protocolos de comunicação industrial RS232 e RS485) e normalizações adotadas na identificação eletrónica de animais (ISO 11784/5 e ISO 14223).

O capítulo 4 tem como objetivo apresentar a solução proposta, explicando os vários constituintes, funções de cada um e interações entre as várias partes. Para isso são apresentados fluxogramas explicativos dos algoritmos utilizados nas várias partes da solução, assim como uma representação CAD 3D da estrutura proposta para o equipamento.

No capítulo 5 é descrito o trabalho desenvolvido para a implementação do protótipo funcional, segundo a solução proposta.

Por fim, no capítulo 6, são apresentadas conclusões e observações relativas ao trabalho realizado na dissertação, propondo trabalhos de desenvolvimento futuro.

Relativamente aos apêndices a esta dissertação, no apêndice A é descrito a forma matemática para calcular uma regressão linear, necessária para se puder calibrar a balança para o cálculo do peso. No apêndice B são apresentados os esquemas elétricos respeitantes à implementação do protótipo. No apêndice C é apresentado um resumo das funções mais importantes do código do módulo de comunicação *wireless slave ZigBee* e por último no apêndice D são apresentados alguns desenhos da estrutura do equipamento proposto.

## Capítulo 2

# A agropecuária

*Neste capítulo “A agropecuária” é feito um enquadramento da área correspondente a esta dissertação, falando dos aspetos essenciais da evolução da agropecuária no mundo e com mais destaque em Portugal. Os assuntos mais importantes que são relatados são acerca dos intervenientes na agropecuária em Portugal, o funcionamento típico de uma exploração agrícola, a evolução da identificação animal e a automatização agropecuária. Seguidamente faz-se referência a soluções comerciais existentes no mercado de software e hardware em Portugal e também algumas pelo mundo. Alguns trabalhos científicos na área da automação da agropecuária são referidos no final deste capítulo de forma a mostrar problemas explorados, soluções propostas e implementações realizadas.*

### 2.1 A evolução da agropecuária

Nos últimos 50 anos, a agricultura sofreu uma remodelação muito grande, passando de atividade de subsistência a um setor industrializado e competitivo [8]. A maioria dos mercados locais deram lugar a grandes distribuições agroalimentares e os pequenos criadores de gado e produtores de frutas, legumes e cereais foram substituídos por explorações a nível industrial com muitas cabeças de gado, muitos hectares de terreno, utilizando-se processos automatizados e por isso, a inevitável redução do número de pessoas dedicada à atividade agrícola [9; 10]. No passado os fatores de produção mais importantes provinham da empresa tipicamente familiar: a mão-de-obra (muito abundante) era realizada pelos membros do agregado familiar, os fertilizantes provinham do estrume dos animais e a tração era feita por animais [8]. Atualmente o cenário mudou, com recurso a maquinaria, a mão-de-obra depende do nível de automação da exploração e são utilizados produtos fitofarmacêuticos nas culturas.

Em 1960, a agricultura, a silvicultura e as pescas representavam, em Portugal, 24% do VAB (Valor Acrescentado Bruto). Em 2011 representava apenas 2.1% [11; 12]. Tudo isto é oriundo, dentre diversos fatores, da aplicação da Política Agrícola Comum (PAC), da entrada de Portugal na Comunidade Europeia (CE), dos fundos comunitários recebidos, da evolução da sociedade e do desenvolvimento tecnológico [9; 10].

Na tabela 2.1 pode-se ver a evolução do número de explorações agrícolas e da Superfície Agrícola Utilizada (SAU), no território nacional entre 1999 e 2009, segundo *Nomenclature Commune Des Unités Territoriales Statistiques* (NUTS) II. Ao longo desses anos, evidencia-se uma queda de 27% em todo o país do número de explorações em laboração, sendo a maior queda na zona de Lisboa (38%).

Tabela 2.1: Distribuição pelo território nacional da evolução do número de explorações agrícolas [13]

Número de explorações e SAU, por NUTS II (variação 1999-2009)						
NUTS II	Explorações 2009		SAU 2009		Variação 1999-2009	
	N°	(%)	(ha)	(%)	N°Expl. (%)	SAU (%)
<b>Portugal</b>	305266	100	3668145	100	-27	-5
<b>Norte</b>	110841	36	644027	18	-19	-4
<b>Centro</b>	105092	34	570003	16	-35	-21
<b>Lisboa</b>	7602	2	87588	2	-38	-5
<b>Alentejo</b>	42196	14	2152389	59	-17	0
<b>Algarve</b>	12383	4	88297	2	-35	-13
<b>Açores</b>	13541	4	120412	3	-30	-1
<b>Madeira</b>	13611	4	5428	0	-6	-4

### 2.1.1 PAC

A PAC foi a primeira política comum da então Comunidade Económica Europeia (CEE), prevista no Tratado de Roma. Esta política foi concebida para fazer face às carências alimentares do pós-guerra, começando a ser implementada em 1962. O objetivo principal era de garantir a necessária auto-suficiência alimentar dos cidadãos europeus. Nos anos 70 a CEE alcançou e ultrapassou esse objetivo para a maioria dos produtos agrícolas. Com os objetivos iniciais da PAC alcançados, viveu-se um novo problema, o excedente de alimentos na Europa. De uma lógica produtivista, o setor agrícola e alimentar evoluiu para uma lógica de satisfazer cada vez mais as necessidades e exigências dos consumidores em matéria de segurança e da qualidade dos produtos [14; 15].

Portugal vivia, até aderir à CE em 1986, uma realidade diferente da dos países que já a esta pertenciam e que já tinham a PAC há mais de duas décadas. A agricultura portuguesa nesta altura era caracterizada pela fraqueza e atraso estrutural [16], havendo pouco empreendedorismo e modernização. As causas eram essencialmente a forte componente familiar, a não industrialização do setor, pouco ou nenhum controlo sanitário, inexistência de concorrência no mercado (como há hoje) e falta de poder de compra dos produtores. Assim se vivia uma cultura de subsistência [10].

Após a adesão, Portugal foi obrigado a adotar a PAC, provocando profundas alterações socioeconómicas na agricultura. Estas alterações advêm sobretudo da implementação de políticas de regulação de preços do mercado agrícola e do elevado montante de fundos estruturais disponibilizado para apoiar a modernização da agricultura [16]. Estas mudanças repercutiram-se nas produções, na utilização dos fatores de produção, no emprego, na mecanização das instalações e na conseqüente mudança económica de Portugal. Durante a década de 90 as crises alimentares como a designada “doença das vacas loucas” constituíram um ponto de viragem da política em matéria de defesa de consumidor e da segurança alimentar. Em 1997 a CE publicou novas regras no setor alimentar, nomeadamente na produção e registo animal, constituindo o ponto de partida para a reflexão e melhoria do âmbito da aplicação da PAC [14]. Assim esta começou a estar mais virada para a qualidade dos alimentos e na revitalização da vida rural. Daí o controlo da “rastreabilidade” da cadeia alimentar ter tomado força no setor agropecuário, unindo produtores, entidades públicas e consumidores [17; 1].



### 2.1.2 Intervenientes a nível nacional atualmente no setor

A organização da agropecuária nacional com os seus diversos intervenientes e relações entre si pode ser resumida num esquema simplificado como o da figura 2.1, cuja explicação se faz de seguida.

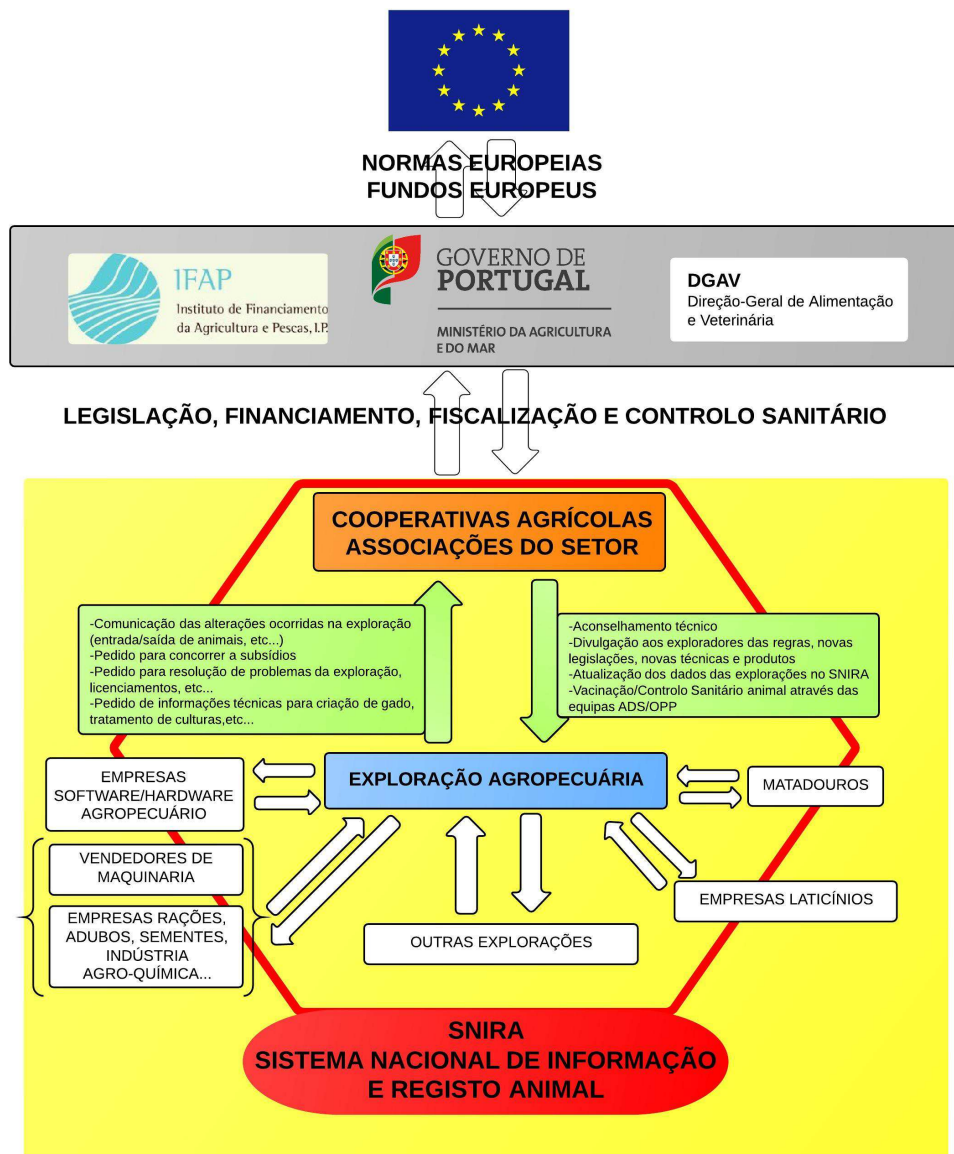


Figura 2.1: Organização nacional simplificada da política agrícola nacional

#### Relações a nível governamental

- A União Europeia estabelece atualmente com os seus países membros (incluindo Portugal), na evolução da PAC e no âmbito dos fundos comunitários, a atribuição

do Fundo Europeu Agrícola de Garantia (FEAGA) e do Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural (FEADER) [18]. Estas são ajudas monetárias com o intuito de promover o desenvolvimento do setor agrícola com subsídios aos produtores [19; 20]. De igual forma estabelece com os estados-membros legislação comunitária apoiada em regras que regem principalmente as importações/exportações de produtos, a saúde alimentar quer animal quer humana e a sanidade animal [21].

- O Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas (IFAP) é o organismo do Estado que é responsável pelo pagamento destes fundos. Ele prossegue as atribuições do Ministério da Agricultura e do Mar (MAM), assim como da tutela das finanças do governo [18; 22];
- O MAM é o setor governamental responsável pelas políticas agrícolas, agroalimentares, silvícolas, de desenvolvimento rural e dos recursos do mar;
- A Direção-Geral de Alimentação e Veterinária (DGAV) é responsável pelas políticas de segurança alimentar, proteção animal e de sanidade animal [22].

Através das várias entidades apresentadas, é executada a política agrícola nacional, em termos de legislação, financiamento, fiscalização e controlo sanitário de todos os intervenientes que direta ou indiretamente estejam ligados à cadeia alimentar.

### **Relações entre cooperativas, produtores, fornecedores e escoamentos de produção**

Num segmento mais próximo da exploração agropecuária, existem as cooperativas agrícolas e outras associações do setor. Estas entidades existem para dar voz aos produtores, para ajudar nos problemas existentes nas suas explorações e para disponibilizar informação [23]. De igual modo, permitem por vezes a possibilidade de escoamento das produções dos diversos associados. Assim estas entidades, normalmente sem fins lucrativos e através da união e cooperação dos seus membros, visam satisfazer as aspirações e necessidades económicas e sociais comuns [24].

No caso específico de Portugal, o papel das cooperativas e associações do setor é condicionada pelas ordens governamentais a nível de legislação, financiamento, fiscalização e controlo sanitário. Assim, cooperativas e associações fazem a ponte entre as organizações do Estado e as explorações agropecuárias. As cooperativas fazem aconselhamento técnico, divulgação de regras, legislações, novas técnicas e produtos, fazem programas de vacinação e controlo sanitário através das equipas de ADS/OPP (Agrupamento de Defesa Sanitária/Organização de Produtos Pecuários) e auxiliam os produtores pecuários nas atualizações no Sistema Nacional de Informação e Registo Animal (SNIRA) dos dados relativos aos animais das suas explorações, como entradas/saídas de animais, nascimentos, mortes, etc. Estes registos de informação são obrigatórios para criadores de bovinos, caprinos, ovinos, suínos e equinos que tenham explorações registadas no SNIRA e são realizados por entidades autorizadas para o efeito, ou então pelo próprio criador. [25; 26].

Cada exploração tem relações com outras explorações, no que toca à partilha de opiniões e saberes, à entreaajuda nos trabalhos, no empréstimo de maquinaria e compra e venda de produtos produzidos. A exploração estabelece negócio com empresas de software/hardware agropecuário para remodelação e melhoria das suas explorações (quando aplicável), com vendedores de maquinaria, alfaias agrícolas, tratores e demais equipamentos da atividade. Os proprietários da exploração compram rações, adubos,

sementes, produtos fitofarmacêuticos e demais elementos necessários à laboração. A exploração agropecuária, se for o caso, vende animais lá criados para matadouros, ou leite produzido para empresas de laticínios. Estes negócios podem ou não ser proporcionados e mediados por uma cooperativa.

### 2.1.3 Funcionamento típico de uma exploração agropecuária

Uma típica exploração agropecuária (ver figura 2.1) é constituída principalmente por instalações, campos agrícolas, animais e equipamentos.

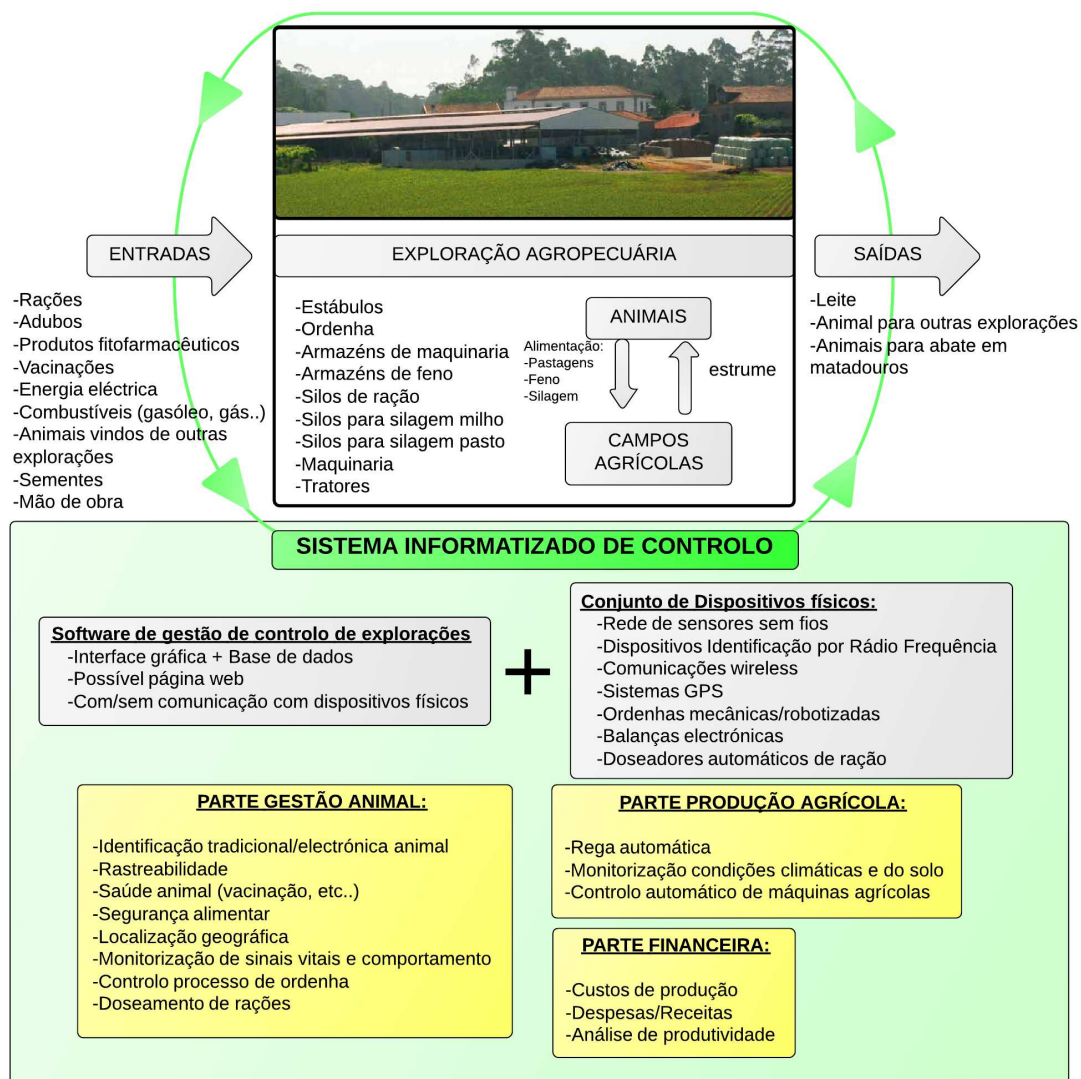


Figura 2.2: Esquema de fluxos de materiais e informação dentro de uma exploração

As principais instalações e equipamentos são estábulos para os animais, ordenha (se for o caso de exploração de produção leiteira), armazéns de maquinaria e feno, silos de ração, silos para armazenagem de silagem de milho e pastagem, maquinaria, alfaias

agrícolas e tratores.

Como elementos de entrada de uma exploração (fatores de produção) temos geralmente rações, adubos, produtos fitofarmacêuticos, vacinas, energia elétrica, combustíveis (por exemplo gasóleo para os tratores ou gás de aquecimento de águas), animais comprados a outras explorações, sementes, outras alimentações para os animais, compra de maquinaria e possíveis investimentos em sistemas automatizados para modernização. Como elemento essencial temos a mão-de-obra. A alimentação dos animais pode ser comprada a outras entidades ou então no caso de pastagens, feno, silagem ou outras culturas pode ser produzida nos campos pertencentes à própria exploração. A adubagem dos campos costuma ser complementada com o estrume dos animais.

Como produtos que saem de uma exploração (a fonte de rendimento) tem-se geralmente leite (no caso de ser exploração leiteira), animais para outras explorações, animais para abate em matadouros e a venda de colheitas (por exemplo milho, pastagens, feno, etc).

Na melhoria e modernização das explorações agropecuárias, mais intensamente depois da adesão de Portugal à UE (União Europeia) e aplicação da PAC, foram criados vários sistemas informatizados de controlo e automatização das mesmas, que no geral possuem uma parte de software de gestão e controlo (interface gráfica e base de dados com ou sem comunicação com dispositivos físicos) e um conjunto de sistemas mecanizados e/ou autónomos. Algumas tecnologias usadas são por exemplo redes de sensores *wireless*, dispositivos de identificação eletrónica animal, sistemas de localização geográfica nos tratores e também para animais, ordenhas mecânicas/robotizadas (dos primeiros meios de automação pecuária), balanças, doseadores automáticos de ração, etc.

Várias soluções comerciais existem, estando umas mais voltadas para a gestão animal, outras para a produção agrícola. Algumas já têm associado um módulo financeiro.

Na parte de **gestão animal**, os sistemas existentes procuram satisfazer os conceitos seguintes, para ir de encontro à eficácia, minimização de custos e maximização da produtividade de carne e/ou leite:

- Identificação eletrónica animal;
- Rastreabilidade;
- Saúde Animal;
- Segurança alimentar;
- Localização geográfica;
- Monitorização de sinais vitais do animal e estudo comportamental;
- Controlo do processo de ordenha e registo automático de produções de leite;
- Doseamento de rações consoante a situação do animal, sendo estipulada pelo criador ou calculada automaticamente pelo sistema com base no cruzamento de vários fatores, como idade, estado de saúde, tipo de animal, etc.

Na parte de **gestão de produção agrícola**, os sistemas existentes procuram a solução para:

- Rega automática;
- Monitorização de condições climatéricas, do solo e crescimento das culturas, com o objetivo de prever, o melhor possível, as necessidades de rega, tratamentos fitofarmacêuticos contra pragas e doenças, otimizando assim gastos nesta área;

- Controlo automático da atividade de máquinas agrícolas no campo por sistemas GPS (*Global Positioning System*), por exemplo no ajustamento da distribuição de adubo às necessidades das diferentes zonas de um terreno.

Na parte **financeira**, os sistemas existentes procuram fazer a contabilidade da exploração, calculando custos de produção e produtividades com base nas despesas, receitas e produções obtidas.

Para melhor compreender os sistemas existentes aplicados à agropecuária na atualidade em Portugal, e um pouco pelo mundo, consultar a secção 2.2.

#### 2.1.4 Identificação animal e rastreabilidade agroalimentar

A identificação de animais é uma preocupação antiga do Homem. Ao longo do tempo procurou-se encontrar alguma solução de identificação mais segura e eficiente, que provocasse o mínimo de erros. Nos métodos tradicionais (ver figura 2.3), para marcação individual de animais e associação de um registo, existem os seguintes modelos, os quais com alguns problemas associados [3].

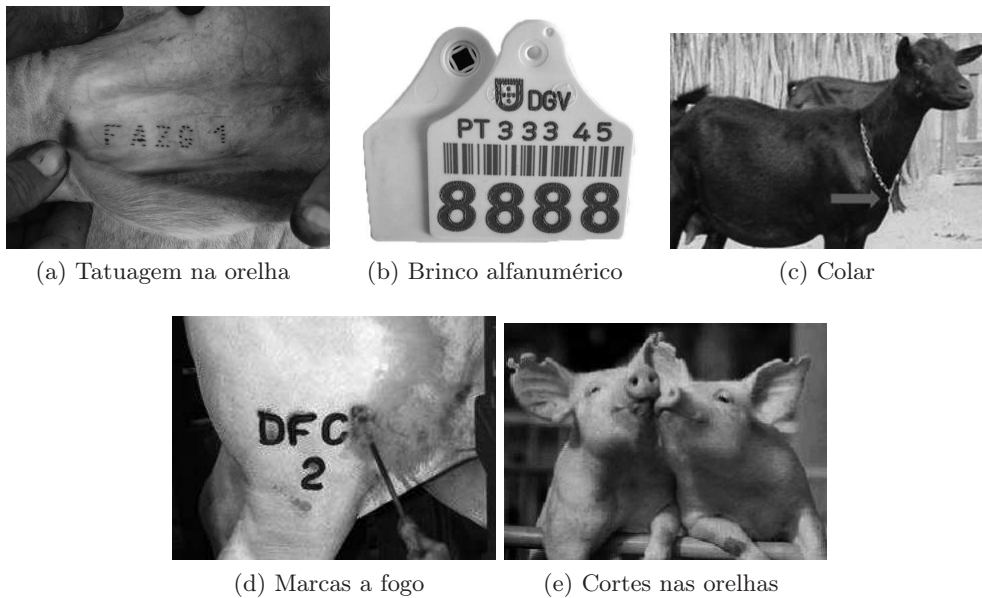


Figura 2.3: Vários tipos de identificação tradicional [27]

- **Brinco com código alfanumérico e/ou código de barras**, que só por si gera erros de leitura. A transposição para papel e transmissão a outras pessoas contribuem para uma possível identificação errada. Já o código de barras, necessita de um leitor ótico e que o brinco esteja sem sujidade;
- **Brincos e colares** podem ser perdidos;
- **Tatuagens** podem desbotar ou serem difíceis de detetar na pele do animal;
- **Cortes nas orelhas** podem fechar, podem advir de acidentes que o animal tenha e assim originar interpretações diferentes;
- **Marcas a fogo ou a frio** são pouco usadas e podem ser facilmente adulteradas.

O método mais generalizado de entre estes, embora com os seus problemas associados, é o brinco com código alfanumérico. Este método é amplamente aceite para identificação de animais de interesse pecuário.

Com o passar dos tempos, os criadores de gado procuraram aumentar os seus rendimentos, escolhendo os melhores animais e aumentando o seu número na exploração. No caso da Europa, após o início da aplicação da PAC nos países pertencentes à CEE, houve a necessidade de criar registos de informação individuais dos animais. O problema era a existência de extensos registos em papel, desagradáveis para consulta. Essa altura foi propícia à evolução das bases de dados, pois se a informação estiver organizada de acordo com uma estrutura, a sua consulta será facilitada. Com o desenvolver da informática as bases de dados sem papel começaram a ser uma realidade. A partir daqui foi apenas um passo para a existência de sistemas de informação associados a uma base de dados numa exploração, tornando possível a gestão dessa mesma exploração no que toca à produção, aos animais existentes e suas características verificadas [17].

Com o número de animais a aumentar nas explorações e a mecanização das salas de ordenha a começar de ser implementada, o registo de informação sem erros sobre um animal específico foi cada vez mais dificultada. Dessa maneira, nos finais dos anos 60, institutos de investigação do Reino Unido, Alemanha, Holanda e EUA começaram o desenvolvimento de sistemas de identificação automático de animais para integração conjunta com sistemas de informação e monitorização, assim aproveitando a potencialidade da identificação automática para lhe associar meios de controlo [3]. Nas décadas de 70 e 80 surgiram vários equipamentos protótipos, alguns tendo sido aplicados na realidade em algumas explorações. Na Holanda surgiu um sistema de controlo computadorizado de alimentação. Nos EUA criou-se um sistema passivo de identificação com monitorização de temperaturas, com base num implante subcutâneo ativado remotamente que transmitia a temperatura e o identificador animal (nunca foi comercializado). Outros sistemas procuraram a medição da atividade física para deteção do cio e outros para registo automático da produção de leite, temperatura e condutividade elétrica do leite e ritmo cardíaco do animal.

Alguns exemplos de dispositivos de identificação eletrónica podem ser vistos na figura 2.4.



Figura 2.4: Vários tipos de identificação eletrónica [28]

Como já foi referido anteriormente, a aplicação da PAC na UE trouxe até hoje mudanças no setor agropecuário e segurança alimentar. No entanto, durante anos a preocupação com a saúde alimentar, quer animal quer humana, foi esquecida. Os surtos pontuais de algumas doenças demonstraram quer a produtores quer às entidades públicas os no-

vos desafios por superar no setor agropecuário e consecutivamente na cadeia alimentar [1]. Nos anos 90 a desestabilização provocada no mercado de carne bovina pela *Bovine Spongiform Encephalopathy* (BSE) ou “doença das vacas loucas” (sendo o Reino Unido o primeiro país em que a doença tomou graves proporções) provou a urgência em adotar medidas para melhoria da transparência das condições de produção e comercialização desses produtos. Assim, a CE estabeleceu um sistema mais eficaz de identificação (ver exemplo de um sistema de informação pecuário na figura 2.5) e registo de bovinos na fase de produção e entendeu estabelecer um sistema de rotulagem comunitário específico na comercialização de carne bovina [29].

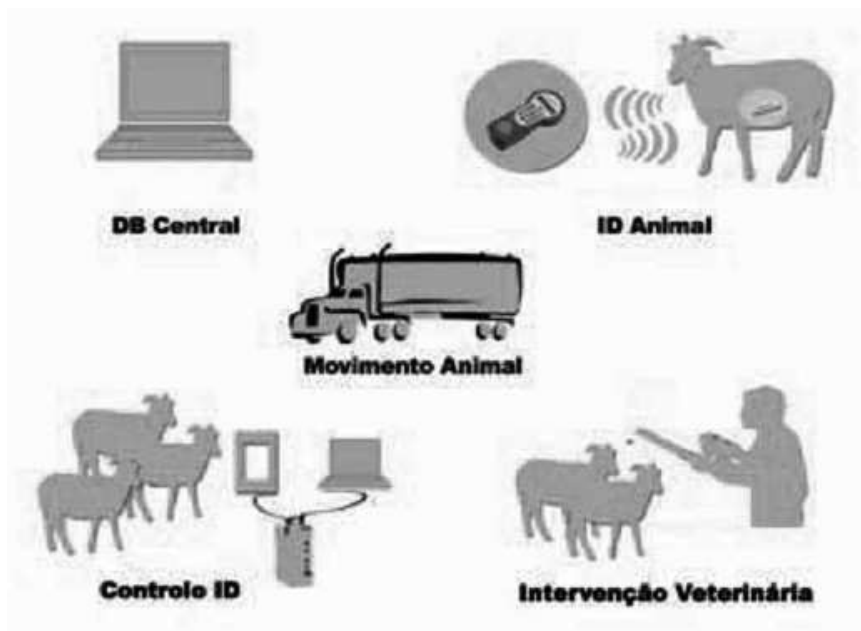


Figura 2.5: Elementos básicos a associar a um sistema de informação animal [30]

De modo a ajustar-se ao novo regime de identificação e registo de bovinos, Portugal procedeu à implementação do Sistema Nacional de Informação e Registo de Bovinos (SNIRB) em 1997, com entrada em vigor em 1999, integrando os seguintes elementos [29]:

- Marcas auriculares para identificação individual dos animais, aprovadas pelas autoridades competentes, identificando o país e a exploração de nascimento e o número de identificação nacional do animal;
- Passaporte para os animais permitindo conhecer todos os dados identificativos do animal, situação sanitária e antecedentes. Este deve acompanhar o animal nas suas deslocações entre explorações;
- Registos individuais mantidos em cada exploração, para identificação de todos os animais existentes, sempre atualizados;
- Base de dados informatizada a nível nacional, com informação relativa a cada animal e às explorações.

A um nível mais desenvolvido e na sequência do desenvolvimento tecnológico e preocupações na segurança alimentar, começaram-se a desenvolver projetos de teste em

grande escala de identificação eletrônica animal em diversos países como o Canadá, os EUA ( *National Animal Identification System* (NAIS) em 2002) e alguns países da UE em 1998, unindo-se esforços para a criação de sistemas de identificação normalizados que funcionassem com a tecnologia RFID. No caso da UE alguns países, incluindo Portugal, formaram o projeto *Identificacion Eletronique des Animaux* (IDEA). Este projeto comunitário em larga escala permitiu a Portugal testar a implementação de um sistema de identificação eletrônica de animais entre 1998 e 2002 num universo de 170000 animais (ovinos, caprinos e bovinos), aplicando em cada indivíduo um dispositivo eletrônicos na forma de bolo alimentar. Ao nível europeu permitiu a aplicação de identificadores eletrônicos nas 3 diferentes espécies referidas, em diferentes tipos de exploração (intensivo ou extensivo), com movimentações de animais interna e externa à UE e sob diferentes condições climáticas e de abate [3].

Este projeto utilizou unicamente o bolo alimentar (como dispositivo eletrônico) por ter sido considerado durante os anos 90 o dispositivo que otimizava as vantagens da identificação eletrônica ao nível dos ruminantes e na maioria das condições produtivas nacionais. Dos resultados portugueses destaca-se uma taxa de perda de identificadores na ordem dos 0.13%, valor particularmente interessante quando comparado com as taxas anuais de perda de identificadores tradicionais (brincos alfanuméricos) no nosso país, que em algumas explorações atingem os 30%. Por outro lado, a eficiência de leitura alcançada foi de 99.97% ultrapassando o exigido pelo *International Committee for Animal Recording* (ICAR) como valor para atestar a fiabilidade dum sistema (>99%) [30].

Os resultados técnicos do projeto IDEA tiveram como principal impacto alterações legislativas que visaram a introdução, a curto prazo, da identificação eletrônica como elemento base de um sistema e informação de suporte à “rastreabilidade” animal (ver figura 2.5). Este novo conceito foi introduzido nos novos regulamentos do Parlamento Europeu em 2002, entendido como “Normas e Princípios Gerais de Legislação Alimentar” e veio na sequência da implementação dos sistemas de identificação e registo nos bovinos e da potencialidade de aplicação a toda a cadeia alimentar. O conceito “rastreabilidade” na agropecuária dita que as empresas do setor alimentar, desde produtores, unidades de transformação, importadores ou exportadores devem tomar medidas para permitir saber o caminho levado de um qualquer género alimentar, ao longo de toda a cadeia alimentar, desde a exploração agrícola até ao consumidor. Assim, pretende-se com isto que todas estas empresas identifiquem os seus fornecedores e clientes (a etapa anterior e a seguinte), sendo possível acompanhar o produto nos diversos percursos [14].

Sendo o SNIRB a resposta a um caso muito concreto (bovinos com identificação não eletrônica), houve necessidade de reformular o sistema nacional de modo a integrar também o registo de ovinos, caprinos, suínos e equinos, sendo que hoje existe o SNIRA, estando já preparado para a identificação eletrônica [26].

### 2.1.5 Automatização da exploração agropecuária

Nesta secção dá-se ênfase a alguns dos principais avanços da automatização de processos na agropecuária, como as salas de ordenha, controlo da produção de culturas e equipamentos de ajuda à gestão de animais. O caso de estudo desta dissertação está focado nos equipamentos de ajuda à gestão de animais numa exploração agropecuária, mais precisamente na identificação eletrônica associada à pesagem automática de rebanhos como meio de poupança de tempo dispendido e de mão-de-obra.



### Salas de ordenha

O setor leiteiro é um daqueles da atividade agropecuária portuguesa que mais evolução tem sentido nos últimos anos, sendo dos primeiros a ser dotado de sistemas de automação e de controlo [31].

Comparando dados de 1989 com os de 1999, verifica-se uma descida do número de vacas leiteiras (21%), e uma expressiva descida no número de explorações leiteiras (69%) (passou-se de um efetivo de 324324 para 256136 vacas leiteiras e de 88932 para 27426 explorações). Apesar deste fenómeno de concentração, que se tem vindo a manter, muito pelo desaparecimento das pequenas explorações que não conseguem resistir às novas exigências de qualidade, a produção leiteira aumentou, fundamentalmente à custa da melhoria da produtividade das vacas. Isto é o resultado de investimentos cada vez maiores na evolução tecnológica, resultando na diminuição do tempo médio de ordenha por vaca, aumento do número médio de vacas por unidade de mão-de-obra disponibilizada, aumento da produção anual de leite por vaca e com certeza a melhoria genética dos animais entretanto verificada [32].

A diferença que vai da ordenha manual para a mecanizada é explícita (ver figura 2.6): poupança de mão-de-obra, maior produtividade, maior número de animais ordenhados em menor tempo e com muito menos trabalho para o agricultor.

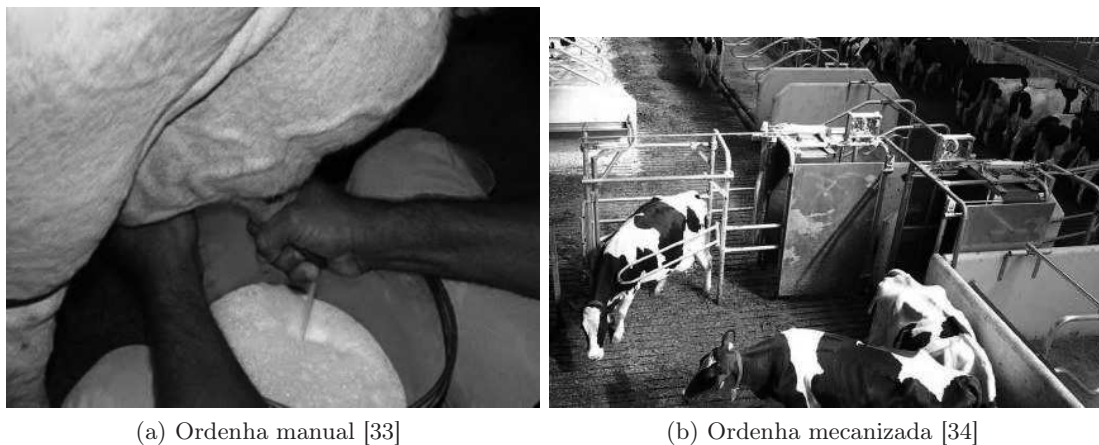


Figura 2.6: Comparação entre ordenha manual e mecanizada

Alguns sistemas de ordenha integram sistemas de identificação eletrónica dos animais, juntamente com contagem automática das produções de leite de cada um. Assim o trabalho dos operários das ordenhas é facilitado e a associação da produção de leite com o animal respetivo é feita automaticamente por meio de software, registando as informações em bases de dados que facilmente podem ser consultadas através de uma interface gráfica num computador associado ao sistema informático integrado da ordenha.

### Controlo da produção de culturas

No setor das culturas agrícolas, tem-se procurado dois grandes pontos: aumento dos rendimentos dos agricultores e a redução do impacto ambiental resultante da atividade agrícola. O primeiro objetivo compreende a tentativa da redução de custos de produção, aumento de produtividade e aumento da qualidade da produção. No segundo objetivo

tenta-se o rigor do controlo da aplicação dos fatores de produção que deve ser feita, tanto quanto possível, na justa medida das necessidades das plantas.

Desta forma trabalha-se para uma “Agricultura de Precisão”, um conceito atualmente em crescimento. Este recente conceito foi criado como consequência das crescentes preocupações para uma atividade agrícola sustentável, em termos técnicos, económicos e sociais, em paralelo com a evolução das tecnologias disponíveis [31]. Este novo modo de trabalhar está associado à utilização de equipamento de alta tecnologia (seja hardware ou software) para avaliar ou monitorizar características do solo numa determinada parcela de terreno, aplicando sementes, fertilizantes, fitofármacos ou água em conformidade. As tecnologias a que se recorre para uma “Agricultura de precisão” são geralmente os sistemas de posicionamento global (GPS), sistemas de informação geográfica (SIG), sensores eletrónicos associados a reguladores automáticos de débito nas máquinas de distribuição e medidores de fluxo nas máquinas de colheita, sensores de luminosidade, humidade do ar, medição de pH dos solos e até monitorização de propriedades biológicas das plantas (por exemplo a medição do nível de açúcar num cacho de uvas) [31].

### **Equipamentos automatizados de ajuda à gestão de animais**

A gestão animal, quando em grandes grupos (por exemplo manadas de bovinos e rebanhos de ovelhas ou cabras), é muito importante que seja feita de forma eficaz e produtiva. A gestão predominantemente manual de grandes grupos é difícil e é um processo demorado, consumindo muito tempo e muita mão-de-obra que acaba por se refletir em grandes gastos e perda de produtividade da exploração agrícola. A automatização das ordenhas também vem nesta linha de pensamento, mas quando se fala em gestão animal refere-se mais propriamente aos processos de separação do grupo em partes (machos/fêmeas, por idade, etc), verificação e contagem do grupo, identificação e recolha de variadas características dos animais individualmente (pesagem, temperatura corporal, verificação do cio no caso das fêmeas, etc), administração de serviços de veterinária (vacinação, recolhas de sangue, etc) e a alimentação.

Os principais equipamentos deste tipo, hoje em dia já instalados em algumas explorações, são leitores eletrónicos (fixos ou móveis) de animais, mangas de passagem e separação de animais, equipamentos de pesagem individual que podem estar ou não instalados nessas mangas e comedouros ou bebedouros instalados num local fixo de acesso livre aos animais mas com administração de ração ou água condicionada ao animal. Estes sistemas são baseados em hardware e software para identificação eletrónica, registo e consulta de informação em bases de dados, processamento autónomo e interfaces gráficas para com os utilizadores. Alguns equipamentos e sistemas de software comerciais são brevemente descritos na secção 2.2.

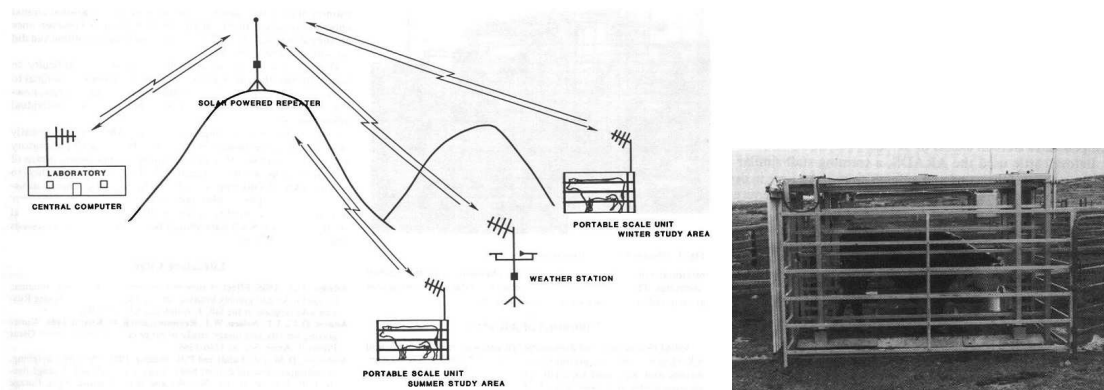
A interação dos operários de uma exploração agropecuária e dos equipamentos automáticos de apoio geram *stress* e desconforto para os animais. Esse desconforto pode-se repercutir em problemas de erros no funcionamento de alguns equipamentos, como as balanças. Um animal ao ser obrigado a passar por uma estrutura para ser pesado, pode ficar com medo e ter comportamentos imprevisíveis. O processo de pesagem requer que o animal esteja numa situação normal, tranquila e com o mínimo de movimento.

Neste sentido, procurou-se trabalhos científicos que no passado tivessem tratado este assunto, encontrando-se alguns referidos de seguida.

- **“An Automated Range-Animal Data Acquisition System” (ARADS)** [35].  
Este trabalho foi publicado em 1987 sobre um equipamento de estudo criado por vários investigadores do *United States Department of Agriculture* (USDA) nos EUA para recolher informação animal individual sem intervenção humana. Os animais alvo eram bovinos e pretendia-se integrar no mesmo sistema data e hora da identificação eletrónica e pesagem automática dos animais, consumo de água individual e relacionar estas variáveis com variáveis climáticas. Para isso foram montadas 7 unidades de pesagem e identificação, em vários locais distanciados entre si, comunicando por radiofrequência para uma central (figuras 2.7a e 2.7b). Igualmente existia uma central climatérica. Os grandes objetivos de estudo eram avaliar a evolução do peso individual de cada animal, consoante a água consumida, o tipo de pastagem existente em cada local e as condições climáticas, tudo com base na entrada voluntária dos animais na balança para ter acesso a beber água e sem perturbações humanas.
- **“A Step Toward Automatic Weighing of Range Cattle”** [36].  
Este trabalho, publicado na década de 60 do séc. XX por investigadores da Universidade do Arizona e do Colorado (EUA), pretendia apresentar um sistema de pesagem eletrónica de animais com precisão, com baterias como fonte de alimentação. O sistema de pesagem ainda não contemplava identificação eletrónica mas estava pensado para que os animais se deslocassem à balança atraídos por água ou comida (sem intervenção humana). Um dos grandes objetivos era reduzir o tempo gasto pelos operários das explorações em tarefas de pesagem e reduzir ao mínimo o *stress* provocado aos animais. Nesta fase do protótipo a identificação era feita visualmente por um operador, mas o sistema automático já estava em fase de estudo (figura 2.7c).
- **“Electronic Weighing, Identification and Subdermal Body Temperature Sensing of Range Livestock”** [37].  
Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório Científico de Los Alamos (EUA) para integrar num protótipo identificação eletrónica, pesagem automática e medição da temperatura sub-derme corporal de bovinos (figura 2.7d). As *tags* usadas nos bovinos eram protótipos colocados debaixo da pele dos animais numa zona específica, contendo um sensor de temperatura. No momento de passagem do animal pelo leitor radiofrequência, colocado numa estrutura em forma de manga, a temperatura da sub-derme é enviada juntamente com um número de identificação. O propósito deste trabalho foi a tentativa de saber se um animal se encontra doente, através da temperatura e das sucessivas pesagens.

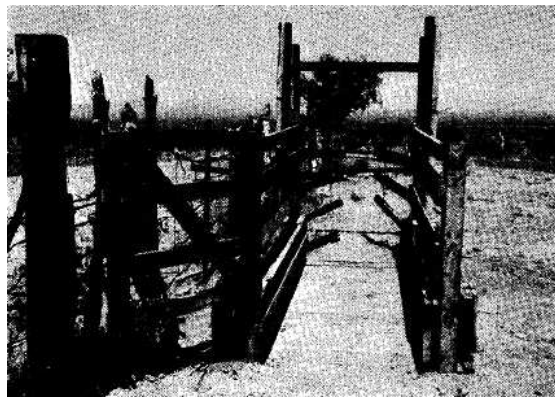
### 2.1.6 Considerações sobre a evolução da agropecuária

Neste segundo capítulo da dissertação foi necessário realizar uma descrição de vários conceitos subjacentes à evolução da agropecuária para haver o enquadramento necessário ao tema abordado e aos objetivos que se procuram resolver. Para complementar esta descrição, nas secções seguintes são abordadas soluções comerciais disponíveis no mercado e publicações científicas da área em causa.

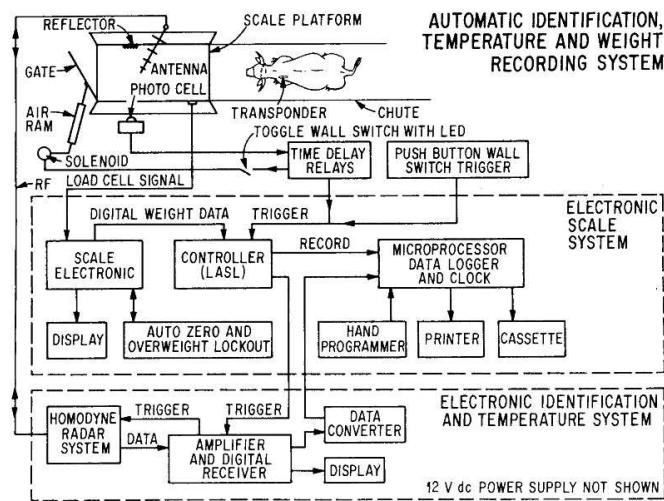


(a) Sistema ARADS - esquema geral [35]

(b) Sistema ARADS - unidade de pesagem e identificação [35]



(c) Sistema de pesagem automática no Arizona [36]



(d) Identificação eletrônica, pesagem automática e medição de temperatura sub-dermal [37]

Figura 2.7: Ilustração de protótipos projetados e construídos para ajuda à gestão de animais

## 2.2 Soluções comerciais

No mercado português existem várias empresas que se dedicam à criação de soluções de software e hardware para satisfazer as necessidades das empresas agrícolas e agropecuárias. Estas soluções, em Portugal, estão mais focadas nos softwares de gestão de dados de animais de interesse pecuário (suínos, bovinos, caprinos, ovinos e equinos) para interligação com o sistema SNIRA e identificação eletrónica animal (tecnologia RFID). Poucas são as soluções integradas de software e hardware para auxílio ao manejo de gado.

### 2.2.1 Soluções apresentadas em Portugal de apoio à agropecuária

#### AGROGESTÃO

Esta empresa apresenta aplicações genéricas de software desenvolvido para empresas e associações do meio rural [38]. Possui uma gama zootécnica, especificamente para criadores de animais de espécies de interesse pecuário, uma gama agro-industrial, para especificidades de tratamento de recepção e expedição de produto, análise e rastreabilidade e uma gama de aplicações genéricas de software de apoio a empresas e associações do meio rural, virado para a parte de gestão financeira/contabilística e fatores de produção.

- **ZOOGESTÃO** - Esta solução permite que a cada animal seja associada informação e reúne estas características principais:
  - Registo de movimentos administrativos de cada animal (entrada, saída, perda de brincos, etc.);
  - Registo de Existência e Deslocações de Bovinos (RED Bovinos) (homologado pela DGAV);
  - Registo de Existência e Deslocações de Ovinos e Caprinos (RED OC) (homologado pela DGAV);
  - Livro de Medicamentos;
  - Impressão de guias segundo o SNIRA;
  - Múltiplos parâmetros de identificação animal (exemplo nº animal dentro da exploração, número de identificação correspondente ao sistema SNIRA);
  - Registo completo de cada animal/ou rebanho;
  - Controlo de toda a informação de carácter técnico, como ocorrências e produtividades;
  - Controlo de parições, cobrições, diagnósticos de gestação;
  - Cálculo de indicadores produtivos, reprodutivos, genealogia e consanguinidade;
  - Lançamento de alertas com base em previsões parametrizáveis;
  - Agrupamento de animais por rebanho, lote, classe, raça, sexo, etc.
- **ZOOCHIP.ID** - Identificação eletrónica de animais, apresenta-se como um módulo do programa *ZOOGESTÃO*. Assim permite estar ligado a um dispositivo de leitura eletrónica e associar a cada leitura eventos ocorridos aos animais identificados. Depois os dados podem ser importados para o programa principal. O sistema pode funcionar associado a uma manga de passagem de animais (leitura dos animais em movimento com leitor fixo) em que os dados são passados automaticamente para um computador.

- *ZOOPDA* - Software de recolha e controlo de informação de campo que permite a verificação e o registo de dados no terreno. Esta solução disponibiliza:
  - Registo e consulta de parições, ocorrências, produtividades, características, cobrições e diagnóstico de gestação;
  - Localização rápida de animais por nº do SNIRA, nº animal na exploração ou por nome;

Algumas observações sobre as soluções da *AGROGESTÃO* são o facto da tecnologia ser baseada em ambiente *Windows* (MS Excel e Access), a identificação eletrónica não ser atualizada automaticamente no software principal (pois tem que se ordenar manualmente uma importação de dados), no PDA o acesso à base de dados ser feito por internet (necessita que no local de utilização haja este serviço) e a localização de animais no sistema não ser feita com base no ID atribuído a cada animal (na identificação eletrónica).

## ISAGRI

Esta empresa é de origem francesa mas atualmente está presente em toda a Europa, incluindo também a América. Esta desenvolve e comercializa software para a agricultura e pecuária [39]. Para o setor da pecuária, disponibiliza as seguintes soluções:

- *ISACARNE* - Software de gestão de bovinos de carne, que permite a centralização de todas as informações do efetivo, registo informático do livro de existências, livro de medicamentos, acompanhamento e rastreabilidade alimentar e sanitária, genealogia e consultas e registos de dados diretamente no campo através da solução *AGRIPOCKET* (software para PDA).
- *ISALEITE* - Gestão de bovinos de leite, que permite possuir características semelhantes ao *ISACARNE*, acrescentado do acompanhamento da produção leiteira com análise gráfica e ajustar o cálculo das quantidades de ração a cada animal.
- *ISAOVINOS* e *ISACAPRINOS* - Software de gestão do efetivo de ovelhas e cabras, respetivamente, possuindo características semelhantes aos softwares anteriores, mas adaptados a estas espécies.

Algumas observações a fazer sobre as soluções da *ISAGRI* são que o software se apoia em ferramentas *Windows*, é adaptável para vários equipamentos de leitura eletrónica e no caso de produção de leite é compatível com diferentes equipamentos de sala de ordenha.

## SOFTIMBRA

A *Softimbra*, empresa de Coimbra, apresenta-se como das principais firmas de agro-informática de Portugal, possuindo vários softwares aplicados a várias vertentes da pecuária e agricultura [40]. Alguns exemplos são apresentados de seguida.

- *GESTIAGRO* - Trata da gestão técnica, económica e ambiental da empresa agrícola, ajudando empresários agrícolas e técnicos que necessitam de informação atualizada da empresa em termos de fatores de produção (mão de obra, materiais, veículos) e quantidades produzidas;
- *WinOv-Milk* e *WinBov-Milk*- Programas de gestão técnica de ovinos e bovinos de leite respetivamente. As suas principais características são: fichas individuais de cada animal, previsão de ocorrências, árvore genealógica, geração de relatórios de

acordo com as escolhas do utilizador, registo das produções de leite e propriedades do leite. Não contempla a possibilidade de ligação a hardware nem a identificação eletrónica de animais;

- *WinBov-Meat* - Programa para gestão técnica de efetivos bovinos de carne. As suas opções são semelhantes a outros softwares e possui indicadores produtivos e de fertilidade;

## AGRICIÊNCIA

Esta empresa trabalha na área dos sistemas de informação para o apoio da “Agricultura de precisão” [41]. O projeto mais conhecido desta empresa é o “*i-farm*”, o qual explora as potencialidades da informática no suporte à viticultura, procurando o aumento de competitividade e produtividade. Nos seus testes de campo, desde 2006, são utilizados sobretudo sensores de monitorização sem fios (tecnologia *WiFi*) para monitorização de informação ambiental/edáfica e climática (temperatura do ar, temperatura à superfície do solo, humidade relativa do ar, humidade do solo, radiação solar, velocidade do vento e dimensão do fruto), assistentes pessoais digitais integrando acesso a internet para recolha de informação de campo e acesso direto a bases de dados e controlo remoto/atuação sobre gestão de rega ou intervenção localizada de determinada operação fitossanitária.

## PECPLUS

A criação da empresa *PecPlus - Pecuária de Precisão* resultou da adoção na Herdade dos Esquerdos (Monforte) da identificação eletrónica do seu rebanho de ovelhas, no âmbito do projeto IDEA, no ano de 2001 [42]. Esta adoção teve como consequência direta a criação e sucessivos melhoramentos de uma base de dados online para gestão da informação dos animais da exploração e controlo dos parâmetros zootécnicos do rebanho: produção, reprodução, sanidade, manejo, genealogia, etc. O sistema informático que possuem, chamado *Ovigest*, trata cada animal como um objeto de estudo e monitorização. O sistema está em permanentes testes na Herdade dos Esquerdos e em mais de 17 explorações portuguesas de ovinos.

Esta empresa aposta na integração de ferramentas de software e hardware para permitir trabalhar um rebanho. O software *Ovigest* aposta na mobilidade de aceder ao rebanho em qualquer lugar (tendo acesso a internet) e na agilidade (possibilidade de tomar decisões à distância).

Em termos de hardware a empresa disponibiliza as seguintes soluções:

- *PecManga* - Sistema que permite a leitura e separação automática de até 800 animais por hora (figura 2.8). Este faz a leitura dos bolos alimentares instalados nos animais, transmite as identificações ao leitor portátil *PECReader* via *Bluetooth* ou por cabo e este aciona o sistema pneumático de portas consoante o animal que seja. O sistema de portas possibilita a separação de até 3 grupos de forma completamente automática sem esforço para o operador ou *stress* para os animais;
- *PecReader* - Leitor de mão através de RFID, que permite obter e lançar no momento inúmeras ocorrências do animal associado à sua identificação, produção, reprodução, sanidade, etc. Ou seja, substitui completamente os registos em papel;

- ***PecBalança*** - Equipamento em fase de protótipo para pesagem de ovelhas no bebedouro ou comedouro, registando o peso do animal a cada entrada de um animal.

A *PecPlus* tem neste ano de 2013 em desenvolvimento ferramentas de pesagem para outras espécies zootécnicas. No que toca a produtos zootécnicos, comercializa *tags* na forma de bolos alimentares e brincos eletrónicos da empresa *Royal Tag*.



Figura 2.8: *PecManga* para separação de animais [42]

## RURALBIT

A empresa disponibiliza em termos de software soluções de gestão online, offline e aplicações móveis [43]. Nas soluções online apresenta:

- *Genpro online* - Base de dados online sobre explorações, animais, produções e diversos acontecimentos relacionados com o efetivo animal;
- *E-Exploração* - Plataforma online destinada a dar soluções aos vários registos que são necessários efetuar nas explorações. Possui os módulos para bovinos, caprinos/ovinos e o livro de medicamentos.

Nas soluções offline a *Ruralbit* oferece o *GenBeef Base* para gestão de bovinos. O sistema possui características gerais semelhantes aos softwares já falados anteriormente, mas não está adaptado para a identificação eletrónica dos animais. Mesmo assim permite a importação de dados a partir do SNIRA.

Em termos de aplicações móveis possuem, entre outras, o software *Genpro mobile* para instalação em PDA. Tem como funções possíveis o registo de pesos, registo por identificação eletrónica (PDA pode receber o ID animal diretamente de um leitor móvel *Allflex*, via *Bluetooth*).

A empresa comercializa equipamentos para identificação eletrónica, sendo os mais importantes:

- Leitor portátil simples (marca *Agrident*);
- Leitor bastão (marca *Allflex*) + PDA + software;
- PDA com leitor RFID incorporado + software;
- Para leitura dinâmica, painel marca *Nedap VP1850*, que integra antena e módulo RFID integrados, com capacidade de memória para ID, data e hora de identificação (estes gerados automaticamente).



## 2.2.2 Principais soluções de identificação eletrônica e/ou pesagem de animais no mundo

### ALLFLEX - Austrália

A *Allflex* originária da Austrália [44] é a empresa líder mundial na produção de *tags* para identificação eletrônica de animais, quer brincos quer bolos alimentares. Está presente em todos os continentes com diversos acessórios de apoio à colocação das *tags* nos animais, leitores móveis (em forma de bastão) e fixos para colocação em mangas de separação de animais (figura 2.9a) e software de apoio aos leitores, para registo das leituras em base de dados num PC. Alguns leitores possuem ligação *wireless* com o PC, outros por cabo.

### ANIMALTAG - Brasil

A *AnimalTAG* [45] é um fabricante brasileiro de sistemas para identificação eletrônica de animais, produzindo *tags*, leitores RFID em forma de bastão (figura 2.9b) e software para ligação dos leitores a um PC. Recentemente apresentou soluções para a pesagem de animais, mais concretamente barras de pesagem de diferentes dimensões para montagem de balanças pecuárias. Juntamente com as barras, dispõem de indicadores de peso, com *display* de resultados, memórias e permite conexão por cabo ou por *wireless* com PC para transmissão de dados.

### AGRIDENT - Alemanha

Esta empresa é especialista no desenvolvimento de leitores para identificação eletrônica de animais [46]. Dispõe de vários modelos e várias formas (figura 2.9d), tanto para leitores portáteis como para leitores fixos para aplicação em qualquer sistema pecuário (mangas de separação, balanças, ordenhas). Alguns dos seus leitores vêm preparados para uma transmissão de dados das leituras via *wireless* para por exemplo um PC, por *WiFi* ou *Bluetooth*, permitindo assim a fácil mobilidade do equipamento e conexão de dados sem restrição de cabos.

### DATAMARS-RUMITAG - Espanha

A *Rumitag* [28] é uma empresa que produz *tags* de vários tipos para implantação na pecuária e leitores eletrônicos para identificação animal. Associado à identificação também possui sistemas de separação de animais (figura 2.9c). Alguns leitores apresentam conexão *wireless* para transmissão de dados recolhidos para um PC.

### ROYAL TAG - Suíça

Esta empresa [47] é especializada no desenvolvimento e fabrico de *tags* para identificação eletrônica de animais (bolos alimentares, brincos e chips injetáveis) e sistemas de leitura fixos, portáteis e flexíveis por radiofrequência. O sistema inovador flexível (ver figura 2.9e) é composto por várias antenas flexíveis penduradas sobre uma manga de passagem de animais, assim identificando vários ao mesmo tempo.

### **TEXAS TRADING - Alemanha**

A empresa *Texas Trading* [48] apresenta soluções de pesagem (figura 2.9f) e identificação eletrônica, quer em equipamentos móveis quer em fixos, com integração de manga de passagem de animais com balança e com identificação eletrônica através de um leitor fixo. Neste equipamento onde a junção de pesagem e identificação é realizada, as informações respetivas são enviadas para um computador por cabo. Além disto a empresa apresenta produtos para alimentação, bebedouros e cercas/vedações metálicas.

### **GALLAGHER - Austrália**

A empresa *Gallagher* [49] apresenta várias soluções de identificação eletrônica, pesagem de animais, software e recolha de dados de pesagem e identificação. Apresenta soluções integradas de software e hardware para registo de dados de identificação e de pesagem (figura 2.9g), conjuntamente com sistemas de separação de animais em vários grupos. Estas aplicações podem estar disponíveis separadamente ou então associadas num mesmo equipamento, como um túnel de passagem.

### **DIGISTAR - EUA**

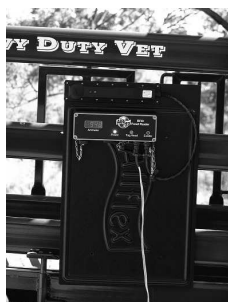
A empresa *Digistar* é especialista em sistemas de pesagem para a agropecuária [50], implementando as suas células de carga em estrados para pesagem de animais (figura 2.9h), juntamente com sistemas de identificação eletrônica para facilmente associar pesagens aos respetivos animais. Todo o processo de pesagem e identificação necessita de mão-de-obra para a realização das tarefas.

### **TOLEDO - Brasil**

A empresa *Toledo* [51] é especialista em sistemas de pesagem e apresenta soluções para a pesagem eletrônica de animais, como a solução integrada de software e hardware da figura 2.9i. Este sistema chamado *MGR CAMPO* é constituído por duas barras de pesagem para instalação num estrado de pesagem, podendo estar ou não associado a uma estrutura de contenção de animais. Associado às barras de pesagem, há uma consola que apresenta as pesagens efetuadas, permite a ligação a um leitor para identificação eletrônica dos animais e ligação a um PC para o envio dos dados de pesagem e identificação para uma base de dados de gestão do rebanho. As barras têm diversas capacidades, precisões e são construídas em aço inoxidável.

### **COIMMA - Brasil**

A empresa *Coimma* [52] apresenta vários tipos de balanças, mecânicas e/ou eletrônicas, para bovinos, caprinos e suínos. Um exemplo é o da figura 2.9j construída em madeira para bovinos, com barras de pesagem ligadas a um sistema para armazenamento de dados de pesagem dos animais com uma consola para fazer interface com o utilizador.



(a) Identificação - ALLFLEX



(b) Identificação - ANIMALTAG



(c) Identificação e separação - DATAMARS



(d) Identificação - AGRIDENT



(e) Multi identificação - ROYAL TAG



(f) Pesagem e identificação - TEXAS TRADING



(g) Pesagem e identificação - GALLAGHER



(h) Pesagem e identificação - DIGISTAR



(i) Pesagem e identificação - TOLEDO



(j) Balanças COIMMA

Figura 2.9: Exemplos de soluções apresentadas para identificação eletrônica e/ou pesagem de animais

## 2.3 Publicações científicas

Nesta secção são apresentados alguns trabalhos científicos, teses de mestrado e artigos publicados, relacionados com agropecuária.

**Inês da Silva Caramalho Vela de Oliveira, *Avaliação do impacto da instalação de um sistema de informação de gestão em explorações pecuárias - explorações de ovinos* [3]**

Esta dissertação procurou avaliar o impacto da instalação de um sistema integrado de informação de gestão, de nome PECgest, no funcionamento de explorações pecuárias. *PECgest* é composto por hardware (manga de separação automática de animais e leitores RFID portáteis) e o programa de software chama-se *Ovigest*. O conjunto de hardware permite guardar informação para posteriormente ser passada para a base de dados (*Ovigest*). O *Ovigest* é um software alojado num servidor na internet e os vários utilizadores podem aceder à informação online dos seus rebanhos, em qualquer local com acesso à internet. O software processa os dados introduzidos e faz a atualização nos registos da base de dados de parâmetros produtivos, reprodutivos e sanitários de cada animal.

A autora da dissertação efetuou uma entrevista antes da instalação do sistema a todos os técnicos de seis empresas pecuárias, selecionadas pela empresa que desenvolveu o sistema - explorações piloto. Estas explorações localizam-se no Alentejo, exceto uma que se localiza na Beira Baixa. Todas as fases de instalação deste sistema foram acompanhadas e uma nova entrevista foi realizada no final de um intervalo de utilização de um mês. Os resultados mostraram que o sistema, durante o período de estudo, não foi inteiramente adotado em explorações de produção de leite e não foi adotado em explorações de produção de carne. Os resultados obtidos devem-se, segundo a autora, ao intervalo de recolha de dados ter sido curto e por isso não terem ocorrido eventos que gerassem a informação necessária para o sistema. O sistema revelou ser mais complexo de utilizar do que se pensava inicialmente.

**Ricardo Manuel Dias Antunes, *Sistema de Monitorização de Comportamento Animal - O Ciclo Reprodutivo* [53]**

O autor desta dissertação apresenta uma contribuição para a produção animal. O autor relata que ao longo dos últimos anos tem-se verificado nas explorações pecuárias uma preocupação crescente com a necessidade de melhorar a eficiência da produção animal. A técnica de inseminação artificial tem sido a opção normalmente usada para otimizar a eficiência reprodutiva e consequentemente a melhoria genética. No entanto o sucesso da inseminação artificial é baseado na correta e atempada deteção do cio do animal. Isto é baseado no estudo dos sinais comportamentais e biológicos dos animais durante o ciclo reprodutivo, mas são processos baseados em métodos de análise de longo termo e cansativos, por vezes aumentando o desconforto do animal, segundo o autor da dissertação. Na tentativa de dar uma solução a este problema e baseado no desenvolvimento tecnológico assistido nos últimos anos, como a miniaturização da eletrónica de consumo e na generalização das comunicações, o autor pretende automatizar o processo descrito diminuindo a intervenção humana. Então o objetivo desta dissertação é implementar um sistema de monitorização que, de forma automática, caracterize o processo de cobrição (número de saltos, duração e identificação dos animais envolvidos no salto), registando a hora e data da ocorrência. O sistema desenvolvido pelo autor da dissertação apresenta-

se como de baixo consumo, utiliza a tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) para a identificação dos animais envolvidos, utiliza como unidade de processamento um microcontrolador e para as comunicações uma WSN (*Wireless Sensor Network*) baseada no padrão IEEE 802.15.4.

**Sérgio Aurélio Ferreira Soares, *Rede de Sensores Sem Fio Para Localização e Monitoramento de Pequenos Ruminantes* [5]**

Esta dissertação relata as Redes de Sensores Sem Fios como uma tecnologia emergente, que tem proporcionado um crescimento significativo das perspectivas industriais e científicas em todo o mundo. A capacidade de monitorar e controlar o ambiente, aliada a um baixo consumo de energia, permite a aplicação da tecnologia em diversos setores da sociedade. No entanto, a sua utilização principalmente no setor agropecuário ainda se apresenta bastante tímida. Assim, o autor desta dissertação apresenta o processo de desenvolvimento de um sistema composto por hardware e software capaz de monitorar animais utilizando uma Rede de Sensores sem Fios baseada no protocolo *ZigBee* 802.15.4. Segundo esta solução proposta, cada animal utiliza um colar com um nó sensor sem fios responsável por medir a temperatura ambiente, humidade relativa e frequência cardíaca do animal, bem como estimar a sua localização, através de métodos baseados na intensidade do sinal recebido (RSSI). O objetivo deste trabalho, segundo o autor, é permitir uma melhor compreensão no estudo do efeito de variáveis meteorológicas na qualidade de vida e produção dos animais, bem como na análise de hábitos de pastoreio e alterações de comportamento dos animais através do rastreamento da sua localização. Adicionalmente o autor espera contribuir para o projeto de novos algoritmos para a localização por RSSI e deteção automática de alterações comportamentais e fisiológicas dos animais.

**Abdul Samad, Prashant Murdeshwar, Zohaib Hameed, *High-credibility RFID-based animal data recording system suitable for small-holding rural dairy farmers* [54]**

Este artigo, realizado na Índia, relata que para permanecer competitiva a nível mundial e para garantir a rastreabilidade, as operações de pecuária estão a adotar a identificação eletrónica dos animais baseada em sistemas de radiofrequência (RFID) e sistemas de registo de dados. Estes sistemas integrados oferecem as vantagens de baixos custos de mão-de-obra, devido aos processos automatizados, lucros melhorados, otimização da produtividade, saúde e bem-estar animal. No entanto, a aplicação dos sistemas RFID em pequenos criadores de gado pode não ser economicamente viável. Além disso, a criação e funcionamento de um sistema de registo de dados para pequenos agricultores também é difícil devido a restrições de tamanho e distância das unidades agrícolas. Os autores deste artigo desenvolveram um sistema integrado para pequenos produtores de leite para permitir a utilização da tecnologia RFID para garantir a credibilidade do registo de produções de leite e ajuda à prestação de serviços veterinários. O sistema integrado é composto pela *tag* no animal, leitor RFID, um PDA (*Personal Digital Assistant*) com software personalizado instalado e uma ligação à internet para conexão com o servidor web. Os autores implementaram e validaram o sistema num conjunto de 5000 animais leiteiros, com uma média de 2 a 3 animais por agricultor. A análise económica realizada sugere que o custo de investimento seria recuperado, mesmo havendo ações fraudulentas no uso do equipamento. No entanto o sistema só pode ser implementado em operações em que a empresa de processamento de leite colabora com os serviços veterinários.

**Jianze Li, Junlong Fang, Yongcun Fan, Changli Zhang, *Design on the Monitoring System of Physical Characteristics of Dairy Cattle Based on Zigbee Technology* [55]**

Este artigo fala sobre um dos problemas difíceis na pecuária leiteira que é a detecção do cio das vacas, cuja tecnologia tem sido desenvolvida em alguns países, mas que no entanto na China ainda está em fase de desenvolvimento. O sistema apresentado neste artigo pretende detetar o cio nas vacas a partir da análise da temperatura do corpo e do volume de movimentos. Os dados recolhidos são enviados via *wireless* segundo o protocolo *ZigBee*. O sistema é composto por um transmissor-recetor *wireless*, o seu controlador, um sensor de infravermelhos e um sensor digital de aceleração (acelerómetro). A rede *wireless* trabalha na topologia estrela e cada nó de aquisição de dados foi fixa à coxa do animal, identificando o animal pela singularidade do endereço de transmissão de cada nó *ZigBee*. Todos os dados de todos os nós são enviados para o nó coordenador de rede que os transfere por USB para um PC, onde está alojado uma interface gráfica para consulta e monitorização dos dados guardados na base de dados. Segundo os autores, a utilização do sistema pode não só fazer a monitorização do cio dos animais, como também ajudar gestores a melhorar o nível de gestão e os benefícios económicos da atividade leiteira.

**Zaiqiong Wang, Zetian Fu, Wei Chen, Jinyou Hu, *A RFID-based Traceability System for Cattle Breeding in China* [56]**

Nos últimos anos, a indústria de criação de gado na China tem tido um rápido desenvolvimento. Com uma demanda crescente para a segurança, as documentações completas para a rastreabilidade da criação de gado tornaram-se obrigatórias. Neste artigo, os autores apresentam um sistema de rastreabilidade baseado em RFID para a gestão diária de carne, a fim de conseguir o controlo completo de informações no processo de criação de carne bovina. Ao utilizar a tecnologia RFID e PDA, este sistema de gestão pode fornecer uma referência útil e uma solução completa para uma empresa de animais em grande escala pecuária.

## 2.4 Síntese do capítulo “A agropecuária”

Mediante o estudo realizado a trabalhos científicos recentes relacionados com agropecuária, denota-se uma preocupação na identificação eletrónica de animais aliada à recolha automática de variadas características sobre cada animal em concreto, com registos eletrónicos organizados, com vista a poupança de tempo e mão-de-obra dispendidos nestas tarefas. Mas deteta-se uma lacuna na abordagem a equipamentos de apoio à gestão de manadas ou rebanhos que integrem parte mecânica e parte de automação com o objetivo de adicionar a pesagem voluntária dos animais como parte integrante do sistema de rastreabilidade duma exploração.

Esta dissertação pretende dar um contributo nesta área, mais propriamente na identificação eletrónica e pesagem automática, sem intervenção humana, aproveitando a ida voluntária do animal para saciar a sede a um bebedouro dotado de balança e leitor de identificação eletrónica. O equipamento, para ter utilização versátil, terá uma ligação *wireless* a uma central com base de dados e interface gráfica, principalmente para a transmissão dos dados de identificação e peso.

## Capítulo 3

# Tecnologias de Suporte

*Neste capítulo introduzem-se as tecnologias, protocolos de comunicação e normalizações usadas nesta dissertação. De forma a alcançar os objetivos propostos nesta dissertação, foram utilizadas: a tecnologia RFID, para a identificação eletrônica e automática dos animais; a tecnologia ZigBee para a comunicação wireless entre o sistema a ser localizado junto dos animais e o sistema central da exploração; e protocolos de comunicação série RS232 e RS485, para comunicação de dados por cabo entre diversos equipamentos utilizados.*

*Começa-se por fazer uma nota introdutória à era das comunicações e sua evolução histórica. Após isso faz-se uma breve comparação entre os sistemas de identificação automática mais importantes, de entre os quais se destaca o RFID pois é o que apresenta melhores características que se adequam à aplicação agropecuária. Seguidamente faz-se uma descrição sobre os sistemas RFID e variadas particularidades da tecnologia, prosseguindo-se com uma simples descrição das normas IEEE 11784/5 e IEEE 14223 sobre identificação de animais por radiofrequência.*

*Continuando, apresenta-se uma descrição simples da tecnologia ZigBee e da norma IEEE 802.15.4, comparando com outras tecnologias wireless. Esta escolha resulta da sua facilidade de implementação, baixos custos associados, consumos mínimos apresentados e da necessidade de flexibilização da solução, eliminando cabos de comunicação entre o “Sistema Campo” e o “Sistema Central Exploração”.*

*Por fim, descreve-se sumariamente os protocolos de comunicação industrial utilizados, RS232 e RS485, pois foram utilizados para interligar localmente vários dispositivos na solução proposta.*

### 3.1 Introdução histórica à era das comunicações

A compreensão científica progrediu muito lentamente até ao século XVII. Mas a partir deste até ao século XIX houve uma explosão de conhecimentos em eletricidade, magnetismo e ótica, acompanhada do crescimento de observações relacionadas com a matemática. Benjamin Franklin foi um dos primeiros pioneiros nestes estudos, no século XVIII. Na figura 3.1 pode-se observar os marcos mais importantes da evolução temporal dos estudos científicos desenvolvidos nestas áreas.

No século XIX, mais propriamente em 1846, o cientista inglês Michael Faraday propôs que a luz e as ondas rádio faziam parte da energia eletromagnética. Em 1864, o físico escocês James Maxwell publicou a sua teoria sobre campos eletromagnéticos e concluiu que a travessia de energia elétrica e magnética em ondas transversais se desenvolve a uma

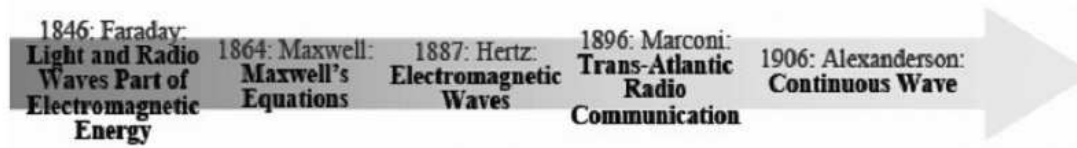


Figura 3.1: Diagrama temporal do desenvolvimento científico [57]

velocidade equivalente à da luz. Em 1887 Heinrich Rudolf Hertz, um físico alemão, confirmou a teoria eletromagnética de Maxwell, produzindo ondas eletromagnéticas (ondas rádio) que demonstrou serem longas e transversais, propagando-se à velocidade da luz e suscetíveis de reflexão, refração e polarização, como a luz. Em 1896, Guglierno Marconi demonstrou com sucesso a transmissão de radiotelegrafia através do Atlântico. As ondas de rádio de Hertz e Marconi eram feitas por arco elétrico.

Em 1906 Ernest Alexanderson demonstrou a primeira onda contínua e a geração e transmissão de sinais rádio, usando o princípio de modulação, ainda hoje bastante usado. Este acontecimento marca o início da comunicação moderna, onde todos os aspetos de ondas rádio são controlados.

## 3.2 Introdução aos processos de identificação automática

As tecnologias *Automatic Identification and Data Capture* (AIDC) são o resultado dos desenvolvimentos e estudos sobre procedimentos de identificação automática, que se tornaram muito populares por exemplo em muitas indústrias de serviços, logística de compras, distribuição, empresas de manufatura, setor agro-alimentar e no controlo de acessos. Assim, existem processos de identificação de pessoas, animais, mercadorias e produtos em trânsito. O princípio de funcionamento básico de um sistema de identificação automática é a existência de um dispositivo chamado leitor, que comunica com outro dispositivo colocado no objeto a identificar (dispositivo de transporte de dados), havendo trocas de informação entre ambos.

O sistema mais conhecido e com maior implantação é o sistema de código de barras, omnipresente em qualquer produto. Este foi o sistema que provocou a revolução na identificação automática de produtos. Apesar do seu preço ser extremamente barato, a baixa capacidade de armazenamento de informação, a necessidade de estar bem visível para identificação e o facto de não poder ser reprogramado levaram ao maior crescimento de tecnologias com recursos eletrónicos, em tempos estudadas mas com tímidas aplicações. Essas tecnologias passaram por uma fase em que se usava cartões inteligentes (os chamados *smart cards*), mas estes necessitavam de contacto mecânico para que se fizesse a transferência de dados. Desta forma o desenvolvimento de transferência de dados sem contacto e de forma eletrónica era indispensável para uma maior flexibilidade.

As principais tecnologias de identificação automática existentes e pertencentes ao grupo AIDC são:

- Código de barras;
- Identificação por radiofrequência(RFID);
- Reconhecimento ótico de caracteres (OCR);



- Banda magnética;
- Processos biométricos - Reconhecimento de voz e Impressão digital;

Seguidamente é apresentado uma breve descrição destas tecnologias, com exceção da tecnologia RFID, descrita à parte na secção 3.3, pois é a tecnologia estudada e implementada nesta dissertação.

### 3.2.1 Código de barras

O código de barras é um sistema de código representado por um campo de barras e lacunas dispostas numa configuração paralela. Estas são organizadas de acordo com um padrão pré-determinado e representam informação sobre um símbolo associado. A sequência de barras e lacunas de largura variável representam um código numérico ou alfanumérico. Este é lido por varrimento ótico, pela diferença de reflexão de um feixe de laser nas barras pretas ou nas lacunas.

O código de barras mais popular é o código *European Article Number* (EAN) que foi projetado especificamente para atender aos requisitos do setor de mercearia em 1976. O código EAN representa um desenvolvimento do código *Universal Product Code* (UPC) desenvolvido nos EUA em 1973. Nos dias de hoje o UPC representa um subconjunto do código EAN, ou seja, são compatíveis.

O código EAN é composto por 13 dígitos: identificador do país de origem (3 dígitos), identificador da empresa (4 dígitos), número do item do fabricante (5 dígitos) e 1 dígito de verificação.

### 3.2.2 OCR

O reconhecimento ótico de caracteres foi usado pela primeira vez na década de 60 do século XX. Para isso foram desenvolvidas fontes de letra com caracteres estilizados de modo a que pudessem ser lidos tanto por pessoas como de forma automática por máquinas. A vantagem é a elevada densidade de informação e a possibilidade de leitura visual numa emergência ou simplesmente para controlo.

Esta tecnologia é mais usada nos campos administrativos e sistemas bancários, mais propriamente no registo de cheques. No entanto não conseguiu tornar-se universalmente aplicável devido ao alto preço.

### 3.2.3 Processos Biométricos

A utilização de processos biométricos permite a identificação pessoal de forma individual e automatizada, com recurso a determinadas características físicas presentes nos seres vivos, das quais as mais importantes são:

- Reconhecimento de voz - este sistema, na forma mais básica, usa um microfone ligado a um equipamento que converte o sinal captado das palavras da pessoa para um sinal digital, que é analisado por software.
- Identificação por impressão digital - Muito usado na criminologia para identificação de pessoas envolvidas em crimes. Baseia-se na comparação entre as impressões digitais deixadas em objetos e a forma das papilas dérmicas das pontas dos dedos. Também é usado no controlo de acessos, através de leitores de impressão digital.

### 3.2.4 *Smart Cards*

A tecnologia *Smart Card* é utilizada na identificação pessoal, bancária e comunicações móveis (GSM) através de um microprocessador e memória incorporados no interior do cartão. O ID-1 é o formato mais comum desta tecnologia, definido pela norma ISO/IEC 7810.

Em termos de funcionamento, o cartão *Smart Card* necessita de ser colocado num leitor de cartões destinado para o efeito, para que este forneça alimentação e sinal de *clock* necessários à comunicação do microprocessador e da memória incorporados.

Esta tecnologia tem a desvantagem de necessitar de contacto físico para a comunicação entre equipamentos e apresentar pouca proteção contra agressões ambientais e partículas externas, daí a sua deterioração mais rápida e menos durabilidade.

### 3.2.5 Comparação dos principais sistemas

Na tabela 3.1 é realizada uma comparação entre os principais sistemas de identificação automática existentes.

Tabela 3.1: Comparação dos diferentes sistemas de identificação automática[58]

Parâmetros de sistema	de	Código de Barras	OCR	Reconhecimento de voz	Impressão Digital	<i>Smart Cards</i>	RFID
Quantidade de dados (bytes)	de típica	1-100	1-100	-	-	16-64KB	16-64KB
Densidade de informação		Baixa	Baixa	Alta	Alta	Muito alta	Muito alta
Legibilidade por máquina		Boa	Boa	Muito cara	Muito cara	Boa	Boa
Legibilidade humana		Limitada	Simples	Simples	Difícil	Impossível	Impossível
Influência de sujidade/humidade	de	Muito alta	Muito alta	-	-	Possível (contactos)	Sem influência
Influência por objetos que a envolvam		Falha total	Falha total	-	Possível	-	Sem influência
Influência da direção e posição		Baixa	Baixa	-	-	Unidirecional	Sem influência
Degradação/ desgaste		Limitada	Limitada	-	-	Contacto	Sem influência
Custo de aquisição		Muito baixo	Médio	Muito alto	Muito alto	Baixo	Médio
Custo de operação		Baixo	Baixo	Nenhum	Nenhum	Médio (contactos)	Nenhum
Cópia/modificação desautorizada		Ligeira	Ligeira	Possível (gravação áudio)	Impossível	Impossível	Impossível
Velocidade de leitura	de	Baixa ( $\pm 4s$ )	Baixa ( $\pm 3s$ )	Muito baixa (5s)	Muito baixa (>5-10s)	Baixa ( $\pm 4s$ )	Muito rápida (0.5s)
Distância máxima entre suporte dados e leitor		0-50cm	<1cm	0-50cm	Contacto direto	Contacto direto	0-5m (micro ondas)

### 3.3 Tecnologia RFID

A tecnologia RFID tem sido desenvolvida ao longo dos anos e aplicada em variadas áreas em larga escala, como prevenção de roubo automóvel, estacionamento automático, controlo de acesso a edifícios, sistemas logísticos industriais, identificação animal, etc. Este processo de desenvolvimento, que teve início há mais de 60 anos, trata de um método de comunicação e identificação automática sem contacto físico que usa sinais de rádio para captar e enviar dados entre um leitor (designado por *transceiver*) e uma etiqueta (designada comumente por *tag* ou *transponder*).

As aplicações bem como a implementação de sistemas RFID requerem bastante desenvolvimento ao nível de software e hardware, englobando o estudo de design de antenas, propagação de ondas rádio, técnicas de produção de circuitos integrados, métodos de codificação de dados, encriptação e protocolos de segurança, materiais, serviços informáticos e até design final dos produtos.

Atualmente existe no mercado uma grande quantidade de leitores e *tags* e cada um tem o seu propósito, desde leitores de grande porte até aqueles que se podem incorporar num telemóvel, passando por leitores que funcionam debaixo de água, *tags* que se injetam debaixo da pele de um animal ou pessoa, ou até coladas em equipamentos ou embalagens. O importante é que a utilização do RFID na indústria tem demonstrado impactos significativos na produtividade: otimização da gestão da produção, substituição de trabalhos manuais por processos mais eficientes e automatizados em conjunto com informações mais precisas e relevantes.

No gráfico ilustrado na figura 3.2 pode-se ver uma previsão efetuada em 2008 acerca do mercado total da tecnologia RFID (em milhões de USD) desde 2004 até 2010. Segundo Patrick Schmitt [59], o mercado total de RFID apresenta 63% de aplicações relacionadas com a segurança e controlo de acessos e 29% usadas em identificação animal. Apenas 8% das aplicações estão relacionadas com a gestão da cadeia de fornecimento, devido a dificuldades de integração e complexidade dos sistemas de rastreabilidade, bem como falhas na normalização para a partilha de dados na cadeia de fornecimento.

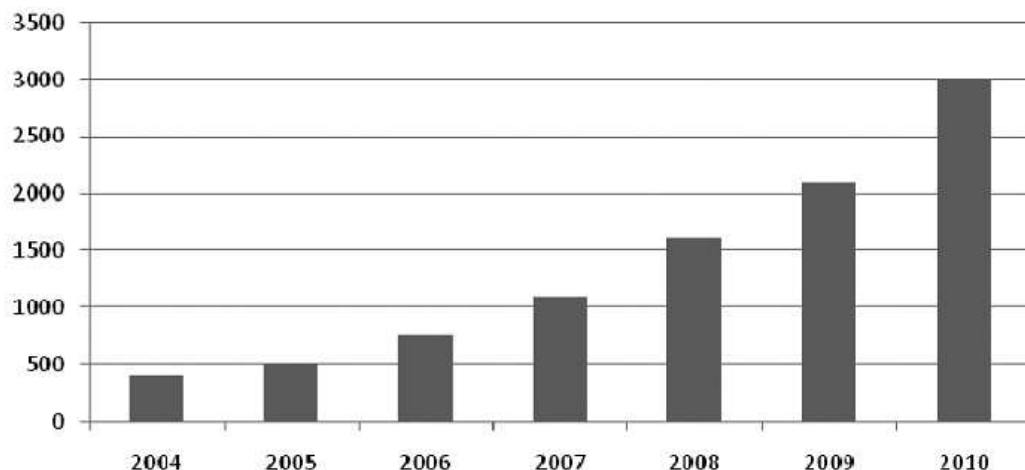


Figura 3.2: Mercado total de RFID em milhões de dólares (USD) [59]

### 3.3.1 História da evolução da tecnologia

Na figura 3.3 pode-se observar um resumo da história do nascimento da tecnologia RFID.

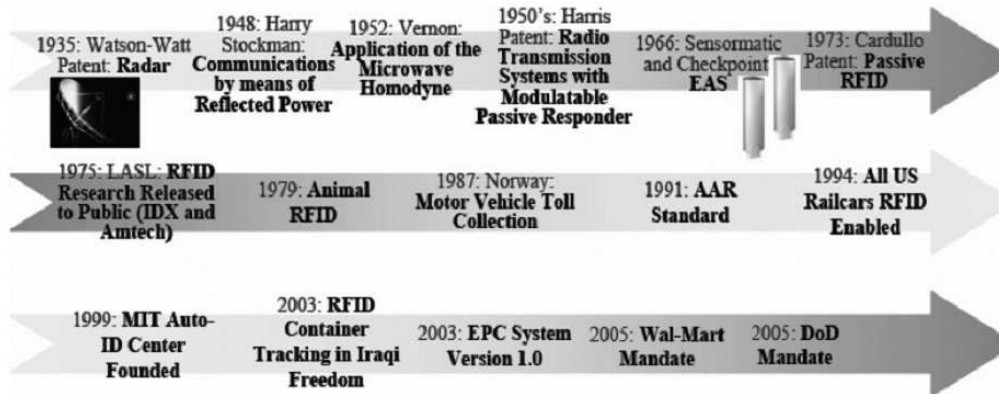


Figura 3.3: Diagrama temporal da evolução histórica do RFID [57]

O nascimento propriamente dito da tecnologia RFID está provavelmente ligado ao aparecimento do radar, em 1935, pela mão do físico escocês Alexander Watson-Watt. O radar transmite ondas de rádio para detetar e localizar um objeto por reflexão das ondas, podendo determinar a posição e velocidade desse objeto. Esta foi uma ferramenta muito utilizada pelas grandes potências envolvidas na II Guerra Mundial, pois permitia avisar com antecedência da aproximação de aviões que estavam ainda distantes e saber a sua rota. Um dos problemas associados era saber qual dos aviões era inimigo ou aliado. Então os alemães descobriram que se os seus pilotos girassem os aviões no regresso à base modificavam o sinal de rádio que era refletido de volta. Este método simples é considerado como o primeiro sistema RFID passivo [60].

As décadas de 40, 50 e 60 do século XX o RFID conheceu avanços significativos e especialmente durante a década de 70, onde vários estudos sobre as teorias e modos de funcionamento do sistema levaram a um rápido desenvolvimento da tecnologia e da exploração de novas aplicações, nomeadamente ao nível industrial e agrícola, com diversos protótipos em testes. O USDA entretanto desenvolveu uma aplicação para rastreio de gado e a identificação eletrónica de animais começa a ganhar alguma importância.

A primeira aplicação comercial do RFID foi a *Electronic Article Surveillance* (EAS) em 1966 como sistema de prevenção de roubo, por iniciativa das empresas *Sensormatic* e *Checkpoint*. Baseado em *tags* que armazenavam um único bit, o sistema permitia saber se um produto ao sair da loja já tinha sido pago ou não. A primeira patente terá sido efetuada por Mário Cardullo em 1973, que regista uma *tag* RFID ativa com memória de 16 bits para ser usado com um sistema de portagem. Outro sistema foi o de Charles Walton que regista uma *tag* passiva utilizada para destrancar a porta de um automóvel sem necessidade de chave [60].

Na década de 80 o RFID entra definitivamente na indústria e comércio. Na Europa vários grupos empresariais entram na corrida do RFID, sendo necessário a criação de normalização das aplicações RFID na Europa.

### 3.3.2 Constituição de um sistema RFID

O RFID apresenta dois tipos de dispositivos: o **leitor** e a **tag**. O leitor faz a comunicação com a *tag* presente no seu campo de leitura e assim pode identificar o objeto ao qual está fixa essa *tag*, através do seu identificador único (ID). Dependendo das especificidades da *tag*, pode-se efetuar uma leitura ou uma escrita na memória de dados. O leitor por sua vez pode estar ligado, através de um interface de comunicação de dados, a um outro sistema que por exemplo recebe a informação vinda da *tag*.

Na figura 3.4 pode-se ver um esquema exemplificativo de uma simples aplicação RFID.

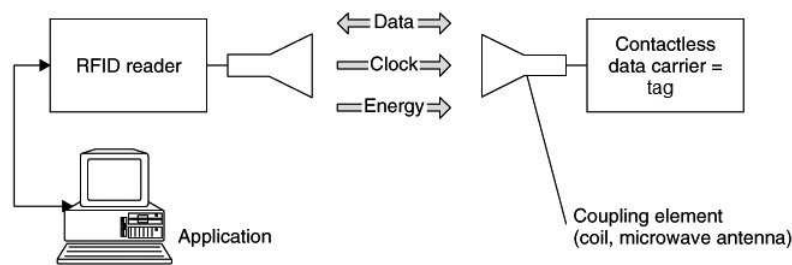


Figura 3.4: Constituição de um simples sistema RFID [58]

Tanto o leitor como a *tag* são sistemas emissores e recetores de informação, apresentando a seguinte constituição:

- **Microprocessador ou circuito analógico passivo;**
- **Memória de dados;**
- **Antena.**

O microprocessador tem a tarefa de controlar o dispositivo (quer seja o leitor ou uma *tag*), permitindo efetuar o processamento vital ao sistema (comunicação entre os dispositivos, encriptação, anti-colisão, etc). Ainda existem as *tags* mais simples, apenas com um circuito analógico passivo. A memória de dados contém a informação do sistema e pode estar diretamente integrada no microprocessador. A antena permite a comunicação entre sistemas, enviando ou recebendo mensagens. As antenas podem ter várias configurações, sendo as mais utilizadas em forma de bobina (sistema indutivo) e antena dipolar (*tags* que funcionam nas frequências de micro-ondas). No caso particular da bobina, esta tem funções diferentes consoante o dispositivo que seja. No caso do leitor, a bobina serve como gerador de energia eletromagnética. Na *tag* tem a função de captação do campo eletromagnético para a sua energização (isto no caso particular das *tags* passivas).

O campo de leitura é definido como a região onde é possível efetuar a comunicação entre leitor e *tag*, esta última apresentando energia suficiente para a comunicação com o leitor.

A função principal do leitor é enviar um pedido para a *tag* através de ondas radiofrequência. Por sua vez, a *tag* responde aos pedidos efetuados pelo leitor. Existem diferentes tipos de *tags* e equipamentos, sendo que a maior parte das *tags* permite alocação de dados em memória interna. Além da memória de dados, as *tags* possuem um número de identificação único, para deteção de forma singular.

A tecnologia RFID existe em diversas vertentes. O leitor pode ter apenas uma antena ou apresentar múltiplas antenas para comunicação com várias *tags* ao mesmo tempo.

### 3.3.3 Classificação dos sistemas RFID

O mercado atual oferece várias opções de escolha em sistemas RFID, nas várias áreas de aplicação. Assim, mediante as necessidades do trabalho a desenvolver, é preciso analisar os prós e os contras das soluções disponíveis. Para isso é fulcral atender aos seguintes parâmetros:

- Frequência de operação;
- Alcance do campo de leitura;
- Capacidade de leitura;
- Integração de memória de dados;
- Taxa de transmissão de dados;
- Fonte de alimentação elétrica;
- Sensibilidade a objetos externos (metais, líquidos, etc);
- Algoritmos de segurança.

A relação resultante destes parâmetros dita os princípios de funcionamento, tipos de comunicação leitor-*tag*, o modo de construção dos equipamentos e o formato da própria *tag*. Nas secções seguintes são abordadas estas temáticas.

Em termos de quantidade de dados transmitidos, podemos ter os sistemas RFID com apenas 1 bit de dados transmitidos ou com vários bits transmitidos. Os sistemas RFID com vários bits transmitidos operam segundo um destes procedimentos básicos: sistemas *full duplex* (FDX)/ *half duplex* (HDX) ou sistemas sequenciais (SEQ) (explicados nas secção 3.3.4). Os sistemas podem ser programáveis ou não, podem ter diferentes controladores, sistema de alimentação passivo ou ativo, várias frequências de operação e diferentes modulações de mensagem na comunicação entre *tag* e leitor e vice-versa. Estas temáticas são abordadas nas secções seguintes.

### 3.3.4 Princípios de funcionamento da comunicação leitor-*tag*

Os princípios de funcionamento dos sistemas RFID podem ser agrupados em dois grandes grupos:

- **Tag 1-Bit;**
- **Tag N-Bit.**

No grupo das *tags* 1-Bit, o princípio de funcionamento baseia-se na transmissão de apenas um bit entre *tag* e leitor (e/ou vice-versa), terminando de seguida a comunicação. Isto significa que apenas 2 estados podem ser representados através destes sistemas: “*tag* presente no campo de leitura” ou “*tag* ausente do campo de leitura”. Apesar desta limitação, estes sistemas são muito difundidos em dispositivos anti-roubo em lojas (do tipo EAS). Um sistema do tipo EAS 1-Bit é constituído pelos seguintes componentes: a antena do leitor, a *tag* que é o elemento de segurança do item e o dispositivo leitor para desativar a *tag* após passar na máquina registadora para pagamento. Este tipo de funcionamento caracteriza-se por ser geralmente rápido e descontínuo, pois exigem apenas uma resposta da *tag* para o leitor.

No grupo onde a transmissão envolve mais do que um bit, o nível de transmissão é muito mais complexo, podendo até envolver permanente comunicação. Assim as *tags* usam um microcontrolador (uC) para o transporte de dados, com capacidade de armazenamento de alguns kilobytes. Neste grupo podem-se distinguir três formatos diferentes de comunicação:

- *Full duplex* (FDX);
- *Half duplex* (HDX);
- *Sequencial* (SEQ).

No formato HDX a transferência de dados da *tag* para o leitor alterna com a transferência em sentido oposto, ou seja transmite um de cada vez. Isto permite grande simplificação da eletrónica envolvida. No entanto, num sistema a funcionar com *tags* passivas, apesar de não estar constantemente a enviar dados, o leitor terá que enviar um sinal adicional contínuo para alimentar a *tag*, pois esta requer energia contínua para o seu correto funcionamento.

Em FDX tanto o leitor como a *tag* estão a transmitir em simultâneo, havendo passagem de dados nos dois sentidos. Mais uma vez a transferência de energia dá-se de modo contínuo, no caso de *tags* passivas.

O modo sequencial (SEQ) é parecido com o HDX. A principal diferença está no facto de que agora o leitor não ter de emitir um sinal contínuo de energia mas apenas quando envia dados. A *tag* tem mecanismos de armazenamento de energia para utilizá-la apenas na transmissão.

Todas estas características podem ser observadas na figura 3.5, onde a transferência de dados do leitor para a *tag* denomina-se de *downlink* e da *tag* para o leitor *uplink*.

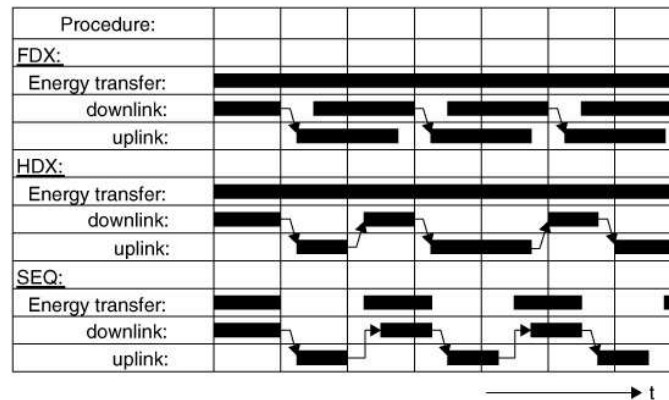


Figura 3.5: Representação da comunicação FDX, HDX e SEQ ao longo do tempo num sistema RFID [58]

Para que a comunicação seja feita há diversas formas de montagem do leitor e da *tag*, que são chamados de acoplamento, com diferentes fenómenos físicos explorados. Assim os mais importantes são o **acoplamento indutivo** e o **acoplamento eletromagnético** (*backscatter*).

Em termos de alcance de transmissão, os sistemas RFID são classificados em três categorias: **acoplamento fechado**, **acoplamento remoto** e **acoplamento de grande alcance**. A tabela 3.2 apresenta algumas propriedades que definem os três sistemas de acoplamento.

### Acoplamento indutivo

O tipo de acoplamento utilizado por um determinado sistema RFID influencia o alcance de transmissão e frequência de operação. O princípio de funcionamento do acoplamento indutivo é semelhante ao processo de transferência de energia num transformador.

Tabela 3.2: Comparação dos sistemas de acoplamento [58]

	Sist. fechado	Sist. remoto	Sist. longo alcance
<b>Alcance</b>	< 1cm	< 1m	> 1m
<b>Frequência</b>	30 MHz	135 kHz a 13.56 MHz	860-930 MHz/ 2.45 GHz
<b>Acoplamento</b>	Indutivo	Indutivo	<i>Backscatter</i>

O leitor e a *tag* apresentam enrolamentos indutivos. Quando a *tag* se aproxima do campo magnético gerado pelo leitor (ver figura 3.6), o fluxo magnético cria uma tensão na bobina da *tag*. O princípio de funcionamento é baseado na lei de Faraday, que demonstra a proporcionalidade entre a força eletromotriz induzida num condutor e a variação de fluxo magnético atravessado na bobina por unidade de tempo. A tensão gerada é posteriormente retificada para a alimentação da *tag*. A comunicação da *tag* para o leitor é efetuada através da modulação de carga da bobina. O leitor por sua vez consegue identificar as variações ocorridas pela variação de carga da *tag*, recebendo a informação. O acoplamento indutivo é utilizado em sistemas que apresentam *tags* passivas que necessitam de alimentação externa por parte do leitor RFID. O alcance de transmissão dos sistemas de acoplamento indutivo é limitado a aproximadamente 1 metro de distância e as frequências mais utilizadas são as 13.56 MHz e a gama dos 135 kHz. Este sistema é o que se utiliza nos sistemas RFID aplicados à agropecuária (objeto de estudo nesta dissertação).

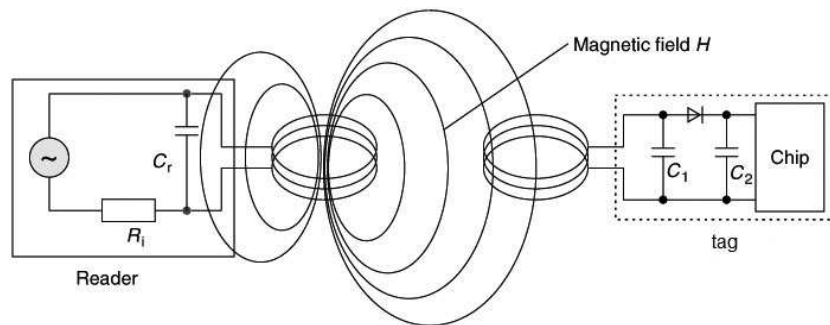


Figura 3.6: Acoplamento indutivo [58]

### Acoplamento eletromagnético (*backscatter*)

O acoplamento eletromagnético nos sistemas RFID é semelhante ao funcionamento do radar. O leitor envia ondas eletromagnéticas que são posteriormente absorvidas pela *tag*. A *tag* pode ser ativa ou semi-passiva, podendo ser em parte alimentada por este tipo de acoplamento. O envio de dados da *tag* para o leitor é efetuado através da reflexão de parte das ondas transmitidas pelo leitor. As propriedades do sinal refletido variam com as propriedades da antena da *tag*, que por sua vez variam através da adição ou subtração de resistências de carga em paralelo com a antena, durante a modulação de onda [58].

Este tipo de acoplamento é utilizado para transmissões a longas distâncias e frequências de operação elevadas (nas centenas de MHz), tal como apresentado na tabela 3.2. A capacidade de alocação de dados é consideravelmente maior (alguns Mbytes).



### 3.3.5 Métodos de funcionamento de *tags*

As *tags* RFID podem ser divididas em três tipos de funcionamento distintos: **ativas**, **semi-passivas** e **passivas**.

As *tags* passivas não possuem nenhum sistema de alimentação integrada, ou seja, é preciso que o leitor RFID energize o campo envolvente à *tag* para que haja alimentação do microprocessador e da memória de dados (se for o caso). Tipicamente apresentam distâncias de alcance menores que 3 metros e o seu custo é baixo (na ordem das dezenas de centímetros). A banda de frequência encontra-se tipicamente na banda radio *High Frequency* (HF) e *Low Frequency* (LF).

As *tags* ativas e semi-passivas possuem alimentação integrada para os seus circuitos elétricos. A *tag* ativa não necessita diretamente do leitor para enviar dados. Esta acede ao meio periodicamente. A *tag* semi-passiva necessita de um pedido por parte do leitor para que se inicie a transmissão. O alcance destes dois tipos é bem maior que no caso das passivas. Os sistemas baseados em *tags* ativas/semi-passivas conseguem oferecer alcances de identificação de 30 metros, até podendo chegar aos 100 metros (dependendo das propriedades do sistema como potência da antena, alimentação arquitetura, etc). A banda de frequências usada nestes dois tipos de *tag* localiza-se na zona *Ultra High Frequency* (UHF). Como o alcance e a complexidade são maiores, o seu custo é muito superior em comparação com as *tags* passivas.

A tabela 3.3 faz uma pequena comparação entre *tags* passivas e ativas, em parâmetros essenciais que dependem da aplicação.

Tabela 3.3: Comparação entre *tags* ativas e passivas [57]

	<i>Tag</i> ativa	<i>Tag</i> passiva
<b>Bateria</b>	Sim	Não
<b>Atividade</b>	Atividade Autônoma	Na presença do leitor
<b>Sinal leitor/<i>tag</i></b>	Fraco/Forte	Forte/fraco
<b>Alcance</b>	Grande (até 100 m)	Pequeno (< 3 m)
<b>Memória</b>	>128 KB	<128 KB
<b>Atualização</b>	Permanente	Quando o leitor está perto
<b>Monitorização da área</b>	Sim	Não
<b>Acesso múltiplo</b>	Sim	Limitado
<b>Segurança</b>	Sofisticada	Básica
<b>Manifesto eletrónico</b>	Sim	Não
<b>Interferência</b>	Boa imunidade a interferências	Ambientes com radiofrequência podem afetar a transmissão
<b>Custo</b>	Muito alto (15 a 150 euros)	Médio (<80 cent.)
<b>Aplicações características</b>	Processos comerciais dinâmicos, Segurança e armazenamento de dados	Processos comerciais fixos, Segurança reduzida, Fraca capacidade de armazenamento de dados

### 3.3.6 Armazenamento de dados das *tags*

As *tags* diferem no seu modo de armazenamento de dados, sendo divididas em três tipos: *tags* **apenas de leitura** (*read only*), *tags* para **leitura/escrita** (*read-write*) e as *tags* **WORM** (*Write Once Read Many*).

Esta é uma característica importante na seleção do sistema a utilizar, pois pode encarecer o custo final e não satisfazer os requisitos. As *read-write* garantem maior

liberdade ao utilizador, encarecendo o preço. As *read only* só podem ser lidas e as do tipo WORM podem ser escritas uma única vez e lidas as vezes que o utilizador pretende.

### 3.3.7 Características físicas das *tags*

Em diferentes aplicações, as *tags* terão de ter diversos sistemas de fixação, com os formatos na lista abaixo apresentada.

- **Formato disco** - Este tipo de *tag* é um dos mais utilizados, pois permite o aparafusamento ao objeto em causa (figura 3.7a). A frequência de operação pode estar na zona de LF, HF ou UHF. O alcance depende muito da dimensão da *tag*. Quanto menor for o seu diâmetro, menor será a bobine, o que leva a uma menor distância de alcance. No entanto, o alcance destas *tags* costuma ser de alguns centímetros. Um caso especial destas *tags* para uso agropecuário é descrito na secção 3.3.7.
- **Formato chave** - Este formato é muito utilizado nas chaves dos automóveis (figura 3.7b), integrando assim os sistemas RFID na abertura/fecho de portas dos automóveis.
- **Formato encapsulado em vidro ou cerâmica** - Este formato é utilizado quando a *tag* é aplicada para identificação de um organismo vivo (num animal ou numa pessoa). A cápsula que envolve a *tag* pode ser de vidro ou cerâmica. Aquelas que têm tamanho reduzido podem ser inseridas (injetadas ou com cirurgia) no corpo de um animal ou numa pessoa, usualmente sob a pele (figura 3.7c). O caso particular desta aplicação na agropecuária é abordado na secção 3.3.7.
- **Formato etiqueta** - Este tipo de *tag* (figura 3.7d) é utilizado em aplicações que exigem o mínimo de espessura e bastante flexibilidade. Normalmente é utilizado para identificação de livros, documentos, bagagens, embalagens em cartão, entre outros. Este tipo de *tag* é aquele que tem maior facilidade de inserção num objeto pois é colado a este. Por exemplo, é muito utilizado na substituição da identificação por código de barras.
- **Formato ID-1 (cartão de crédito)** - Este formato é usado maioritariamente em cartões bancários, cartões de identidade, cartas de condução, passaportes (caso dos EUA), entre outros. Assim é possível inserir um sistema RFID num cartão de identificação pessoal ou cartão bancário, como é o caso do cartão de identificação da Universidade de Aveiro (a figura 3.7e ilustra o cartão do autor desta dissertação).

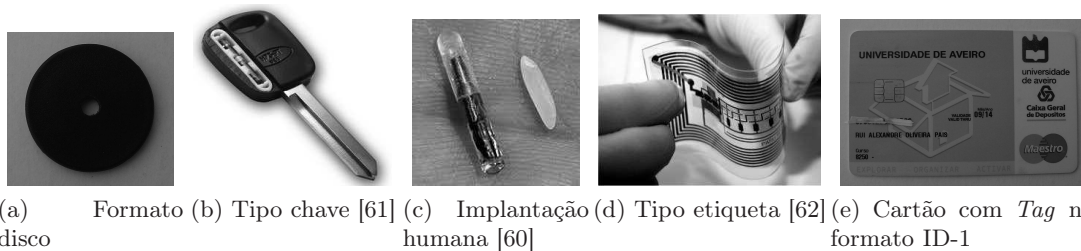


Figura 3.7: Variados tipos de *tags*

### Caso de estudo: *Tags* na agropecuária

Na agropecuária, as *tags* utilizadas para identificação de animais são casos particulares derivados dos formatos descritos anteriormente. As marcas auriculares (ou também chamados brincos eletrônicos), como os da figura 3.8a usam o formato em disco e são colocadas nas orelhas dos animais, presas com um sistema de encaixe que perfura a orelha e se encaixa permanentemente com o disco, ou seja, a *tag*. Estes são aplicados em animais das espécies bovina, caprina, ovina e suína.

Já nos sistemas com formato encapsulado, pode-se ter aquelas *tags* que são injetáveis debaixo da pele dos animais, à semelhança do que se falou acima, ou então pode-se ter os bolos alimentares que são ingeridos pelos animais e se mantêm permanentemente no sistema digestivo destes toda a sua vida. Só são aplicados em animais ruminantes, pois o sistema digestivo tem várias cavidades e as *tags* alojam-se facilmente numa delas permanecendo lá sem interferir com a digestão dos alimentos. Os chips injetáveis são mais usados nos equinos, sendo aplicados no pescoço. Os bolos alimentares são cerâmicos (ver figura 3.8b) e podem ter diferentes tamanhos (diferentes pesos) consoante a espécie animal a que se aplicam. São aplicados a bovinos, caprinos e ovinos, ou seja, a animais ruminantes. Aos suínos não é possível colocar pois são omnívoros, tendo um sistema digestivo parecido aos humanos, não conseguindo comportar qualquer objeto.

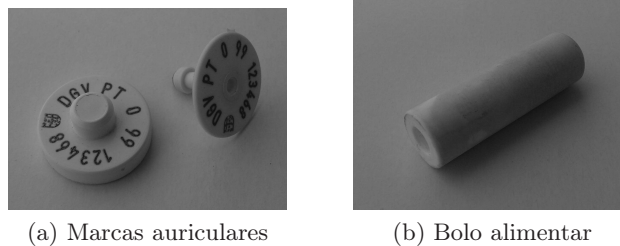


Figura 3.8: *Tags* mais usadas na agropecuária

#### 3.3.8 Frequência de operação e alcance

A frequência de operação é uma das componentes mais importantes de um sistema RFID. Ainda não existe um consenso universal para a frequência de operação, mas estas estão relacionadas com as bandas *Industrial, Scientific and Medical* (ISM). Enquanto que não são adotadas normas relativas à utilização universal dos sistemas RFID e consecutivamente em relação à frequência utilizada, a tecnologia RFID terá alguma dificuldade de se expandir de forma global.

A frequência HF(13.56 MHz) é internacionalmente aceite, mas apresenta alcances de transmissão baixos e a desvantagem de serem muito influenciadas por metais e líquidos, uma limitação no seu uso a nível industrial. A gama UHF apresenta alguns problemas de normalização internacional. A tabela 3.4 apresenta algumas propriedades de funcionamento das várias bandas de frequência subdivididas em grupos com características similares.

Apesar das variações nacionais e das diferentes bandas de funcionamento dos sistemas RFID, é possível agrupá-los em três grupos principais. Assim os sistemas LF situam-se entre os 30 kHz e os 300 kHz, os sistemas HF entre os 3 MHz e 30 MHz e os UHF entre

Tabela 3.4: Frequências de operação utilizadas nos sistemas RFID [57; 58]

Frequência	Regulação	Alcance típico	Vantagens	Comentários
(LF) <135kHz	Banda ISM.	<1m (passivo)	Boa penetração em líquidos	Controlo de acessos. Identificação animal
(HF) 6.78MHz 13.56MHz 27.125MHz	Banda ISM. Regulação praticamente igual em todo o mundo	<1m (passivo)	Pouca penetração em líquidos	<i>Smart Cards</i> , Controlo de acessos
(UHF) 433MHz	Banda ISM para dispositivos de comunicação de curto alcance. Banda não uniforme	<100m	Tags ativas	Pouco utilizado em RFID. Mais aplicado a intercomunicadores
(UHF) 888 a 956MHz	Banda não uniforme mundialmente	<10m (passivo US) <4m (passivo UE)	O melhor alcance para comunicações passivas	Normas WalMart, DoD, <i>tags</i> passivas
UHF 2.45GHz	Banda ISM	Superior a 100m	Alternativa para os 900 MHz	Mais usado em <i>Wi-Fi</i> , <i>Bluetooth</i>

os 300 MHz e 3000 MHz.

Os sistemas LF são usados principalmente por causa da sua boa penetração em objetos. Um exemplo é o bolo alimentar, que estando no interior do corpo do animal necessita que as ondas emitidas pelo leitor cheguem até ao interior, atravessando o corpo do animal. Como o corpo dos seres vivos é constituído em grande parte por água, torna-se necessário que o sinal emitido tenha boa penetração nos líquidos. A frequência 134 kHz é a mais utilizada nestes casos.

### 3.4 Normalizações do RFID na identificação de animais

O desenvolvimento tecnológico, durante o seu crescimento, tem que ser alvo de algum método de controlo e normalização, ou seja, uma descrição dos pormenores da implementação da tecnologia. Isto faz sentido para que as tecnologias criadas possam ser usadas em qualquer parte, por qualquer pessoa e com a correta utilização. O desenvolvimento de standards a nível mundial é da responsabilidade da comissão técnica da organização *International Standard Organization* (ISO).

Na agropecuária, mais propriamente na identificação animal usando sistemas RFID, foram desenvolvidos os seguintes standards [58]:

- ISO 11784 - “Identificação de animais por radiofrequência - Estrutura de código”;
- ISO 11785 - “Identificação de animais por radiofrequência - Especificações técnicas”;
- ISO 14223 - “Identificação de animais por radiofrequência - *tags* avançadas”:
  - Parte 1: Interface no ar;
  - Parte 2: Estrutura de comandos e código;
  - Parte 3: Aplicações.

A forma de construção das *tags* não é especificado pelas normas e assim podem ser projetadas de acordo com o animal em questão. *Chips* em cápsula de vidro, bolos alimentares em cápsula cerâmica, brincos ou colares podem ser utilizados.

### 3.4.1 ISO 11784 - Estrutura de código

O código de identificação de um animal compreende um total de 64 bits (8 bytes). A tabela 3.5 apresenta o significado individual destes bits.

Tabela 3.5: Código de identificação para animais [58]

Nº de bit	Informação	Descrição
1	Aplicação animal(1)/ não animal (0)	Especifica quando a tag é usada em identificação animal ou propósito agropecuário
2-15	Reservado	Reservado para futuras aplicações
16	Com dados(1)/ sem dados(0)	Especifica se dados adicionais serão enviados a seguir ao código de identificação
17-26	Código de país segundo ISO 3166 (3 dígitos)	Especifica o país de origem do animal (código 999 indica ser uma <i>tag</i> de teste)
27-64	Código de identificação nacional (12 dígitos)	Número único de registo específico em cada país

Como se pode ver na tabela 3.5, cada animal é identificado principalmente pelo seu país de origem e pelo seu código de identificação nacional (chamado de ID). A *tag* indica se é de uso animal e se transporta informação adicional. Essa informação, se existir, não está integrada nestes 64 bits que formam o código de identificação de um animal, como se verá na explicação da norma ISO 11785.

O código de identificação nacional deve ser gerido individualmente por cada país. Os (bits 27-64) podem ser alocados para diferenciar entre diferentes tipos de animais, raças, regiões dentro do mesmo país, criadores, etc, mas isso não é especificado nesta norma.

### 3.4.2 ISO 11785 - Especificações técnicas

Esta norma define o método de transmissão para os dados das *tags* e as especificações do leitor para a ativação do suporte de dados (a *tag*). O objetivo central no desenvolvimento desta norma foi de facilitar a comunicação com *tags* de uma vasta gama de fabricantes que utilizam um leitor comum.

Um leitor para identificação de animais em conformidade com esta norma reconhece e distingue entre *tags* que usam o sistema *full duplex*(FDX)/*half duplex*(HDX) e *tags* que usam o sistema sequencial(SEQ).

#### Requisitos

A norma ISO 11785 especifica a frequência de operação para o leitor de  $134.2 \pm 1.8$  kHz. O campo emitido fornece uma fonte de alimentação para a *tag* e, portanto, é denominado de “campo de ativação”.

O domínio de ativação é periodicamente ligado por 50 ms de cada vez e, em seguida, desligado durante 3 ms (ver 1 na figura 3.9). Durante o período de 50 ms que está ligado, aguarda a resposta de uma *tag* FDX/HDX. Uma *tag* SEQ em utilização requer um campo de ativação para carregar o seu condensador de carga.

Se uma *tag* FDX/HDX estiver presente dentro do alcance do campo de ativação, então esta *tag* envia os seus dados durante o intervalo de operação do campo (ver 2 da figura 3.9). Enquanto os dados são recebidos, o intervalo de operação pode ser ampliado para 100 ms se a transferência de dados não se completar dentro dos primeiros 50 ms.

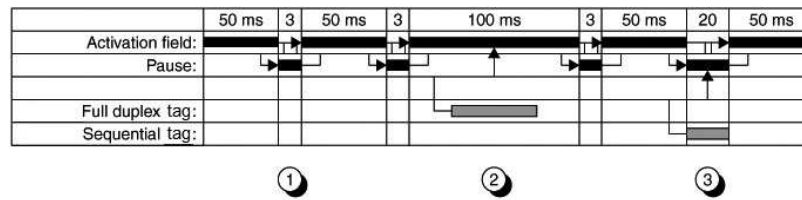


Figura 3.9: Atividade do campo de ativação de um leitor ao longo do tempo [58]

Uma *tag* SEQ se estiver dentro do alcance do campo de ativação (ver 3 na figura 3.9), começa a transmitir dados na pausa de 3 ms. A duração da pausa é estendida a um máximo de 20 ms para permitir a transmissão completa de dados.

Se vários leitores portáteis ou fixos estiverem a operar nas proximidades uns dos outros, existe uma grande possibilidade de um leitor emitir o seu campo de ativação durante a pausa de 3 ms de outro leitor. Isto resulta em que nenhum dos leitores seja capaz de receber o sinal de dados de uma *tag* sequencial, devido ao campo de ativação ser relativamente forte em comparação com a força de campo da *tag* SEQ. Há mecanismos para a sincronização de vários leitores para contornar este problema, descritos no apêndice C nesta norma.

Um leitor (A) pode ser testado quanto à presença de um segundo leitor (ver B da figura 3.10) na proximidade, prolongando a duração da pausa para 30 ms. Se o campo de ativação de um segundo leitor (B) é recebido dentro dessa pausa de 30 ms, a norma prevê que o campo de ativação do primeiro leitor (A) deve ser ativado por um máximo de 50 ms logo após a próxima pausa de 3 ms. Deste modo, um grau de sincronização pode ser conseguido entre dois leitores vizinhos. Porque os dados só são transmitidos a partir da *tag* para o leitor (e assim o campo de ativação representa um campo sem modulação), uma *tag* individual pode ser lida por dois leitores simultaneamente. Para manter a estabilidade da sincronização, a cada dez pausas esta é estendida de 3 ms a 30 ms para detetar quaisquer outros leitores que entraram recentemente no domínio.

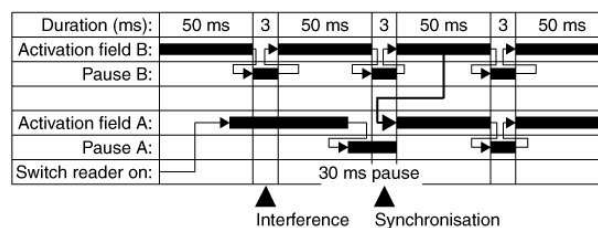


Figura 3.10: Sequência de sincronização automática entre 2 leitores [58]

Leitores fixos também podem usar um cabo de sincronização ligado a todos os leitores do sistema. O sinal de sincronização no cabo é um sinal de lógica simples, com níveis altos e baixos. Se um dos leitores ligados deteta uma *tag*, então o cabo de sincronização muda para o nível elevado quando os dados são transmitidos a partir da *tag* para o leitor.

Se a *tag* detetada é do tipo FDX/HDX, então os leitores sincronizados ficam com os seus campos de ativação em fase. O período ativo do campo de ativação é neste caso prorrogado até que o cabo de sincronização fique novamente ligado no nível baixo (mas com um máximo de 100 ms).

Se o sinal recebido for de uma *tag* SEQ, os leitores são sincronizados na fase “pausa”. O sinal de sincronização para o cabo estende a duração da pausa de todos os leitores para 20 ms (valor fixo).

### Sistema full/half duplex

As *tags* FDX/HDX recebem a sua fonte de alimentação através de um campo de ativação, formado pelo leitor. Estas transmitem os dados de identificação armazenados. No protocolo FDX, as *tags* são continuamente alimentadas e recebem informação ao mesmo tempo que enviam. O grande campo magnético criado a partir do leitor faz a leitura de dados da *tag* mais difícil, pois o sinal recebido da *tag* é relativamente pequeno em comparação com o campo magnético de ativação.

As *tags* HDX diferem das FDX pois esperam que o campo magnético do leitor seja desligado (a parte de dados pois a parte de alimentação da *tag* tem de estar continuamente a funcionar) antes de transmitir as informações. Isto significa que o leitor irá detetar a *tag* a maior distância dado que não há sobreposição de sinais sobre o campo muito maior criado pelo leitor. Esta situação já foi referida na secção 3.3.4 na figura 3.5.

Um telegrama de dados FDX/HDX compreende um cabeçalho (*header*), dados de identificação animal, verificação (CRC) e dados adicionais (*trailer*).

O protocolo FDX usa uma modulação de carga sem subportadora, no qual os dados são representados numa codificação do tipo *Differential Bi-Phase* (DBP). A taxa de bits é obtida sempre pela divisão da frequência do leitor por 32. A 134,2 kHz a velocidade de transmissão (taxa de bits) é 4194 bits/s.

A codificação DBP (ver figura 3.11) modula o campo de radiofrequência de modo a que haja uma transição no início de cada bit limite. Um estado lógico “0” tem uma transição no meio do período de bit, enquanto um estado lógico “1” não tem nenhuma transição ao longo de todo o período de bit. Para uma *tag* FDX, a transmissão de 1 bit corresponde a 32 ciclos de campo ativado do leitor.

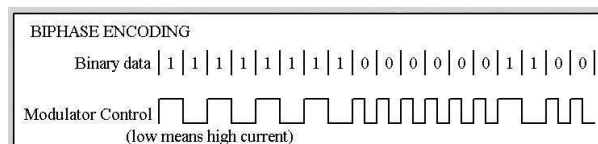


Figura 3.11: Codificação DBP para sistema FDX [63]

As *tags* correspondentes ao protocolo FDX transportam 128 bits de dados. A estrutura destes dados consiste em:

- 11 bits de cabeçalho (*header*) (10000000000);
- 64 bits de identificação com 8 bits de controlo (explicados no ISO 11784);
- 16 bits do CRC com 2 bits de controlo;
- 24 bits de dados adicionais com 3 bits de controlo.

Os 11 bits *header* são transmitidos para indicar o início do bloco de dados, com o bit menos significativo em primeiro lugar. Os bits de controlo são simples níveis lógicos a 1 que aparecem a cada 8 bits. Estes são usados para diferenciar os 11 bits *header* dos restantes. O cálculo do CRC é efetuado sobre os 64 bits de identificação animal (os bits

de controlo são excluídos). Quando o bit sinalizador de dados adicionais para envio é igual a 0, o bloco de dados adicionais é igual a 000000, ou seja 6 dígitos decimais nulos que corresponde aos 24 bits deste bloco. A transmissão destes 128 bits demora à volta de 30.5 ms à velocidade indicada (4194 bits/s). Na figura 3.12 é mostrado um exemplo da estrutura de dados FDX.

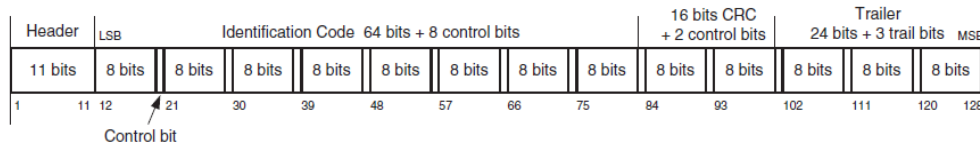


Figura 3.12: Estrutura de dados do protocolo FDX [64]

As *tags* HDX são definidas para operar na banda 134,2 kHz, empregando a modulação *Frequency Shift keying* (FSK) para transmitir os dados. Para transmitir um “1” a tag emite 16 ciclos de 124 kHz e para transmitir “0” emite 16 ciclos de 134,2 kHz.

Durante o tempo em que o campo de leitura está ativo (50 ms), o leitor RFID procura a presença de quaisquer *tags* FDX e se nenhum for detetado o campo é desligado para permitir que se aparecer alguma *tag* HDX esta responda. O leitor espera 3 ms para que a *tag* HDX comece a transmitir, senão volta a ativar o campo e repete o ciclo. Na figura 3.13 pode-se ver um exemplo de uma comunicação em HDX.

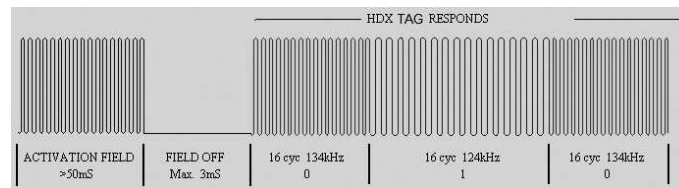


Figura 3.13: Exemplo de modulação para protocolo HDX [63]

A estrutura de dados é semelhante à da apresentada para o protocolo FDX, sendo as únicas diferenças o facto do *header* ter apenas 8 bits e não existir bits de controlo a cada 8 bits transmitidos. Assim um telegrama HDX de dados é formado por 112 bits.

### Sistema Sequencial

Após cada 50 ms o campo de ativação é desligado por 3 ms. Uma *tag* SEQ, que foi previamente carregada com energia a partir do campo de ativação, começa a transmitir os dados de identificação armazenados, cerca de 1 a 2 ms após o campo de ativação ter sido desligado.

O método de modulação utilizado pela *tag* é a FSK. A codificação de bits utilizada é a NRZ (*No Return to Zero*). Um “0” corresponde à frequência básica 134,2 kHz e um “1” corresponde à frequência de 124,2 kHz. A taxa de bits é obtida pela divisão da frequência de transmissão por 16, variando assim entre 8387 bit/s para um “0” e 7762 bit/s para uma “1”.

O telegrama de dados SEQ é igual ao do protocolo HDX. A transmissão de um total de 112 bits tem um máximo de 14,5 ms a uma dada velocidade de transmissão correspondente a uma sequência de “1”.



### 3.4.3 ISO 14223 - *tags* avançadas

Esta norma define a interface e a estrutura das chamadas *tags* avançadas . A norma ISO 14223 é baseada na anteriores normas ISO 11784 e ISO 11785 e representa um maior desenvolvimento destas. Considerando que as *tags* de acordo com a norma ISO 11785 apenas transmitem um código de identificação programado permanentemente, ou também um pequeno bloco de informação adicional de 24 bits, nestas *tags* avançadas há a possibilidade de gerir uma área de memória maior. Como resultado, os dados podem ser lidos, pode-se escrever na memória dados e ainda proteger a *tag* contra sobrescritas dos blocos(bloqueio do bloco de memória). De seguida faz-se uma breve descrição das partes 1 e 2 desta norma. A parte 2 é fortemente baseada na norma ISO/IEC 18000-2.

#### Parte 1 - Interface no ar

As bases da norma ISO 14223 estão assentes na ISO 11785 e em plena compatibilidade. Assim quando se refere à norma mais recente, obrigatoriamente faz-se referência à mais antiga. Isto significa que uma *tag* avançada pode ser lida por um leitor simples que apenas atende ao ISO 11785, assim como um leitor ISO 14223 pode ler *tags* simples da norma mais antiga.

Se uma *tag* avançada entra no campo de leitura de um leitor compatível com a ISO 14223, então em primeiro lugar irá ser lido o código de identificação ISO 11784, sempre em conformidade com o procedimento descrito em ISO 11785. Para facilitar a diferenciação entre uma *tag* avançada e uma simples (ISO 11785), o bit 16 (indicador da existência de dados adicionais) do código de identificação é definido como “1” nas *tags* avançadas. Assim a *tag* estará formatada como avançada.

*Tags* avançadas podem ser subdivididas em *full duplex* (FDX-B) e sequenciais (HDX-ADV) (chamados assim mas com base nas *tags* normais ISO 11785 SEQ). Os procedimentos e parâmetros definidos na norma ISO 11785 descrevem a transmissão de dados da *tag* para o leitor em qualquer estado de funcionamento.

Se uma *tag* FDX-B entra no campo de leitura de um leitor, em seguida o código de identificação animal é continuamente enviado para o leitor, como definido na norma ISO 11785. O leitor reconhece que este é uma *tag* FDX-B pela configuração do bit 16. A fim de mudar o modo de comunicação para avançado, o campo de ativação criado pelo leitor deve ser completamente desligado por 5 ms. Após o campo ser novamente ligado, a comunicação pode comutar para modo avançado dentro de uma janela de tempo definida pela transmissão de cinco bits “switch command”. A partir deste momento a *tag* pode aguardar comandos do leitor em modo avançado (ver figura 3.14). Alguns parâmetros deste processo encontram-se na tabela 3.6.

Tabela 3.6: Parâmetros de estabelecimento da transmissão do leitor para *tag* FDX-B [58]

Parâmetro	Modo de comutação	Modo avançado
Processo Modulação	ASK 90-100%	ASK 90-100%
Codificação	<i>Binary Pulse Length</i>	PIE ( <i>Pulse Interval Encoding</i> )
Baud Rate	6000 bits/s ( <i>LSB first</i> )	6001 bits/s ( <i>LSB first</i> )
Código modo comutação	5 bits (00011)	-
Duração modo comutação	<i>Tag Settling time</i> : 312.5/fc=2.33 ms <i>Switch window</i> : 232.5/fc=1.73 ms	-

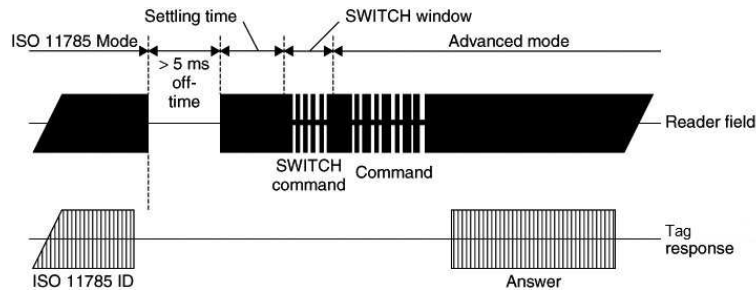


Figura 3.14: Comutação entre comunicação ISO 11785 e modo avançado, com *tag* FDX-B [58]

Uma *tag* sequencial normal carrega o seu condensador de carga, durante o período de 50 ms em que o campo está ligado. Nos 3 ms de pausa a *tag* passa a transmitir o código de identificação de 64 bits, conforme definido na ISO 11785. A duração da pausa é estendida a um máximo de 20 ms, para facilitar a transferência completa do bloco de dados. Uma *tag* avançada HDX-ADV é reconhecido pelo bit 16 igual a “1” no código de identificação animal.

Uma *tag* sequencial pode ser ligada a qualquer ciclo de interrogação do leitor no modo avançado. Para conseguir isso, um comando é simplesmente enviado para a *tag* na segunda metade do período de 50 ms em que o campo está ligado (ver figura 3.15). A *tag* executa este comando imediatamente e envia a sua resposta para o leitor na próxima pausa. Se nenhum comando é enviado num ciclo de interrogação, então a *tag* reverte automaticamente para o modo ISO 11785 e transmite o seu código de identificação para o leitor na próxima pausa.

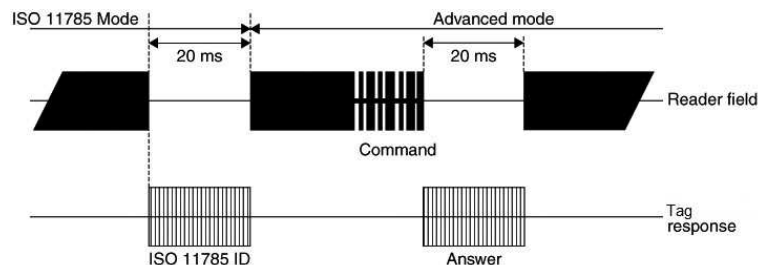


Figura 3.15: *Tag* HDX-ADV comuta para modo avançado a cada comando recebido [58]

## Parte 2: Estrutura de comandos e código

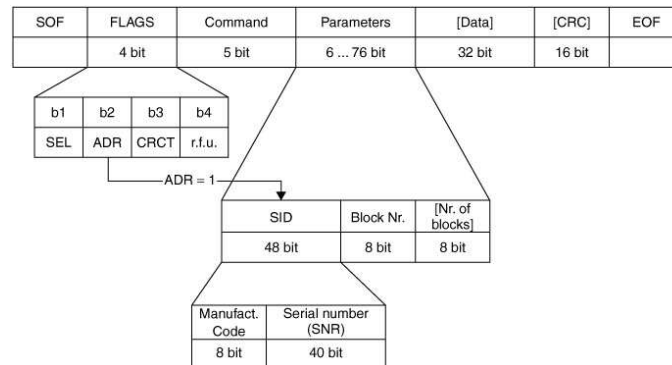
Esta parte da norma descreve o protocolo de transmissão entre *tag* e leitor (tabela 3.7), a organização de memória das *tags* e os comandos que devem ser suportados.

A estrutura de mensagem de envio de um comando é idêntica para todos os tipos de *tags* e é mostrada na figura 3.16. O campo de comando (5 bits) permite 32 comandos diferentes a serem definidos. Códigos de comando de 00 a 19 já estão definidos na norma e são suportados da mesma maneira por todas as *tags* avançadas. Comandos 20 a 31, por outro lado, podem ser definidos livremente pelo fabricante do sistema, permitindo assim que sejam ocupados com uma gama extremamente ampla de funções. Os parâmetros

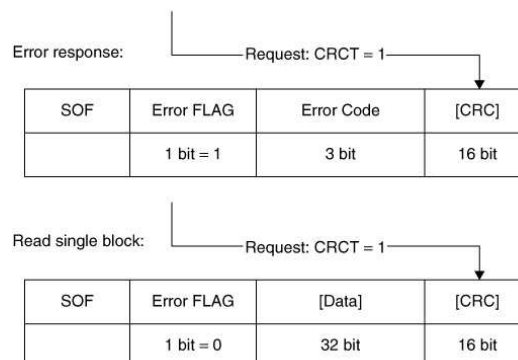
Tabela 3.7: Parâmetro de transmissão de comandos entre leitor e *tag* [58]

Parâmetro	Valor
Procedimento de modulação	ASK 90-100%
Codificação	<i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)
Baud rate	500 bit/s

contêm (no caso de comandos de leitura e escrita) o endereço do bloco de memória, opcionalmente o número de blocos de memória a serem processados por esse comando e, mais uma vez opcionalmente, (com ADR = 1, ver figura 3.16) o identificador único animal previamente determinado, a fim de tratar explicitamente uma determinada *tag*. As quatro *flags* na estrutura de mensagem do comando facilitam o controle de algumas opções adicionais, tais como um CRC opcional no final da estrutura de mensagem de resposta (CRCT = 1), a *tag* para a qual o comando é dirigido (ADR = 1) e o acesso à *tag* num modo especial “selecionado” (SEL = 1).

Figura 3.16: Estrutura de mensagem de envio de um comando ISO 14223 para transmissão de dados entre leitor e *tag* [58]

A estrutura de mensagem de resposta é mostrada na figura 3.17. Esta contém a *flag* que indica a ocorrência de erro da *tag* para o leitor. Os seguintes 3 bits indicam o código de erro, ou seja, especificam o que ocorreu mal.

Figura 3.17: Estrutura de mensagem de resposta ISO 14223 para transmissão de dados da *tag* para o leitor [58]

## 3.5 ZigBee e padrão IEEE 802.15.4

### 3.5.1 Introdução às redes *wireless*

O mercado das telecomunicações tem vindo a evoluir cada vez mais nos últimos anos, no sentido de poder satisfazer, cada vez mais, as exigentes necessidades da “sociedade de informação”. A necessidade de comunicação sem fios, em particular quando os intervenientes na comunicação não estão numa posição fixa, obrigou a tentar a comunicação entre aparelhos móveis. Com a crescente necessidade de mobilidade e o custo de implementação de cablagens a aumentar, a motivação para uma ligação pessoal independente da localização dessa mesma rede também aumentou. Embora inicialmente tenha sido colocada ênfase principalmente na transmissão de dados e voz, com elevadas taxas de transferência, esta perspectiva tornava os equipamentos com preços de aquisição elevados, sendo assim desinteressantes para aplicações mais simples.

Nos anos seguintes a 1980, começaram a existir as primeiras redes que abrangiam uma dada área com alta densidade de uso de dispositivos e grande tráfego de dados. Assim nascia o grupo de trabalho responsável pela norma IEEE 802.11 para o desenvolvimento das *Wireless Local Area Network* (WLAN). Esses variados dispositivos podiam comunicar entre si sem a necessidade de ligação física entre eles [65].

De facto, só após o desenvolvimento dos vários protocolos para suporte de comunicações sem fios, de médio ou alto débito, como *Bluetooth*, *WiFi*, *GSM*, *UMTS*, entre outras, se começou a pensar num protocolo que respondesse às necessidades específicas de sensores e dispositivos de controlo. Até então os diversos fabricantes deste tipo de equipamentos adotavam soluções próprias criando sérios problemas de interoperabilidade entre sistemas.

O grupo de trabalho responsável pela norma IEEE 802.11 considera a existência de quatro grandes grupos, em termos de redes *wireless* [66]:

- ***Wireless Personal Area Network* (WPAN)** - onde se enquadram tecnologias *wireless* de pequeno alcance, entre 10 e 100 metros. Esta é a área de estudo e desenvolvimento normativo do grupo de trabalho IEEE 802.15, especializado nos standards WPAN. Esta área compreende as redes sem fios que utilizam dispositivos como os PDA's, PC's ou periféricos, desenvolvendo campos de tecnologias como o *Bluetooth* (responsabilidade do subgrupo IEEE 802.15.1). O *Low Rate* WPAN (WPAN-LR), que tenta reunir uma baixa transmissão de dados, baixa complexidade e oferecer um reduzido consumo energético, faz parte integrante deste campo e é sobre ele que foi desenvolvido o *ZigBee*, conjunto de especificações da responsabilidade do subgrupo IEEE 802.15.4.
- **WLAN** - tecnologias que se destinam a redes sem fios com alcance situado entre os 100 e 300 metros, frequentemente como extensão ou alternativa a redes de cablagem convencional (par de cobre, cabo coaxial ou fibra ótica).
- ***Wireless Metropolitan Area Network* (WMAN)** - neste campo o objetivo é relativo a acessos de banda larga em redes de âmbito metropolitano, cujo alcance será em torno de 6 km.
- ***Wireless Wide Area Network* (WWAN)** - o grupo mais amplo em termos de alcance, é orientado para serviços de telecomunicações (voz e dados), em longa distância de transmissão.

As redes dedicadas a comunicação industrial, com informação circulante relativa a sensores (de temperatura, humidade, peso, presença, etc.) e dispositivos de controlo (botões de pressão, relés, entre outros), possuem, na sua generalidade, características bastante distintas das redes pessoais ou empresariais para transmissão de voz e dados. Numa rede de âmbito industrial não se privilegiará tanto uma elevada taxa de transferência de dados mas sim uma latência baixa e um consumo de energia igualmente baixo, para preservar a vida útil das baterias.

### 3.5.2 Comparação de diferentes tecnologias *wireless*

Na tabela 3.8 podemos verificar algumas das principais características dos protocolos *wireless* *WiFi*, *Bluetooth* e *ZigBee*, identificados pelos seus logótipos na figura 3.18. Na figura 3.19 pode-se ver uma comparação em termos de alcance e transmissão de dados entre os 3 protocolos.

**Wi-Fi (IEEE 802.11b/g), Bluetooth (IEEE 802.15.1), ZigBee (IEEE 802.15.4)**



Figura 3.18: Logótipos das diferentes tecnologias *WiFi*, *Bluetooth* e *ZigBee* [67]

Tabela 3.8: Algumas características dos protocolos *WiFi*, *Bluetooth* e *ZigBee* [68]

Especificação	Transmissão de dados	Consumo	Pilha protocolar	Vantagens	Principais aplicações
<b>WiFi</b> (IEEE 802.11b/g)	54 Mbps	>400mA TX standby 0.20 mA	1 MB	Elevada taxa de transferência de ficheiros	Internet, transferência de ficheiros, Vídeo/Audio
<b>Bluetooth</b> (IEEE 802.15.1)	1 Mbps	>400mA TX standby 0.20 mA	250 KB	Interoperatividade, substituição de cabos	Periféricos de PC e Telemóveis, PDA's
<b>ZigBee</b> (IEEE 802.15.4)	100 kbps	30mA TX, standby 0.2 uA	32KB	Consumo, Latência, Nº de nós, fiabilidade	Controlos remoto, sensores, dispositivos alimentados por bateria

O *WiFi*, baseado sobre as normas da família IEEE 802.11, é um protocolo orientado para aplicações que requeiram um elevado débito, tais como a transferência de ficheiros ou o acesso à Internet e a conteúdos multimédia. Por outro lado, dado os objetivos deste protocolo, o suporte à sua pilha protocolar, em termos de hardware, é bastante mais exigente (podendo assumir um tamanho consideravelmente elevado). O seu consumo energético, especialmente quando em *standby*, é também claramente superior ao das outras tecnologias que aqui se comparam. Por ambos apresentarem débitos mais reduzidos em relação ao *WiFi*, uma dúvida frequentemente surgida é se o *Bluetooth* e *ZigBee* são

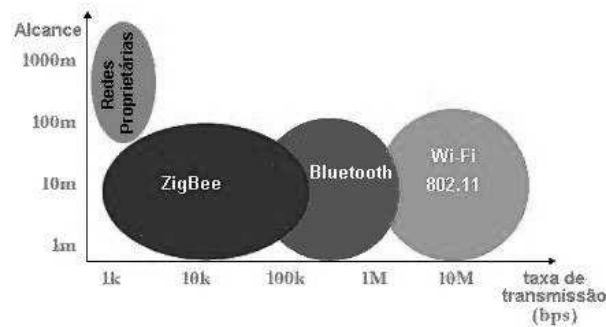


Figura 3.19: Representação gráfica da taxa de transferência de dados *versus* alcance[67]

efectivamente protocolos “concorrentes”. Segundo a própria *ZigBee Alliance*, o *ZigBee* foi desenvolvido para servir aplicações bastante distintas das do *Bluetooth*, em especial uma otimização máxima do consumo energético. Conforme se constata, efectivamente o protocolo *ZigBee* apresenta um consumo muito reduzido quando comparado com o *WiFi* ou *Bluetooth*, especialmente nos períodos de inatividade - o seu consumo, nesta fase, é cerca de 100 vezes inferior ao do *Bluetooth*.

Com uma vasta área de aplicação, desde o controlo industrial à automação de residências (domótica), o protocolo *ZigBee* possui então determinadas características que o tornam absolutamente distinto dos restantes, sustentando os motivos que levaram à sua criação. Assim, e ainda que o *ZigBee* seja posteriormente objeto de análise mais detalhada, importa destacar os pontos de clara diferenciação entre este protocolo e o *Bluetooth*[68; 69]:

- *ZigBee*:
  - *Duty cycle* muito baixo e suporte para dispositivos de funções reduzidas (minimizando o consumo do equipamento de comunicação), possibilitando elevada autonomia quando alimentado por baterias;
  - Pilha protocolar de implementação simplificada (código de tamanho menor que um quarto do utilizado no *Bluetooth*), conduzindo a interfaces de baixo custo;
  - Suporte a topologias de rede estáticas e dinâmicas, quer em estrela quer em malha;
  - Capacidade para permanecer longos períodos sem comunicação;
  - Permite a utilização de redes com mais de 65000 nós por cada coordenador *Zigbee*, procurando garantir sempre baixa latência;
  - Possui um tempo de ligação à rede menor que os outros protocolos e apresenta maior rapidez na passagem do modo *standby* a ativo;
  - Uso de *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) permite que os dispositivos permaneçam em *sleep-mode* sem necessidade exigente de sincronização;
  - Admite diferentes topologias da rede: estrela (*star*), malha (*mesh*) ou árvore (*cluster tree*), permitindo o estabelecimento de redes de nós “ad-hoc”;
  - Encaminhamento - o protocolo *ZigBee*, quando não exista uma ligação direta com o dispositivo de destino, permite que as mensagens sejam reencaminhadas por outros dispositivos da rede;

- Segurança - utiliza um algoritmo de encriptação de mensagens.
- *Bluetooth*:
  - *Duty cycle* moderado (não tão elevado como no *WiFi*), mas com consumo idêntico para qualquer tipo de dispositivo interveniente na rede;
  - Elevado *Quality of Service* (QoS), ou seja, dispõe de uma qualidade de serviço/desempenho muito boa;
  - Redes quase estáticas de topologia em estrela e com um máximo previsto de 7 clientes;
  - Recurso ao *Frequency Hopping Spread Spectrum* que implica que seja extremamente difícil a criação de redes extensas sem custos elevados em termos de sincronização.

Conforme se pode constatar pelos dados anteriores, o *ZigBee* possibilita então um menor consumo de energia associado a débito e alcance aceitáveis, o que o torna bastante atrativo para dispositivos remotos que sejam alimentados por baterias. Por outro lado, a pilha protocolar é também menor em termos de complexidade, o que exige menores recursos nos dispositivos que a utilizem.

No seguimento do levantamento de tecnologias disponíveis, efetuado anteriormente, concluiu-se que o protocolo *ZigBee* seria aquele que mais se adequava aos objetivos deste projeto.

### 3.5.3 Perspetiva histórica sobre Zigbee e IEEE 802.15.4

Anteriormente à adoção da nomenclatura *ZigBee* e da constituição da *ZigBee Alliance*, a responsável por esta tecnologia era a empresa *Philips*, sendo nessa época designado por protocolo *Home RF Lite* [70]. Apesar de atualmente admitir distintas topologias, foi através da topologia em malha que se lhe associou o nome. Uma malha *ZigBee* apresenta múltiplos percursos possíveis entre cada dispositivo, o que permite eliminar um possível ponto de falha, através do “zig” e “zag” da informação pela rede [71]. As abelhas de mel, para além de viverem “em colmeia”, voam em ziguezague e dessa forma lhes é possível informar os restantes elementos da sua comunidade da distância, direção e localização dos alimentos descobertos. Assim, o nome deste protocolo surge da analogia da estrutura e modo de funcionamento da rede de comunicações para com o modo de vida das abelhas.

Criado pela *ZigBee Alliance*, o *ZigBee* surgiu por volta de 2004, no entanto a sua primeira versão só foi apresentada ao público a 10 de Junho de 2005 (versão *ZigBee 2004*) [72]. Desde então o *ZigBee* tem vindo a despertar cada vez mais interesse em várias áreas, desde a indústria até à domótica. A *ZigBee Alliance* é uma aliança constituída por mais de 600 empresas, como a *Microchip*, *Texas Instruments*, *Siemens*, *Philips*, *Samsung*, entre outras, na qual estão também incluídos especialistas na área das telecomunicações e membros do *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) [68].

Contrapondo-se aos elevados débitos oferecidos por outras tecnologias (como *Bluetooth* ou o *WiFi*), o *ZigBee* pretende associar a transmissão de dados sem fios a um reduzido consumo energético e com elevada fiabilidade. Assim, um objetivo desta norma é também a tentativa de uniformizar o desenvolvimento de aplicações e dispositivos nesta área, abandonando-se sistemas proprietários distintos para dar lugar a um *standard*, que ao ser globalmente compatível, proporciona evidentes vantagens de interoperabilidade.

“*To enable reliable, cost-effective, low-power, wirelessly networked, monitoring and control products based on an open global standard*” é a missão da *ZigBee Alliance*, segundo a própria [68].

### Redes “Ad-hoc”

Em telecomunicações, redes “ad-hoc” são um tipo de rede que não possui um nó ou um terminal especial (geralmente designado como ponto de acesso) para o qual todas as comunicações convergem e que as encaminha para os respectivos destinos. Desta forma, uma rede de dispositivos “ad-hoc” é aquela em que todos os intervenientes entreadjudam-se no encaminhamento dos pacotes de informação [73].

*Ad hoc* é uma expressão latina que significa “para esta finalidade, para este objetivo”. Assim, corresponde a uma solução destinada a atender uma necessidade específica ou resolver um problema no imediato. Dessa forma assume um carácter temporário e nenhuma técnica geral é implantada ou preparada antecipadamente.

#### 3.5.4 Dispositivos de rede

Os dispositivos presentes numa rede *ZigBee* podem ser categorizados em dois grupos distintos de dispositivos físicos, os *Full Function Devices* (FFD) e os *Reduced Function Devices* (RFD). Estes estão definidos na norma IEEE 802.15.4 e ambos podem coexistir numa mesma rede. Os FFD são os dispositivos que implementam todas as camadas protocolares (*stack*), sendo os dispositivos mais complexos. No entanto são os mais versáteis, podendo funcionar como coordenador, *router* ou até mesmo RFD. Por outro lado, os RFD são os mais simples, pois implementam apenas parte do protocolo e apresentam menores exigências por parte do *firmware*, o que implica uma redução significativa nos custos totais da rede e no consumo.

Às duas classes anteriores de dispositivos físicos correspondem três tipos de dispositivos lógicos, com várias funções [68]:

- **Coordenador** - é o dispositivo que cria e gere toda a rede, mantendo uma tabela de encaminhamento de mensagens. Em cada rede *ZigBee* existe unicamente um dispositivo coordenador, podendo este comunicar direta ou indiretamente com qualquer outro dispositivo da rede;
- **Router** - é o dispositivo que, normalmente, faz a ligação entre o coordenador e os RFD's, sendo o seu objetivo encaminhar as mensagens entre estes. Para isso cada *router* pode comunicar com o coordenador, outros *routers* e com os RFD's ligados a este, implementando toda a *stack ZigBee*;
- **Endpoint** - é o dispositivo mais simples, sempre do tipo RFD, que tem apenas como função monitorar e enviar o estado das variáveis a ele associadas, podendo apenas comunicar com o FFD a ele diretamente ligado.

#### 3.5.5 Topologias de rede

Sendo uma das grandes vantagens desta rede a versatilidade, existem, como já foi mencionado anteriormente, três topologias diferentes para a estruturação duma rede *ZigBee*: estrela, malha ou árvore (ver figura 3.20) [68]. Dado que este protocolo define a rede de comunicação de uma forma “ad-hoc”, não existe uma topologia predeterminada,



nem um controle centralizado. No entanto, em qualquer das três topologias disponíveis, existe um fator comum: o coordenador é o dispositivo responsável pela iniciação e controle da rede.

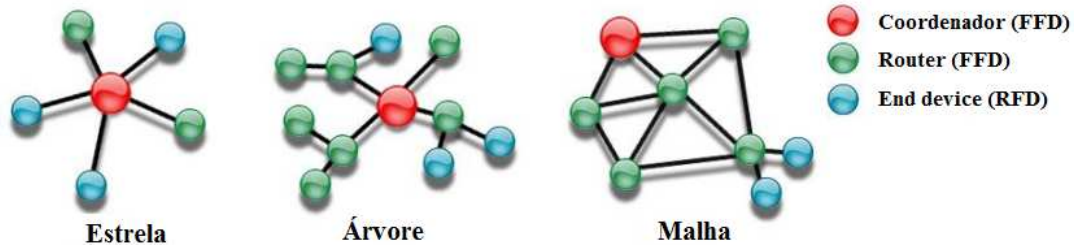


Figura 3.20: Representação das várias topologias de rede possíveis [69]

### ESTRELA (*STAR*)

Neste tipo de configuração, todos os dispositivos são *endpoint*, podendo estes ser FFD ou RFD, e possuem uma ligação direta com o coordenador, dispensando-se assim dos dispositivos de reencaminhamento na rede, os *routers*. Esta tipologia é bastante utilizada nas redes com poucos dispositivos e sendo estes próximos uns dos outros, devido à sua simplicidade, quer da sua configuração, quer dos algoritmos necessários para a sua criação. Assim conduz a uma menor sobrecarga de processamento do coordenador.

### MALHA (*MESH*)

Na configuração em malha, os dispositivos FFD são livres de comunicarem com qualquer tipo de dispositivos, FFD ou RFD. Isto torna esta tipologia uma das mais vantajosas, já que permite redes de longo alcance e ultrapassar obstáculos que enfraqueçam o sinal. Ao contrário da situação anterior, o controlador continua a registar a entrada e saída de dispositivos, mas já não assume um papel tão preponderante no fluxo de informação.

No caso da perda de conectividade de um *endpoint* com um *router* originam-se duas situações distintas. Primeiro é necessário reconfigurar as rotas de acesso de toda a rede. Em segundo, se existirem dispositivos RFD que tenham perdido a ligação com a rede, é necessário recuperar essa conectividade. Porém, este tipo de ação só é possível na presença de *routers* perto do dispositivo que perdeu a ligação, assim podendo aceitar esses *endpoints* na sua rede interna.

### ÁRVORE (*CLUSTER TREE*)

Esta tipologia apresenta semelhanças com a estrutura em malha, usando também dispositivos *routers*. No entanto estes apresentam uma função organizativa de rede, sendo-lhe conferido níveis de hierarquização. Nessa estrutura hierárquica é o coordenador que assume o papel de nó nuclear da rede, como acontecia no caso da estrutura em estrela.

#### 3.5.6 Arquitetura protocolar ZigBee/IEEE 802.15.4

O protocolo *ZigBee*, assim como a norma IEEE 802.15.4 é baseado no modelo *Open Systems Interconnection* (OSI) de sete camadas (ver figura 3.21), mas apenas define as

camadas de interesse para atingir as suas funcionalidades.

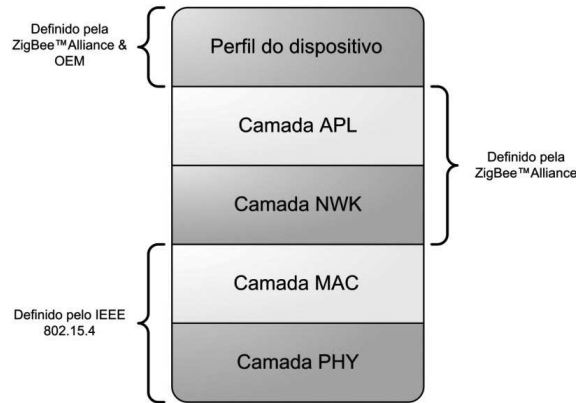


Figura 3.21: Representação do modelo OSI [74]

O protocolo *ZigBee* é definido pela *ZigBee Alliance*, sendo esta responsável pelas camadas de rede (*Network Layer* (NWK)) e de aplicações (*Application Layer* (APL)). Estas camadas assentam nas camadas física (*Physical Layer* (PHY)) e de acesso ao meio (*Medium Access Control Layer* (MAC)), as quais são definidas pela norma IEEE 802.15.4. A figura 3.22 ilustra a arquitetura protocolar referente ao padrão *ZigBee*/IEEE 802.15.4.

Cada camada da arquitetura comunica com as camadas adjacentes através de um serviço designado por *Service Access Point* (SAP). Esta é uma localização conceptual onde uma camada protocolar pode requisitar serviços das camadas adjacentes. A amarelo, na figura 3.22, estão representados serviços disponibilizados pelas camadas onde se encontram.

### Camada PHY

A camada PHY dispõe de dois serviços: serviço de dados e serviço de gestão, que interagem com o *Physical Layer Management Entity* (PLME). O serviço de dados permite a transmissão e receção de “unidades de dados do protocolo físico” (*PHY Protocol Data Unit* (PPDU)) através do canal de rádio físico. O formato dos pacotes PPDU estão ilustrados na figura 3.23. Cada pacote destes consiste nos seguintes componentes básicos [65]:

- *Synchronization Header* (SHR)- Permite que um dispositivo recetor se sincronize com o fluxo de bits do transmissor. Contempla o preâmbulo para sincronizar o mecanismo rádio e o *Start-of-Frame Delimiter* (SFD) para indicar o fim do campo SHR;
- *PHY Header* (PHR)- Contém o tamanho do pacote de informação;
- *Physical Service Data Unit* (PSDU)- Campo de comprimento variável que transporta o quadro *MAC Protocol Data Unit* (MDPU) da camada MAC.

A camada PHY é a responsável por permitir a transmissão e receção de mensagens através de um canal físico de radiofrequência. O padrão IEEE 802.15.4 atribui três

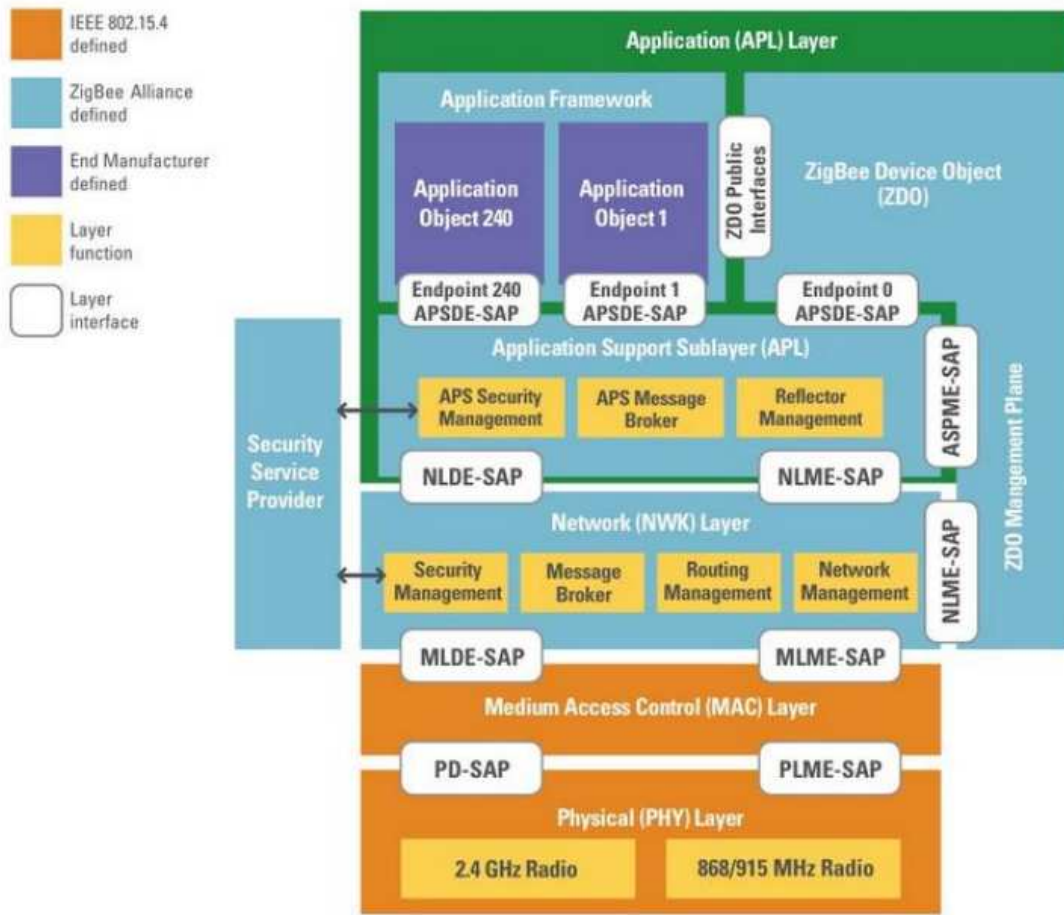


Figura 3.22: Representação da arquitetura protocolar *ZigBee*/IEEE 802.15.4 [69]

Preamble	SFD	Frame length (7 bits)	Reserved (1 bit)	PSDU
SHR		PHR		PHY payload

Figura 3.23: Representação do formato de um PPDU [65]

frequências de operação, conhecidas como bandas ISM, para utilização nas LR-WPAN: 868 MHz, 915 MHz e 2.4 GHz. A tabela 3.9 mostra um comparativo destas.

Tabela 3.9: Comparação entre as três bandas de operação [65]

Frequências (MHz)	Nº de canais	Taxa de transferência (kbps)	Modulação	Região de isenção de licenciamento
868	1	20-100	BPSK	Europa
902-928	10	40-250	BPSK	América, Austrália
2400-2483	16	250	O-QPSK	Mundial

Em termos mundiais opera na banda dos 2.4 GHz, nos Estados Unidos da América e Austrália na banda dos 915 MHz e na Europa na banda dos 868 MHz. Consoante a banda utilizada, a taxa de transmissão é variável: nos 2.4 GHz podem ser obtidas taxas de transmissão de 250 kbps, com 16 canais disponíveis; na banda dos 915 MHz, tem-se uma taxa de transmissão que pode ir desde 40 a 250 kbps e utiliza 10 canais de comunicação; no caso de 868 MHz, possibilita 1 canal e uma taxa de transmissão de 20 a 100 kbps. Em termos de modulação, é utilizado *Offset Quadrature Phase Shift Keying* (O-QPSK) para a banda dos 2.4 GHz e *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) para os 868 e 915 MHz. Na figura 3.24 podem-se observar as três frequências mencionadas com os seus respetivos canais.

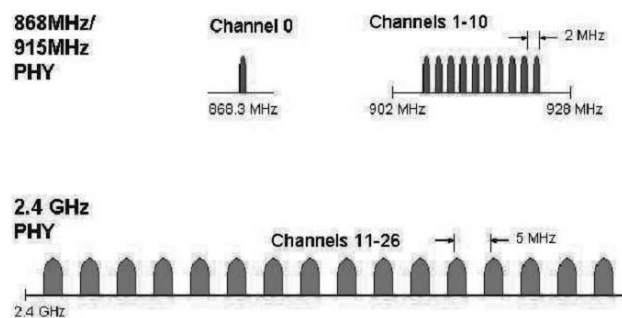


Figura 3.24: Representação das bandas de comunicação[65]

Das funções desta camada fazem parte a ativação e desativação do mecanismo de receção/envio de informação, deteção da energia (*Energy Detection* (ED)), indicação da qualidade da ligação (*Link Quality Indication* (LQI)), seleção do canal, verificação de canal livre (*Clear Channel Assesment* (CCA)) e transmissão/receção de pacotes através do meio físico.

### Camada MAC

A camada MAC oferece a interface entre a camada física e a camada de rede definida pela *ZigBee Alliance*. Esta camada dispõe de dois serviços, serviço de dados MAC e serviço de gestão MAC. O serviço de gestão interage com o *MAC Sublayer Management Entity-Service Access Point* (MLME-SAP). O serviço de dados permite a transmissão e receção de pacotes MDPDU através do serviço de dados PHY.

Esta camada tem como principal funcionalidade controlar o acesso aos canais de radiofrequência, sendo para isso necessário apresentar mecanismos de prevenção de colisão tais como o *Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance* (CSMA-CA).

Outra importante função é que define os dispositivos FFD e RFD. Nesta camada é bem visível a diferença entre estes dispositivos. Enquanto que os FFD apresentam todas as funções, o RFD apenas dispõe das funções básicas que lhe permitam enviar mensagens para a rede e controlar a suas variáveis.

A camada MAC também é encarregue de executar as seguintes funções:

- Gerar *beacons* (mensagens de sincronização), se o dispositivo é um coordenador;
- Sincronizar o dispositivo na rede *beacon*;
- Usar o CSMA-CA para aceder ao canal;
- Gerir canais de acesso em compartimento de tempo garantido *Guaranteed Time Slot* (GTS);
- Validação de tramas e reconhecimento de envio de tramas;
- Fornecer uma ligação confiável entre duas entidades MAC iguais de dois dispositivos diferentes;
- Fornecer serviços de associação e dissociação *Personal Area Network* (PAN);
- Fornecer suporte para segurança. A camada MAC é responsável pelo seu processamento seguro, mas as camadas superiores determinam qual é o nível de segurança que deverá ser utilizado.

### Camada NWK

Ao invés da camada de ligação à rede (PHY) que apenas identifica dois tipos de dispositivos (FFD ou RFD), a camada de rede (NWK) cria mais uma subdivisão nos FFD, podendo ser distinguidos entre coordenador e *router*. A camada de rede é também responsável pela criação e configuração da rede, manutenção da topologia, gestão da camada MAC, criação dos endereços dos nós, gestão da rede, da descoberta de novas rotas entre dispositivos e mesmo descoberta de novos dispositivos. Também suporta a gestão de segurança, baseando-se no algoritmo de encriptação *128-AES*. Por defeito não está ativa, sendo possível ativá-la através da camada de aplicação. Esta é hierarquicamente a primeira camada que é definida pela norma *ZigBee*.

### Camada APL

Na camada de aplicação (APL) são incluídas as subcamadas de suporte de aplicação *Application Support Sublayer* (APS), o *ZigBee Device Object* (ZDO) e a *Application Framework*. Esta última consiste nos objetos de aplicação (*Application Objects*) definidos pelos fabricantes, que mapeiam os nós vizinhos, facilitando a interação entre eles. O ZDO tem como objetivo a descoberta de novos dispositivos na rede e os serviços por eles implementados. A APS é unicamente responsável pela comunicação com a camada inferior, a camada de rede NWK, quer seja a enviar dados das outras subcamadas da APL, quer a receber dados da camada NWK. Esta responsabilidade também inclui a manutenção das tabelas de encaminhamento para manter os vários dispositivos interligados de acordo com os seus serviços e necessidades, e reencaminhar as mensagens entre os dispositivos.

### 3.5.7 Tipos de tramas MSDU

Nas comunicações do protocolo *ZigBee* existem quatro tipos de tramas definidas pelo protocolo IEEE 802.15.4 para a camada MAC [65]:

- Trama de *beacon*;
- Trama de dados;
- Trama de *acknowledgment*;
- Trama de comando MAC.

A trama *beacon* é usada pelo coordenador e *router* para transmitir *beacons*, mensagens de sincronização e determinação de envio e recepção de mensagens. As tramas de dados e *acknowledgment* são usadas para transmitir dados e reconhecer o sucesso da recepção de uma mensagem, respetivamente. Os comandos MAC, por sua vez, são transmitidos usando uma trama de comando MAC.

#### Trama de *Beacon*

A estrutura desta trama é esquematizada na figura 3.25. Aqui é possível verificar que toda a trama MAC é carregada no pacote PHY *Payload*. O conteúdo deste carregamento é referido como sendo o PSDU. No pacote PHY, o primeiro campo é utilizado pelo recetor para sincronização. O SFD indica o fim da SHR (cabeçalho de sincronização) e o início da PHR (cabeçalho do PHY). O comprimento do PHR especifica o número total de octetos no PSDU.

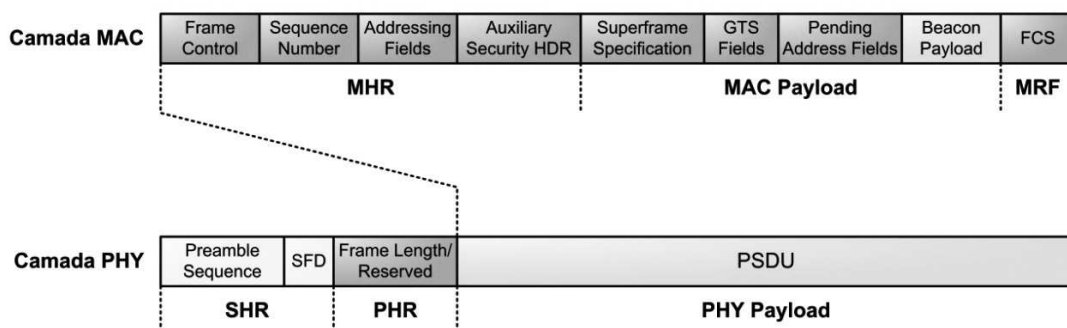


Figura 3.25: Estrutura da trama MAC *beacon* [65]

A trama MAC é constituída por três secções distintas: o cabeçalho (MHR), o carregamento MAC *Payload* e o rodapé (MRF). O campo de controlo (*Frame Control*) no MHR contém informação que define o tipo de trama, o campo de endereço e outras *flags* de controlo. O campo de número de sequência (*Sequence Number*) especifica o número de sequência da *beacon* (BSN). O campo de endereço fornece os endereços da fonte e do destino. O cabeçalho auxiliar de segurança (*Auxiliary Security HDR*) é opcional e contém informação requerida para o processo de segurança.

O carregamento MAC *Payload* é fornecido pela camada NWK. Nesta parte da trama estão associadas especificações sobre um tipo de trama especial (chamada de *superframe* e usada apenas em modo *beacon*), um campo GTS que informa sobre os compartimentos

de tempo garantido (GTS) correspondentes a envio e a receção, um campo de endereços pendentes e um campo opcional *beacon payload*. A trama *beacon* não é apenas usada para sincronizar os dispositivos. Esta é também utilizada pelo coordenador, para permitir que um determinado dispositivo na rede saiba que existem dados pendentes para ele no coordenador. O dispositivo, a seu critério, irá contactar o coordenador e pedir-lhe que lhe transmita dados. Isto é designado por transmissão indireta. O campo de endereços pendentes (*Pending Address Fields*) contém o endereço dos dispositivos que têm dados pendentes no coordenador. Sempre que um dispositivo recebe um *beacon*, este vai verificar nesse campo se existem dados pendentes dirigidos a ele próprio. O campo de carga *beacon* (*Beacon Payload*) é um campo opcional que pode ser usado pela camada NWK e é transmitido juntamente com a trama *beacon*. O recetor usa o campo de verificação da sequência da trama (FCS) para verificar quaisquer erros possíveis na trama recebida.

A *superframe* é uma trama especial delimitada por duas tramas *beacon*. A *superframe* é opcionalmente usada numa rede com *beacon* ativado e ajuda a definir GTS, nos quais larguras de banda podem ser reservadas com exclusividade para transmissão de dados por dispositivos que possuam restrições temporais.

Uma nota importante é que o modo *beacon* é usado quando o coordenador é alimentado por baterias, pois oferece maior economia da bateria. Quando não está em modo *beacon*, o coordenador está sempre em estado ativo, pronto para comunicação a qualquer momento com qualquer dispositivo.

### Trama de Dados

O carregamento de dados (*Data Payload*) é fornecido pela camada NWK. Os dados no carregamento MAC é designado *MAC Service Data Unit* (MSDU). Os campos da trama, como é possível verificar na figura 3.26, são similares aos da trama *beacon*, exceto na *superframe*, pois os campos GTS e de endereços pendentes não estão presentes neste tipo de trama. A trama de dados MAC é designada por MDPU e é introduzida no carregamento PHY (*PHY Payload*).

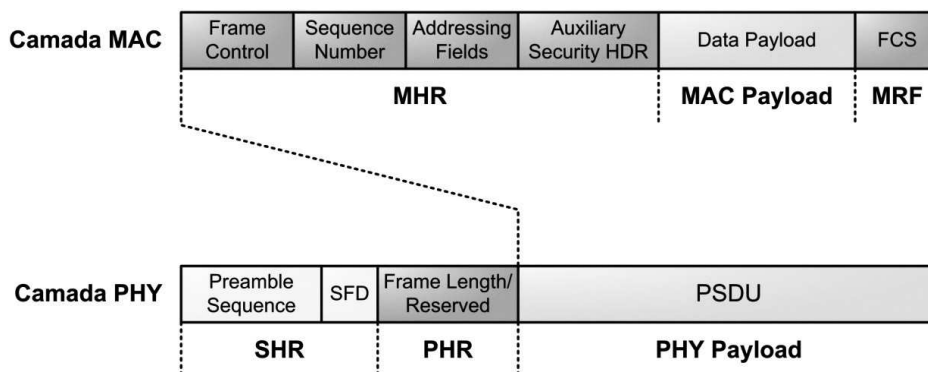


Figura 3.26: Estrutura da trama MAC de dados [65]

### Trama de *Acknowledgment*

A trama MAC de *acknowledgment*, esquematizada na figura 3.27, é a trama MAC mais simples e não possui qualquer carregamento MAC (*MAC Payload*). Esta trama é enviada entre dispositivos, para confirmar o sucesso da recepção de um pacote de dados.

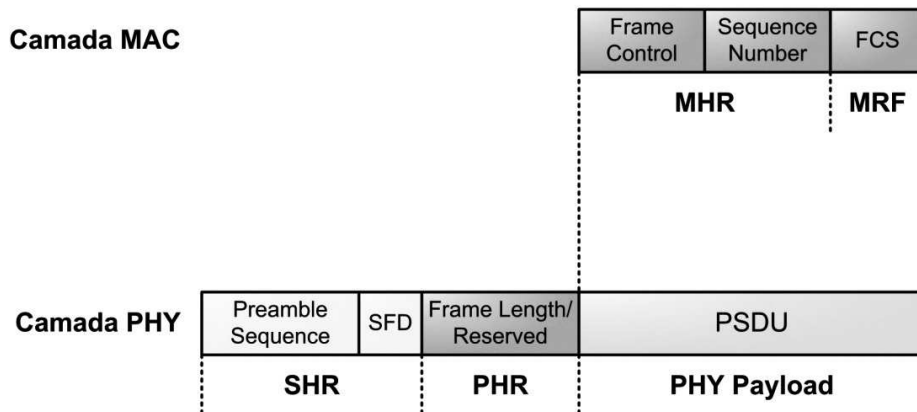


Figura 3.27: Estrutura da trama MAC *acknowledgment* [65]

### Trama de Comando

Os comandos MAC, tais como o pedido de associação ou desassociação com a rede, são transmitidos usando a trama MAC de comando, que pode ser vista na figura 3.28. O campo do tipo de comando (*Command Type*) determina o tipo de comando enviado, por exemplo pedido de associação ou pedido de dados. O carregamento de comando (*Command Payload*) contém o próprio comando. Toda a trama de comando MAC é passada para o PSDU.

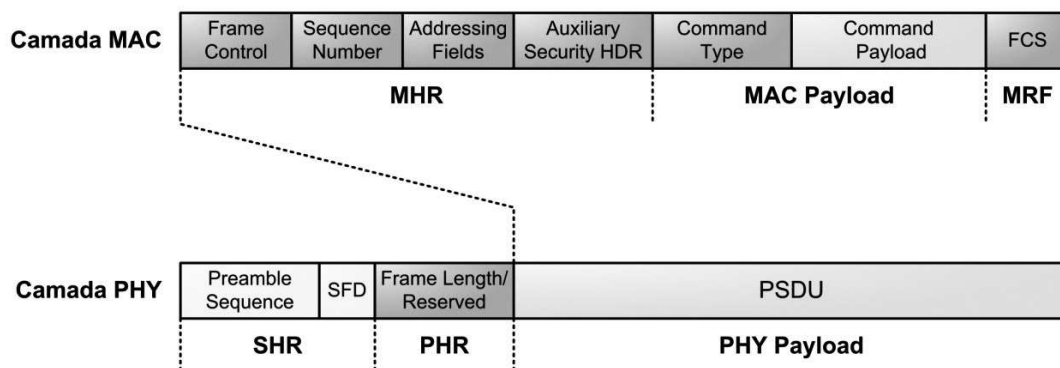


Figura 3.28: Estrutura da trama MAC de comando [65]



## 3.6 Protocolos de comunicação industrial

### 3.6.1 RS232

O protocolo RS232, apesar da sua baixa transferência de dados, é das comunicações mais utilizadas devido à sua simplicidade e facilidade de implementação. Atualmente os protocolos *USB* e *FireWire* vieram substituir este tipo de comunicação. É uma comunicação assíncrona, ou seja, não existe um relógio que defina a frequência de amostragem. A frequência de amostragem desta comunicação é definida pelo *baud rate*, pelo que ambos os equipamentos necessitam de estar conectados com frequências de amostragem similares. As frequências de amostragem podem apresentar valores diferentes, sendo que os mais frequentes apresentem um *baud rate* entre 9600 e 115200 bps (bits por segundo) [75].

Ambos os dispositivos podem enviar dados simultaneamente, pelo que é uma comunicação do tipo *full duplex*. No mínimo são necessários três condutores para a conexão de dois dispositivos (condutor para a transmissão, recepção e *ground*). Entre dois aparelhos a comunicação terá que estar cruzada, ou seja, a transmissão de um nodo terá que estar ligada à recepção do outro nodo e vice-versa. O protocolo RS232 é uma comunicação do tipo *node-to-node*, pois apenas dois equipamentos podem estar conectados entre si. Esta comunicação tem o inconveniente de ser afetada pelo ruído elétrico. A distância máxima entre dispositivos depende do *baud rate* utilizado e da própria resistência que a linha apresente). O conector mais utilizado neste tipo de comunicação é o conector DB9 [75]. A figura 3.29 e a tabela 3.10 ilustram o conector DB9 e uma descrição dos seus pinos.

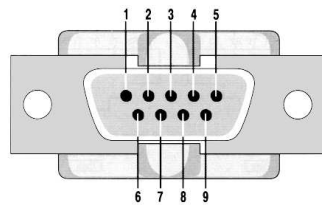


Figura 3.29: Conector DB9 [76]

Tabela 3.10: Descrição dos pinos conector DB9 [76]

Pino	Descrição
1	Deteção de dados a enviar (CD)
2	Recepção de dados (RX)
3	Transmissão de dados (TX)
4	Terminal de dados pronto (DTR)
5	Massa/Terra/Comum (GND)
6	Dados prontos a enviar (DSR)
7	Pedido de transmissão (RTS)
8	Resposta ao pedido de transmissão (CTS)
9	Indicador de telefone (RI)

### 3.6.2 RS485

A comunicação RS485 visa colmatar as limitações até agora abordadas pelas comunicações RS232. Esta comunicação é diferencial, com boa imunidade ao ruído, permitindo um maior alcance de transmissão de dados. A comunicação é efetuada através de um cabo de pares entrançados com vista a eliminar interferências eletromagnéticas externas que possam causar degradação ou perdas de informação na comunicação.

A transmissão do RS485 é denominada de sistema balanceado. Esta designação deve-se ao facto da variação da oscilação do sinal dos dois canais ser oposta. A figura 3.30 ilustra a simetria ideal da variação num par de condutores.

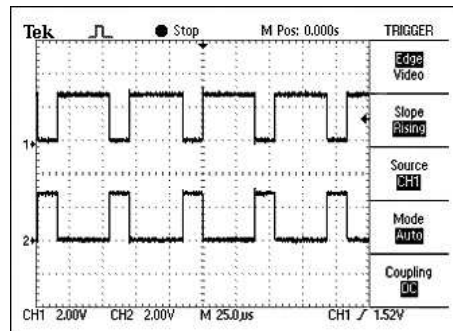


Figura 3.30: Oposição de sinais da comunicação diferencial RS485 [77]

A camada física deste tipo de comunicações é adotada por diversos protocolos industriais, dos quais se destacam o *Modbus* e o *Profibus*. A rede pode operar em modo *full duplex* (FDX) ou *half duplex* (HDX) (ver figura 3.31). No caso do *half duplex*, a linha de envio e transmissão de dados é partilhada pelo mesmo par entrançado, pelo que o nodo do tipo *slave* apenas poderá transmitir dados após a finalização da transmissão por parte do *master*. Ou seja, o envio e a receção têm de ocorrer em momentos diferentes. Dado que o modo *half duplex* utiliza o mesmo par entrançado de fios, este tem a vantagem da utilização de menos cablagem que o modo *full duplex*.

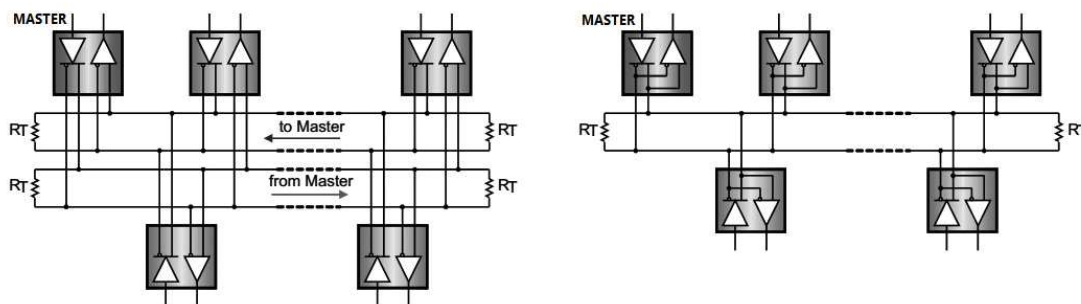


Figura 3.31: Modo *full duplex* e *half duplex*, respetivamente [78]

Em relação ao modo *full duplex*, um nodo do tipo *slave* pode efetuar a transmissão de dados livremente, desde que nenhum outro nodo do tipo *slave* esteja a transmitir dados. A norma deste protocolo define um máximo de 256 dispositivos ligados à linha e um alcance de transmissão de dados até 1200 metros, com *baud rate* até 100 kbps. Para um *baud rate* de 10 Mbps a distância de transmissão situa-se nos 12 metros (figura 3.32).

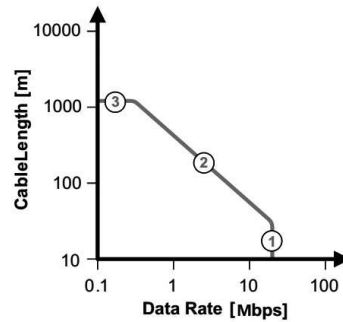


Figura 3.32: Distância máxima de transmissão *versus baud rate*[78]

O protocolo RS485 aborda apenas as características elétricas (ver tabela 3.11) e modos de operação da rede que constituem a primeira camada do protocolo *OSI*. Na figura 3.33 pode-se ver uma representação dos níveis de sinais envolvidos. Os transmissores fornecem uma saída diferencial de no mínimo 1.5V, através de uma carga de  $54\Omega$ , ao passo que os receptores detetam uma entrada diferencial de pelo menos 200 mV.



Figura 3.33: Exemplo de sinais envolvidos na comunicação RS485 [78]

Tabela 3.11: Características elétricas do protocolo RS485 [79]

Características	RS485
Modo de Operação	Diferencial
Número máximo de nodos	256
Comprimento máximo da linha	1200 metros
Taxa máxima de transmissão de dados	10 Mbps
Sensibilidade da recepção	$\pm 200$ mV
Nível lógico superior	$> 200$ mV
Nível lógico inferior	$< 200$ mV
Impedância máxima de entrada	$12$ k $\Omega$
Níveis de tensão	-7V a +12V
Impedância de carga do transmissor	$54\Omega$
Corrente máxima de curto-circuito	250 mA

### Resistências de terminação

O protocolo RS485 prevê a utilização de resistências de terminação nas extremidades do par entrançado de forma a reduzir distorções de sinal. As resistências de terminação devem ser colocadas em paralelo com o par entrançado e dependem das características de impedância do cabo utilizado. O protocolo RS485 define as resistências de terminação com o valor de  $120\Omega$  como caso genérico.

### Resistências de *pull-up* e *pull-down*

O protocolo RS485 define uma diferença de potencial menor que 200 mV entre os dois condutores do par entrançado, quando em estado de alta impedância. A solução adotada para garantir os 200 mV consiste no uso de resistências de *pull-up* e *pull-down*, tal como ilustrado na figura 3.34.

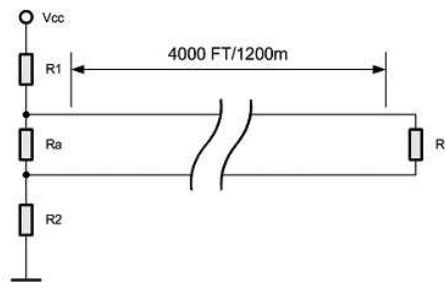


Figura 3.34: Esquema típico de instalação de resistências de terminação, *pull-up* e *pull-down* [79]

As resistências  $R_a$  e  $R_b$  representam as resistências de terminação montadas em paralelo. Considerando  $120\Omega$  como sendo o valor de cada resistência de terminação, para evitar o máximo de reflexões, e uma tensão  $V_{cc}$  igual a 3.3 Volt, tem-se:

$$R_T = \frac{U}{I} \Leftrightarrow I = \frac{U}{R_T} = \frac{200mV}{60\Omega} = 3.3mA \quad (3.1)$$

Para garantir uma tensão igual a 200 mV, será necessário que a fonte externa  $V_{cc}$  debite uma corrente igual a 3.3 mA (equação 3.1). O cálculo das resistências de *pull-up* e *pull-down*  $R_1$  e  $R_2$  é dado pela equação 3.2.

$$R_T + R_1 + R_2 = \frac{3.3V}{3.3mA} \Leftrightarrow R_1 + R_2 = 940\Omega \quad (3.2)$$

Foi obtido o valor de  $940\Omega$  para as resistências de *pull-up* e *pull-down*. Desta forma chega-se a um valor de  $470\Omega$  para as resistências  $R_1$  e  $R_2$ .

### Funcionamento em rede

O protocolo permite a ligação de vários dispositivos em rede. No entanto, existem algumas considerações a reter no uso da comunicação. O protocolo define a utilização de um repetidor de sinal entre cada 32 dispositivos ligados à rede.

Os amplificadores operacionais dos nodos *slave* que efetuam a transmissão de dados não podem aplicar tensões diferenciais simultaneamente [79]. Quando um determinado nodo *slave* efetuar a comunicação com o *master*, todos os outros deverão ter os seus amplificadores operacionais de saída em estado de alta impedância, permitindo que estes não influenciem a linha de transmissão.

A topologia permitida pelo protocolo também apresenta algumas limitações. Apesar de ser permitido a implementação de topologias em estrela ou árvore, a mais recomendada e utilizada é a estrutura em barramento (*bus*). O controlo de acesso ao meio não é definido pelo protocolo RS-485 e, como foi evidenciado anteriormente, terá que coexistir um mecanismo que controlo do meio de transmissão dos dispositivos do tipo *slave*.

## Capítulo 4

# Solução proposta

*O presente capítulo pretende apresentar a solução proposta nesta dissertação, com o intuito de satisfazer os objetivos estipulados inicialmente. De uma forma gradual, são apresentadas as várias partes constituintes da solução e em cada uma delas é explicado o modo de funcionamento e as interações existentes com as restantes.*

*A solução proposta está dividida em duas grandes partes, o “Sistema Campo” e o “Sistema Central Exploração”. A primeira faz a interação com os animais, em termos de pesagem, identificação eletrónica, sequestro na estrutura, posterior tratamento dos dados adquiridos e envio destes para a segunda parte. Nesta última faz-se o registo dos dados recebidos, consultas e configurações do sistema.*

*Na descrição do “Sistema Campo” (SC) são analisados os vários módulos constituintes (identificação eletrónica, comunicação wireless, pesagem, controlo da porta, deteção de passagem de animais e módulo processamento), seus algoritmos de funcionamento e a estrutura proposta para este sistema. No “Sistema Central Exploração” (SCE) são abordados os funcionamentos da comunicação wireless, interface gráfica e base de dados desenvolvida.*

Este trabalho de dissertação apresenta uma solução automatizada de apoio à gestão de animais de uma exploração agropecuária. Esta proposta procura simultaneamente a diminuição do tempo dispendido no processo de pesagem de animais, uma menor intervenção humana na pesagem dos animais, a identificação eletrónica destes, o registo eletrónico das sucessivas pesagens de cada animal, o sequestro de um animal sem que haja para isso uma procura propositada e a monitorização do comportamento animal. Esta solução baseia-se na rotina normal e essencial à vida que “qualquer animal tem em saciar a sua sede”.

Na figura 4.1 é apresentado um esquema geral da solução proposta, constituída por duas partes, o “Sistema Central Exploração” (SCE), localizado num edifício da exploração agrícola e o “Sistema Campo” (SC), localizado em qualquer sítio da exploração que os animais frequentem livremente. Desta forma procura-se que o animal vá voluntariamente ao SC para beber água, sendo este momento aproveitado para realizar as tarefas de pesagem, identificação eletrónica e possível sequestro sem que o animal entre em *stress* pela presença humana, ou seja, obrigado a deslocar-se a uma balança contra a sua vontade.

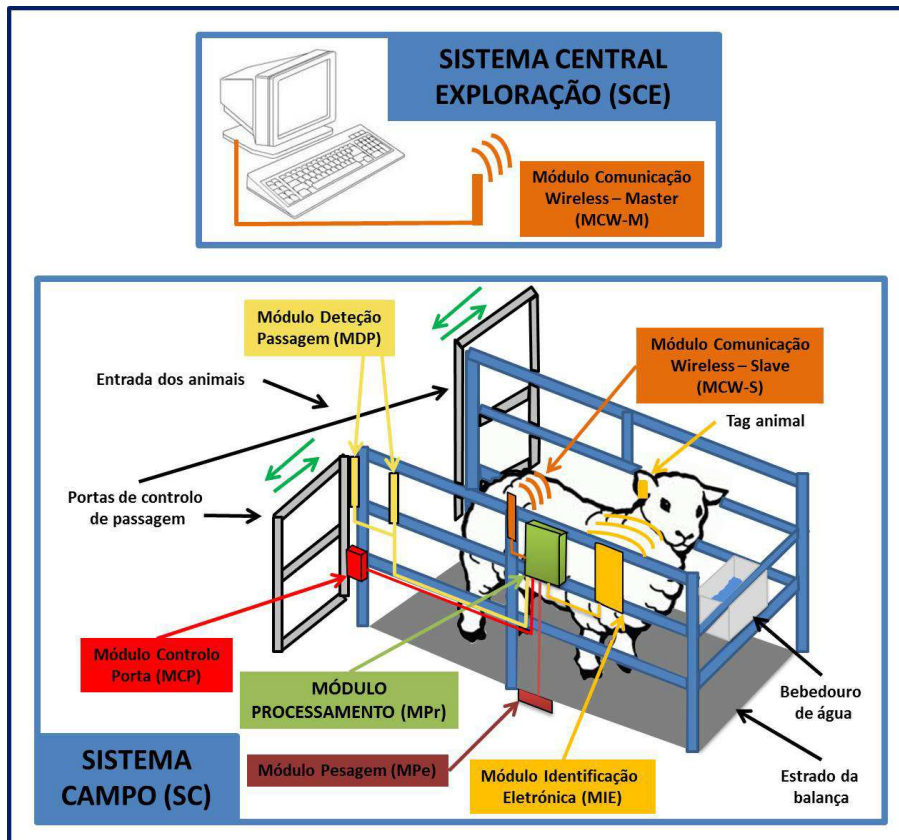


Figura 4.1: Esquema geral da solução proposta

### “Sistema Campo” (SC)

O SC é formado por uma componente mecânica e por uma componente de automação. Para que um animal seja pesado nas devidas condições, ou seja, com o mínimo de perturbações e individualmente, deve existir uma barreira entre o animal, que se dirige para beber água (e assim para ser pesado), e os demais existentes na exploração. A necessidade de uma estrutura que proteja a zona do bebedouro e da balança é imperativo para se ter um sistema que funcione corretamente e sem auxílio permanente da ação humana. O momento de pesagem é realizado quando o animal está totalmente dentro da estrutura, protegido das perturbações exteriores. Após um animal entrar na estrutura, terá de haver uma barreira móvel que rapidamente feche a entrada aos restantes animais. A identificação eletrônica do animal também tem de ser um processo controlado, pois só poderá ser identificado um animal que esteja totalmente dentro da estrutura e não outros que porventura estejam fora e passem perto do equipamento.

A estrutura proposta é de forma prismática retangular adequada ao tamanho do animal, fechada em 3 lados tendo no restante um sistema de portas de acionamento automático. A espécie animal tratada nesta dissertação é a ovina, pois a empresa com a qual se debateu algumas ideias para esta dissertação (PecPlus) trabalha em grande parte com explorações de ovinos. A estrutura engloba o sistema de abastecimento de água (bebedouro localizado no topo fechado), o piso da estrutura integra o corpo mecânico da balança e os equipamentos de automação estão fixos na estrutura, neste caso podendo

estar localizados como ilustrado na figura 4.1. A balança é do tipo eletrônica formada por 4 células de carga fixas na base da estrutura, sendo apoiado nestas um estrado pelos seus 4 cantos. As células de carga estão protegidas da humidade, dos dejetos e da corrosão dentro de caixas metálicas, estando estas protegidas debaixo do estrado.

O sistema de automação é dividido nos seguintes módulos e equipamentos apresentados a seguir, tendo para cada um uma descrição de funcionamento:

- **“Módulo Processamento” (MPr)** é a unidade gestora de todo o processo do SC, controlando a função de todos os equipamentos em redor e as suas interações;
- **“Módulo Identificação Eletrónica” (MIE)** é a unidade que permite identificar os animais que entram na estrutura, lendo os dispositivos eletrónicos (*tag*) transportados pelos animais;
- **“Módulo Comunicação *Wireless (Slave)*” (MCW-S)** é a unidade que permite a comunicação sem fios entre o equipamento exterior (SC) e o SCE, permitindo fácil colocação do equipamento e porventura a mudança de local sem problemas de instalação de fios;
- **“Módulo Pesagem” (MPe)** é a unidade que faz a ponte entre o sistema de balança e o MPr. Recebe os sinais analógicos vindos das 4 células de carga, soma esses sinais analogicamente e amplifica o resultado, para ser processado pelo MPr;
- **“Módulo Controlo Portas” (MCP)** é a unidade que permite o acionamento automático das portas, comandado pelo MPr;
- **“Módulo Detecção Passagem” (MDP)** é a unidade de deteção de passagem dos animais na estrutura, quer saída quer entrada.

#### “Sistema Central Exploração” (SCE)

No computador da exploração, está instalado um programa de apoio ao SC, ligado ao “Módulo Comunicação *Wireless (Master)*” (MCW-M) e a uma base de dados. A comunicação entre o SCE e o SC é efetuada sem fios entre os dois módulos de comunicação. Este programa permite fazer as consultas das pesagens registadas na base de dados, sinalizar animais para sequestro na estrutura, atuar sobre o modo de funcionamento do SC e fazer configurações e calibrações a este.

#### Princípios de funcionamento da solução proposta

Na figura 4.2 é apresentado um diagrama de sequência dos vários intervenientes da constituição e funcionamento da solução proposta, assim como as várias interações por eles realizadas. A verde estão representadas as interações que o utilizador, neste caso o produtor de ovinos, tem com o programa. As setas a azul representam os processos automáticos. Para que haja passagem de mensagens entre o SCE e o SC terá de haver comunicação entre o programa e o MCW-M, para que depois este retransmita para o SC. Assim o utilizador terá de escolher a porta de comunicação e iniciar comunicação. Ao iniciar comunicação é enviado um pedido para saber o estado do SC. O SC pode estar num destes quatro estados de funcionamento:

- **Estado Desativo (DTV)** - O equipamento está à espera de receber configurações e calibrações da balança;
- **Estado Ativo (ATV)** - O equipamento está preparado para entrar em modo de trabalho;

- **Modo Manual (MAN)** - O equipamento está em trabalho no modo manual, ou seja, qualquer ação executada pelo equipamento é ordenada pelo utilizador através do programa. Estas ações podem ser para calibração da balança, pesagem, leitura de *tag*, deteção de *tag* e acionamento de portas do SC;
- **Modo Automático (AUTO)** - O equipamento está em trabalho no modo automático, ou seja, as ações executadas pelo equipamento são tomadas autonomamente e são desencadeadas pela entrada de um animal na estrutura.

Em estado desativo, o utilizador pode executar as seguintes ações:

- Enviar comandos de configuração para o MIE e acionamento de portas do SC;
- Proceder ao processo de calibração da balança, constituído pela colocação de vários pesos de valor conhecido na balança do SC, inserção desses valores no programa, pedido do valor da conversão do sinal analógico (das células de carga) em valor digital para cada um dos pesos (em que cada par de valores de peso e conversão é gravado na base de dados), cálculo da regressão linear com esta correspondência entre peso e valor da conversão, envio dos valores calculados na regressão (declive da reta e valor da ordenada na origem, chamados de parâmetros de calibração) para o MPr para este guardar em memória e pedido de verificação desses parâmetros.

O utilizador ao ativar o SC poderá ativar o modo MAN ou AUTO do equipamento. Assim em modo MAN poder-se-á enviar vários comandos para serem executados pelo SC como as tarefas de detetar a existência de uma *tag* na zona de alcance da antena do MIE, ler *tag* no modo simples, ler *tag* no modo integral, proceder ao processo de pesagem ou abrir/fechar as portas. O equipamento estando em modo AUTO realizará, após a entrada de um animal na estrutura, a sua identificação, pesagem, envio dessa informação para o SCE e sequestro do animal na estrutura se estiver sinalizado para tal no programa, mantendo-se preso até que seja libertado pelo produtor. Se não estiver sinalizado, o sistema abre as portas e o animal sairá pelo mesmo sítio que entrou.

O processo de sequestro tem razão de existir pois a procura de um animal individual na exploração, por exemplo para vacinação ou para ser retirado junto dos outros, é um processo demorado e que pode ter custos de mão de obra de várias horas, desestabilizando o ambiente em que vivem os animais. Assim, os animais ao sentirem necessidade de beber água, inevitavelmente deslocam-se ao SC e no espaço de horas encontra-se o animal pretendido. Um animal sinalizado para sequestro que entre na estrutura terá de se manter lá até que o produtor chegue ao local, realize a tarefa que pretende com o animal fechado (se for caso disso) e após isso pode libertar o animal, acionando a abertura de portas. No programa há um aviso em como um animal sinalizado foi encontrado no equipamento e mediante este aviso o produtor sabe que irá ter de ir ao local do SC.

Em qualquer situação o utilizador poderá consultar os registos de pesagem guardados na base de dados, em vários modos e poderá sinalizar novos animais para serem sequestrados na estrutura.

O programa, na receção de mensagens vindas do SC quando este se encontra em modo AUTO (que corresponde a uma nova pesagem), processará essa informação recebida e guardará na base de dados.

Nas secções seguintes são explorados mais em pormenor os vários pontos da solução proposta, as formas de comunicação entre os vários módulos e o funcionamento interno destes, com a apresentação de diagramas de fluxo para explicar os algoritmos usados.



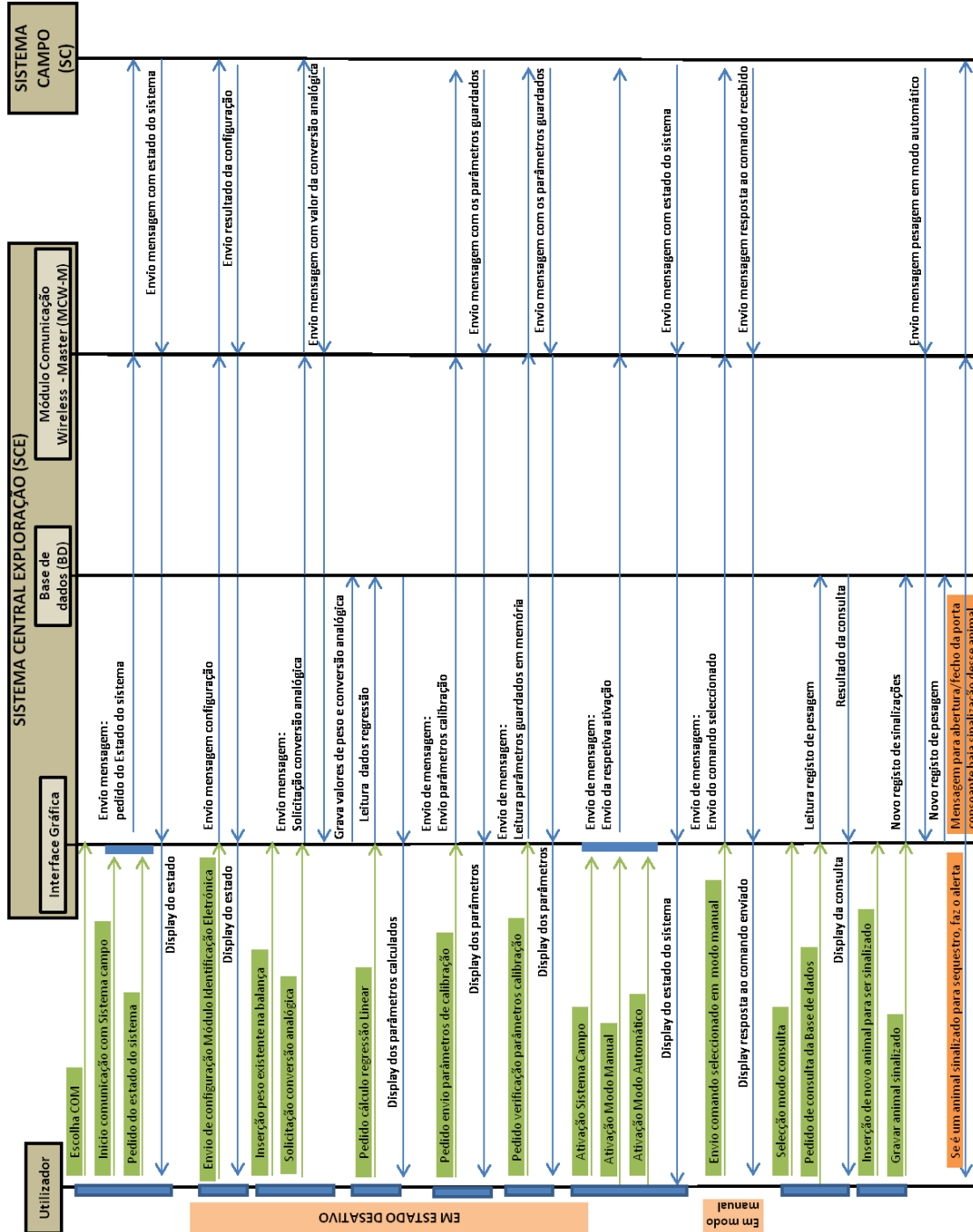


Figura 4.2: Interação dos vários intervenientes no processo

## 4.1 “Sistema Campo” (SC)

Na figura 4.3 é apresentada a organização interna do SC, constituído pelo MPr, MCW-S, MIE, MPe, MCP e MDP.

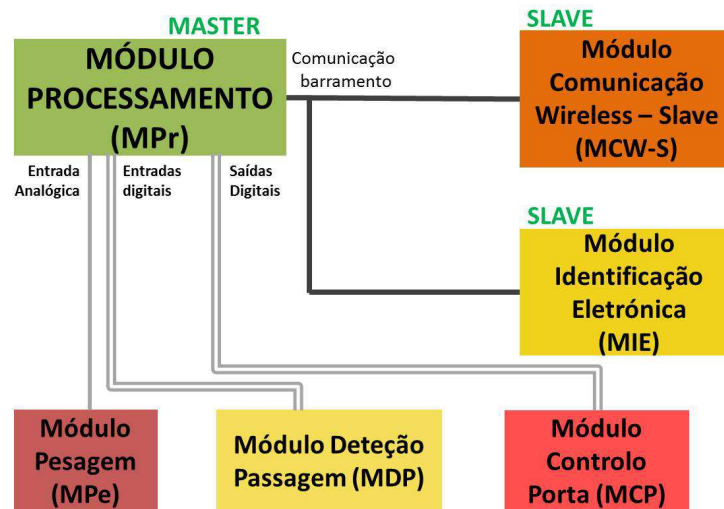


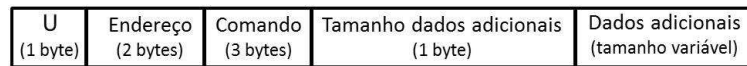
Figura 4.3: Esquemático da solução proposta para o SC

A comunicação entre o MPr, MIE e MCW-S é realizada por uma comunicação barramento, permitindo assim vários dispositivos ligados entre si, neste caso um dispositivo *master* (MPr) e os outros dois módulos referidos sendo *slaves* da comunicação. Como estrutura de mensagem, não foi implementado nenhum protocolo específico nem seguida uma regra universal para todos os equipamentos intervenientes, devido à natureza dos equipamentos utilizados na implementação física da solução, como descrito no capítulo 5. A comunicação estabelecida entre o MPr e o MCW-S segue as estruturas de mensagem da figuras 4.4a e 4.4b. O caracter 'U' é introduzido nas mensagens simplesmente por causa do equipamento usado na implementação física do MIE, que já vem programado e com estruturas de mensagem definidas, como se verá mais à frente. A comunicação entre MPr e o MIE está representada nas figuras 4.4c e 4.4d.

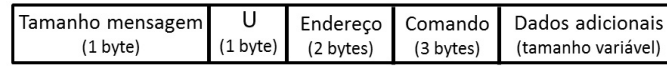
Estes dados enviados pelo MIE (figura 4.4d) dependem da mensagem. Este módulo pode emitir mensagens de leitura de *tag*, comando não reconhecido, configuração realizada com sucesso e *tag* não presente. Mais à frente é explicado mais em pormenor estas mensagens.

O MPr recebe através de uma entrada analógica o sinal vindo do MPe, através de entradas digitais recebe os estímulos do MDP ao entrar/sair um animal da estrutura e por último envia as ordens para abrir/fechar as portas do SC através de saídas digitais, para o MCP.

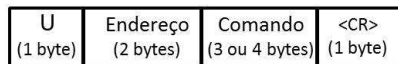
De seguida são apresentados os fluxogramas explicativos do modo de funcionamento dos vários elementos constituintes do SC.



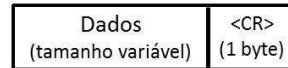
(a) Mensagem enviada pelo MCW-S para o MPr



(b) Mensagem recebida pelo MCW-S vinda do MPr



(c) Mensagem recebida pelo MIE vinda do MPr



(d) Mensagem enviada pelo MIE para o MPr

Figura 4.4: Estruturas de mensagem envolvidas na comunicação barramento, entre MPr, MCW-S e MIE

#### 4.1.1 “Módulo Processamento” (MPr)

Na figura 4.5 está representado o fluxograma explicativo do algoritmo de funcionamento do MPr. No arranque do sistema, os parâmetros utilizados no cálculo do peso são atualizados, sendo lidos da memória no uC do MPr. Estes parâmetros correspondem aos valores obtidos no cálculo da reta de regressão linear (declive e ordenada na origem), como mais adiante é analisado durante a explicação do método utilizado para cálculo do peso.

De seguida o algoritmo entra num ciclo de verificação de receção de mensagem, vinda da comunicação barramento, correspondente à rotina de interrupção à receção do uC. Se recebeu mensagem, esta é lida e analisada para se saber qual o *slave* emissor e qual o tipo de mensagem. Como emissores de mensagens para o MPr temos os já anteriormente falados MCW-S e MIE. As mensagens do MCW-S, que correspondem às mensagens vindas do SCE, podem ser de vários tipos e para cada existe um procedimento a seguir:

- “Ativar sistema”- Esta mensagem ativa o sistema (estado ATV) preparando assim este para entrar em modo de trabalho;
- “Desativar sistema”- Esta mensagem desativa o sistema (estado DTV) preparando este para poder receber configurações ou calibração da balança;
- “Configurar”-Este tipo de mensagem só tem efeito se o sistema estiver em estado DTV. Estando desativo, o sistema é configurado segundo a mensagem recebida;
- “Ativar modo AUTO”- Esta mensagem só é válida se o sistema estiver em ATV. Estando ativo, entra em modo AUTO;
- “Ativar modo MAN”- Esta mensagem só é válida se o sistema estiver ATV, preparando o sistema para receber comandos em modo MAN;
- “Comandos em modo MAN”- Esta mensagem só tem efeito se o sistema estiver em modo MAN. Se for o caso, é executado o comando manual recebido e é enviado o resultado para o MCW-S para então ser retransmitida para o SCE;
- “Pedido de estado do sistema”- Esta mensagem tem o objetivo de no SCE se saber em que estado está o funcionamento do SC. Assim este enviará uma mensagem correspondente ao seu estado atual para o MCW-S para este a retransmitir.

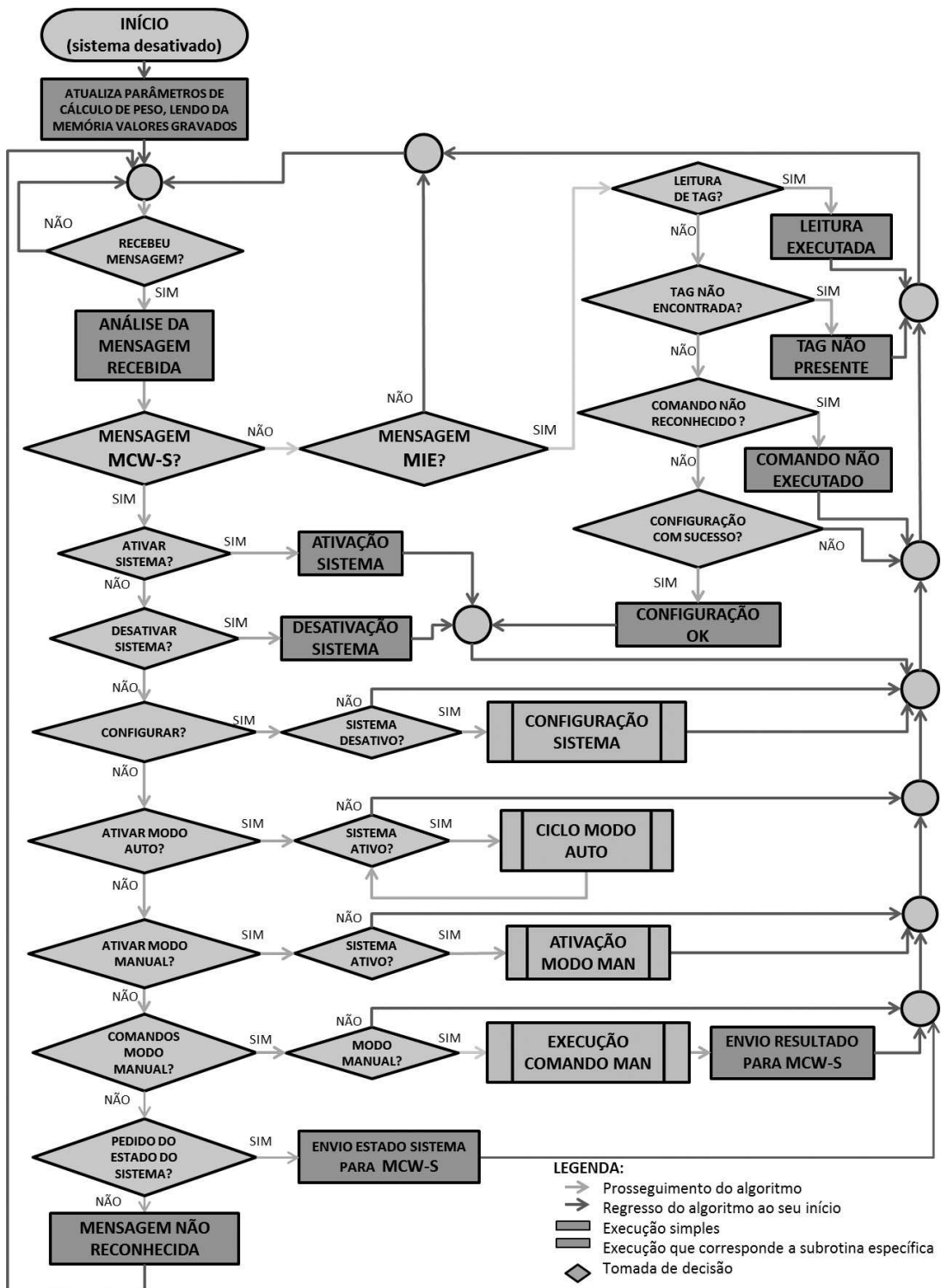


Figura 4.5: Esquemático do algoritmo do MPr

Quanto às mensagens vindas do MIE, estas podem ser do tipo:

- “Leitura de *tag*”- Se receber esta mensagem é porque foi executada leitura de *tag*;
- “*Tag* não presente”- Esta mensagem é recebida sempre que for pedida alguma ação sobre uma *tag* mas na zona de alcance não se encontrar nenhuma *tag*;
- “Comando não reconhecido”- Esta mensagem é recebida se alguma mensagem for enviada para o MIE e este não a reconhecer;
- “Configuração com sucesso”- Se alguma configuração for enviada para o MIE e for executada com sucesso, este responderá com mensagem de sucesso.

Se alguma mensagem não corresponder a nenhum dos módulos ou se não for reconhecida, o sistema ignora essa mensagem. Após as receções de mensagem serem processadas e seguidos os procedimentos de cada uma, o algoritmo voltará ao início, ficando à espera de nova receção de mensagem.

### Modo Manual (MAN)

Quando é recebida mensagem para ativar o modo MAN, o MPr executa o algoritmo representado na figura 4.6.



Figura 4.6: Esquemático do algoritmo de funcionamento modo MAN

O MPr envia mensagem para o MCW-S em como o modo MAN foi ativado e envia para o MIE a ativação de leitura simples de *tag*. Isto quer dizer que uma eventual *tag* apenas é lida se for enviado um comando para leitura naquele momento. Se esta configuração do MIE for bem sucedida, então é permitida a execução de comandos em modo MAN. Se não for, repete tantas vezes até que seja configurado dessa maneira e seja recebido no MPr uma mensagem de configuração com sucesso. Os comandos em modo MAN enviados a partir do SCE são os seguintes, representados na figura 4.7:

- “Detetar presença de *tag*”;
- “Ler *tag* modo standard”;
- “Ler *tag* modo integral”;
- “Executar processo de pesagem”;
- “Abrir/fechar portas do SC”.

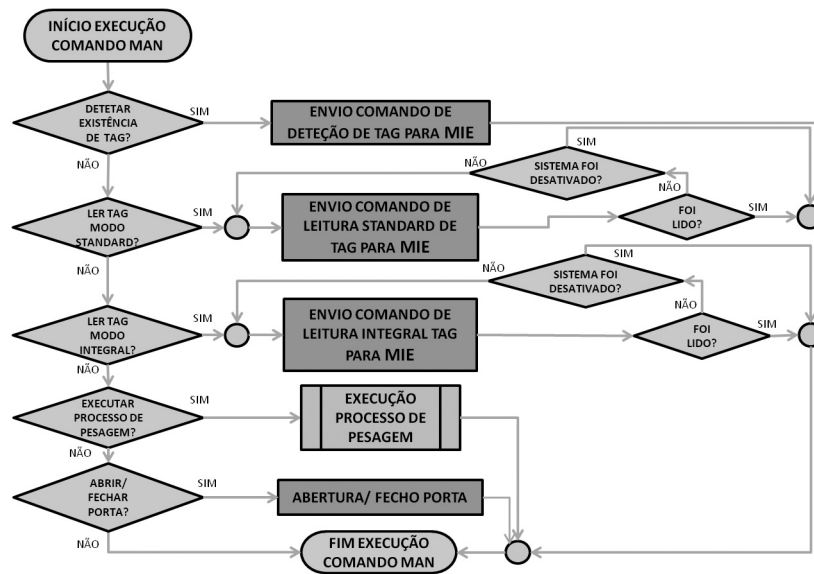


Figura 4.7: Esquemático do algoritmo da execução dos comandos em modo MAN

Os três primeiros comandos são reenviados para o MIE. Se os comandos de leitura de *tag* não forem executados com sucesso são repetidos automaticamente, até que se tenha sucesso. Este processo pode ser interrompido se o SC for desativado. Ao obter sucesso acaba a execução do comando. O penúltimo comando solicita a execução do processo de pesagem e este é processado em algoritmo próprio, representado na figura 4.9a. O último comando permite a abertura/fecho das portas do SC, para efeitos de pesagem e identificação.

### Modo Automático (AUTO)

O modo AUTO é descrito na figura 4.8. Este ciclo corresponde ao funcionamento autónomo do equipamento, com a menor intervenção humana e com as entradas/saídas voluntárias dos animais. O processo começa por enviar para o MCW-S uma mensagem a informar que o modo AUTO foi acionado, para que assim no SCE o programa esteja sincronizado com o funcionamento do SC. De seguida é ativado o modo de leitura automática do MIE, ou seja, uma *tag* que entre na área de alcance da antena é automaticamente lida sem a necessidade de haver o envio de um comando específico para leitura. Assim um animal pode ser identificado quando entrar na estrutura, em andamento. Se a configuração não for bem sucedida, torna a tentar até estar dessa forma configurado. Neste momento entra em modo de espera de entrada de animais na estrutura (verificado ciclicamente pelo MDP), se o sistema é desativado (enviando para o MCW-S a informação de que o sistema foi desativado) e se recebe um pedido de estado do sistema. Se o MDP detetar um animal, o MPr envia um comando para ativação da antena do MIE. Isto porque a leitura automática pode estar ativa e a antena desativa. Este módulo, como mais à frente se verá, permite que se desative a antena, não lendo nenhuma *tag* que entre no espaço do seu alcance.

Quando um animal entrar totalmente no equipamento (detetado pelo MDP), o MPr ativa uma saída digital para que o MCP acione o fecho da porta. Se a ativação da antena

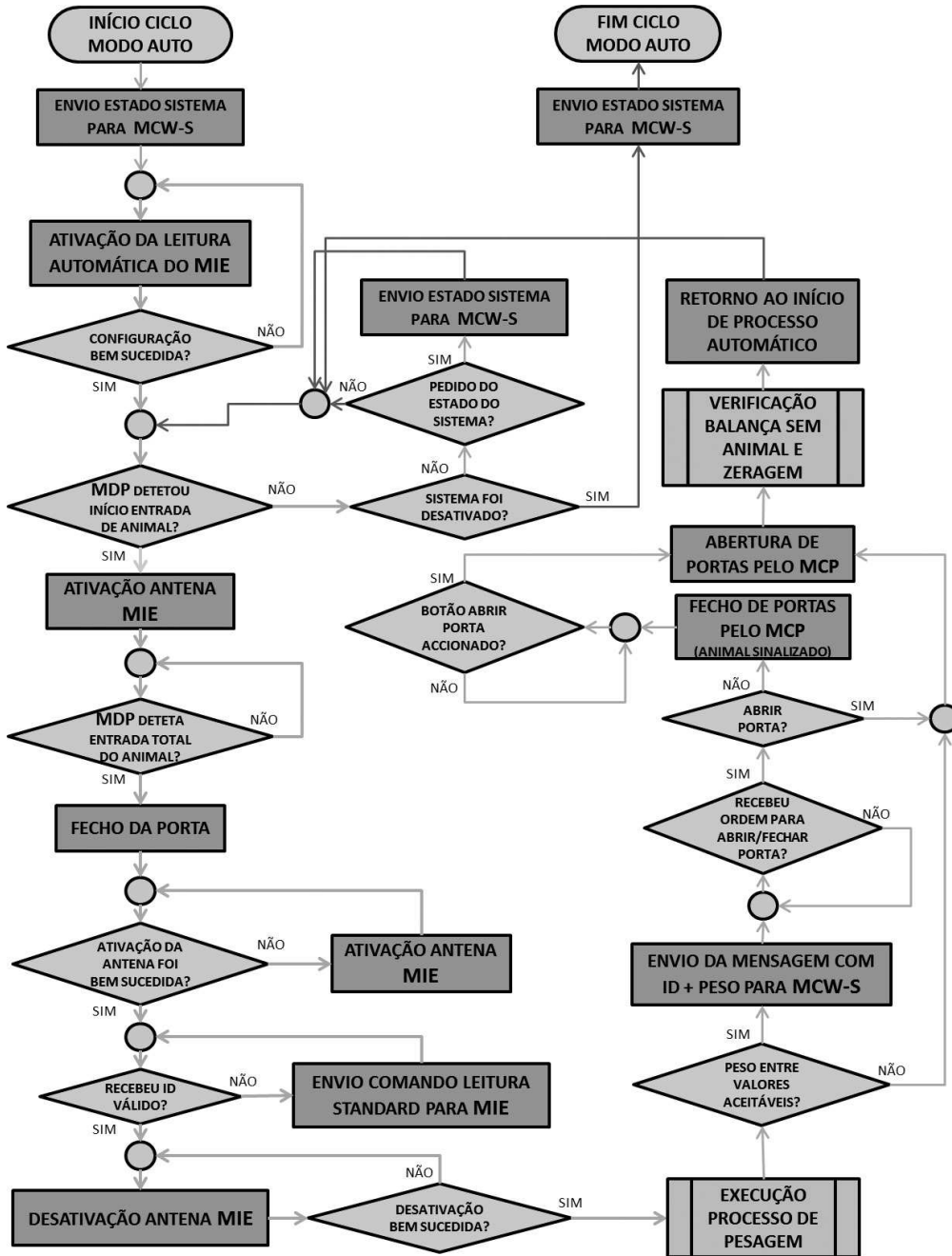


Figura 4.8: Esquemático do algoritmo de funcionamento em modo AUTO

anteriormente realizada não for bem sucedida, então torna a repetir o procedimento até que seja. O animal, ao entrar totalmente na estrutura, passará com a *tag* que transporta pela zona de alcance da antena do MIE. Se houver leitura e se essa leitura de *tag* for válida, ou seja, se ler todos os caracteres do país e do ID corretamente, procede para a desativação da antena. Se não leu corretamente ou se ocorrer o caso de não ler *tag* nenhuma, o MPr envia ciclicamente o comando de leitura standard de *tag* para o MIE até que haja uma leitura correta. Quando a desativação da antena tiver sido bem sucedida e assim o animal identificado, o algoritmo procede para a execução do processo de pesagem, cujo algoritmo está representado na figura 4.9a. O valor calculado do peso do animal tem que estar compreendido entre valores mínimos e máximos. Abaixo do valor mínimo indica que não haverá animal nenhum na balança e esse pequeno peso existente pode corresponder a areias e dejetos provenientes dos animais. Acima do valor máximo poderá ser que exista mais que um animal dentro da estrutura, ou que até por exemplo esteja algum objeto dentro da estrutura que não deveria estar. Outras razões podem ocorrer para que o valor calculado não esteja dentro do intervalo estipulado, como por exemplo a balança estar mal calibrada, ou até mesmo as células de carga não estarem a funcionar corretamente e também por influência das diferenças de temperatura ambiente. Esta temática é analisada mais à frente, quando se explica o algoritmo de pesagem usado (ver figura 4.9a). Estas situações têm que ser salvaguardadas pois levam a registos errados de pesagem e a estatísticas erradas numa análise posterior. Os registos de pesagem têm que corresponder, o mais possível, à realidade, pois estes dados podem ser usados pelo criador dos animais para análises ao seu crescimento, ajustamento da alimentação às necessidades de cada um e controlo da sanidade pela estatística de crescimento, entre outros parâmetros zootécnicos. Este intervalo de peso aceitável é definido consoante os pesos típicos dos animais da espécie para o qual o equipamento se aplica e ao intervalo de idades dos animais que existem na exploração. Se os valores de peso estiverem aceitáveis, é enviada a mensagem que contém a identificação e o peso desse animal para o MCW-S para que este a retransmita para o SCE e assim este proceda ao registo na base de dados. O SCE ao receber esta mensagem vai pesquisar na lista de animais sinalizados para sequestro se este animal identificado se encontra lá. Logo a seguir manda uma ordem para manter a porta fechada ou abrir porta, consoante o animal esteja ou não sinalizado, respetivamente. Na situação do peso não ser válido, ou seja, a mensagem não ser enviada, o MPr procede à comunicação ao MCP para que este abra a porta. No caso de um animal ficar sequestrado, a porta abrirá apenas quando o produtor chegar ao SC e premir o botão de abrir porta. Este botão está localizado no painel de sinalizações do MPr. Em qualquer dos casos, depois da porta abrir, é verificado se o animal ainda permanece na balança, fazendo a zeragem da balança apenas se o peso calculado nesse momento não for zero e for abaixo do limite mínimo de peso aceitável, corrigindo os parâmetros de cálculo do peso. A representação deste algoritmo está na figura 4.10. O ciclo AUTO voltará ao início quando não estiver animal nenhum na balança e a possível zeragem estiver realizada. Assim voltará ao estado de espera de um novo animal.

### **Cálculo do peso**

O fluxograma representado na figura 4.9a é referente ao algoritmo utilizado para o cálculo do peso. Este processo começa por ativar o módulo de conversão analógica-digital (ADC) do MPr, para converter o sinal proveniente do MPe em grandeza digital e assim



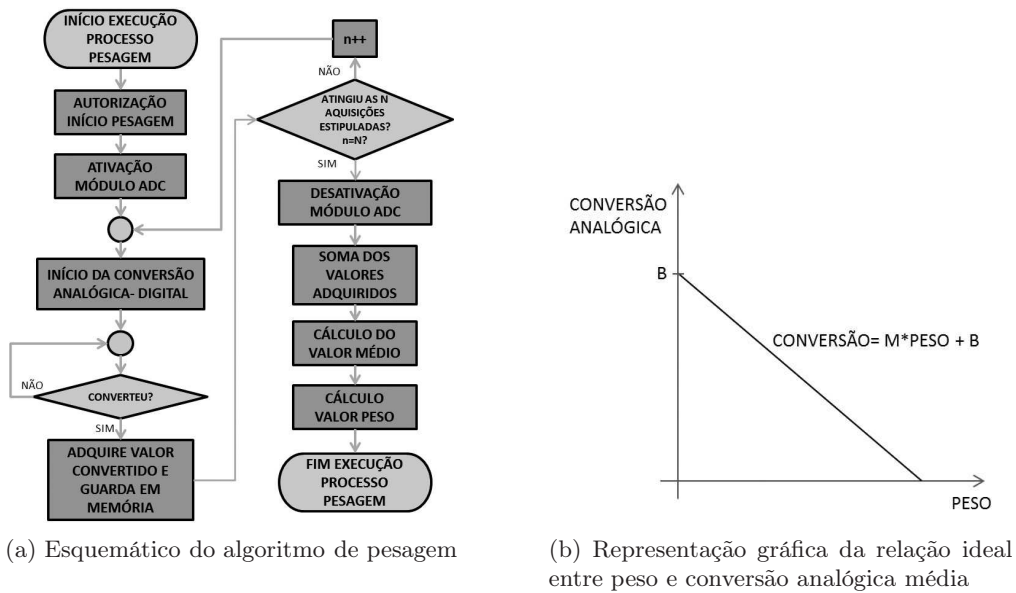


Figura 4.9: Processo de cálculo do peso

num número apropriado para realizar operações matemáticas dentro do MPr. Após isto é iniciado o seguinte processo em ciclo, repetido um número de vezes estipulado: inicia a conversão analógica-digital, espera até que a conversão ocorra na totalidade e faz a aquisição do valor convertido (ficando guardado em memória). Quando este processo terminar o módulo ADC é desativado, os valores adquiridos são todos somados, é calculado o valor médio e com este valor é calculado o valor de peso correspondente, terminando assim o processo de pesagem. O cálculo do valor de peso, a partir da média das várias conversões analógicas, é admitido como sendo uma proporcionalidade inversa entre os valores de peso e os valores médios de conversão analógica correspondentes. Para peso nulo, o valor analógico a entrar no MPr será máximo e descerá consoante o valor de peso aumentar. Desta forma não se corre o risco de exceder o valor máximo de tensão admitida numa entrada analógica do MPr. Estes pares de valores (peso, conversão analógica média) formam, através de uma regressão linear, uma equação de reta na forma:

$$CONVERSÃO MÉDIA = M * PESO + B \quad (4.1)$$

representada genericamente na figura 4.9b, sendo  $M$  o declive da reta e  $B$  a ordenada na origem. Por sua vez, para calcular o peso temos a seguinte equação:

$$PESO = \frac{CONVERSÃO MÉDIA - B}{M} \quad (4.2)$$

Para se chegar aos valores de  $M$  e  $B$  utiliza-se o Método dos Mínimos Quadrados [80], através das equações A.4, A.5 e A.6, descrito mais em pormenor no Apêndice A. Estes valores são calculados na interface gráfica no SCE a partir dos valores das conversões analógicas e dos respetivos pesos, no processo chamado cálculo dos parâmetros de calibração. Mais à frente, na secção 4.2.1, é explicado como o Método dos Mínimos Quadrados é aplicado ao algoritmo utilizado.

### Zeragem da balança e saída do animal da estrutura

A figura 4.10 pretende mostrar como após a abertura da porta da estrutura do SC é decidido o início de um novo ciclo AUTO e a zeragem da balança.

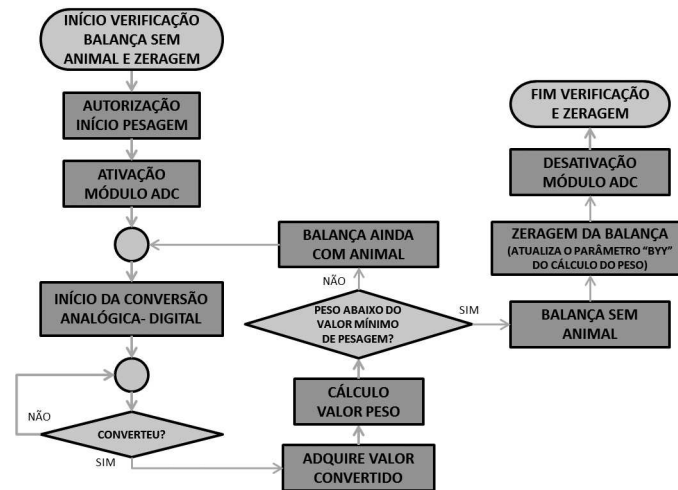


Figura 4.10: Esquemático do algoritmo de zeragem de balança

Após a abertura da porta, é necessário saber quando é que a balança estará livre para iniciar um novo ciclo de espera de outro animal. Enquanto o animal anterior ainda permanece dentro da balança, poderá acontecer o caso de outro animal aproximar-se da porta, sendo detetado pelo MDP e interferir com o animal que se encontra dentro. Posto isto, o método mais fácil de detetar a saída do animal da estrutura é baseado no peso medido pela balança. Abaixo do valor mínimo estipulado, falado anteriormente, quer dizer que não haverá animal nenhum no interior. Um valor superior quer dizer que o animal ainda se encontra na interior. Assim desta forma o módulo ADC do MPr é ativado, logo após a conversão analógica-digital inicia, adquire o valor convertido depois da conversão estar completa, calcula o peso correspondente, pelo método já descrito na figura 4.9a e decide se o animal ainda continua no interior ou não. Aqui somente adquire um valor, ao contrário do algoritmo de pesagem em que se faz uma média de diversos valores adquiridos, pois não interessa um valor rigoroso. Se o animal continuar no interior, repete o processo de pesagem até que o valor de peso calculado esteja abaixo do mínimo estipulado. Quando o animal já tiver ido embora e, se a última medição de peso não tiver dado um valor de zero (e sendo abaixo do valor mínimo) devido por exemplo a dejetos, o parâmetro de ordenada na origem ( $B$ ) é atualizado para o valor da última conversão analógica. Este é o parâmetro a atualizar pois é o valor de conversão analógica que corresponderá a peso nulo nas pesagens seguintes. Assim, representando graficamente a equação 4.1, a reta resultante desloca-se na vertical ao corrigir o valor da ordenada na origem, correspondente a peso nulo.

Quando a zeragem estiver completa, o módulo ADC é desativado e inicia a espera por um novo animal.

### Estado desativo, configurações e calibração balança

No modo DTV, quando o SC não está ativo nem está em nenhum modo de trabalho (MAN ou AUTO), a partir da interface do SCE podem ser feitas várias configurações ao MIE, abertura/fecho de portas e as calibrações da balança. Os comandos de configuração e o seu algoritmo de execução no MPr estão demonstrados no fluxograma da figura 4.11.

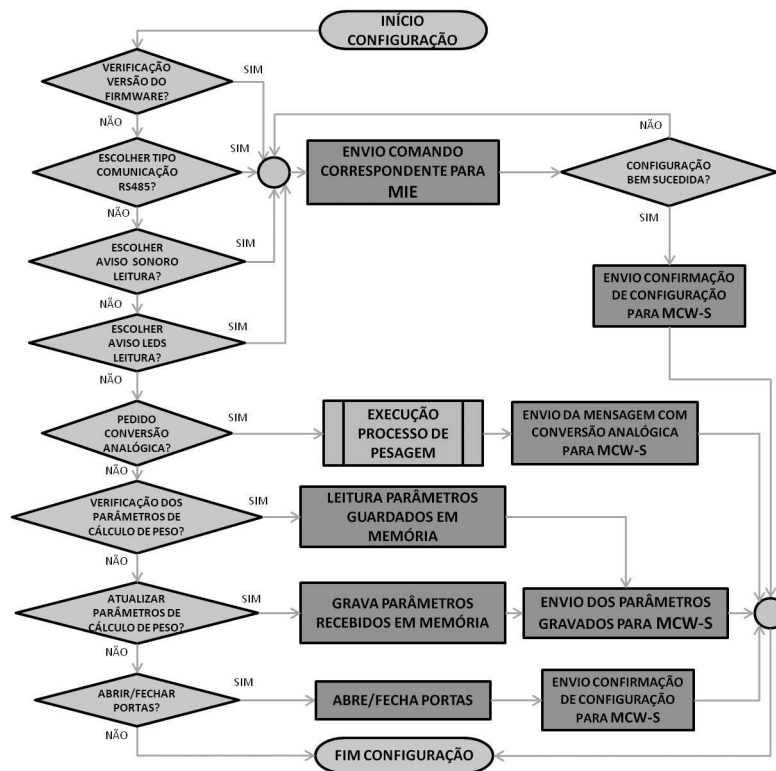


Figura 4.11: Esquemático do algoritmo de configuração em estado DTV

Os comandos que são para configuração do MIE são os apresentados na seguinte lista. Mais à frente se verá, no capítulo 5 (Implementação), que são comandos já existentes no equipamento usado para este módulo.

- **Verificação da versão do *firmware*** - Permite saber a versão da codificação usada no MIE;
- **Tipo de comunicação barramento** - Permite escolher o tipo comunicação com este módulo, se *Half Duplex*, se *Full Duplex*. Apesar de na implementação ser usado apenas *Full Duplex*, e os circuitos estarem construídos apenas nesta configuração, a opção de mudança de tipo existe;
- **Aviso sonoro** - Permite escolher se no momento de leitura da *tag* de um animal o produtor quer a emissão de um sinal sonoro, a partir de um besouro instalado;
- **Aviso luminoso** - Permite escolher a configuração da cor dos *leds* sinalizadores de leitura no momento de leitura. Na leitura pode acender o *led* verde e em modo de espera estar o vermelho, ou vice-versa.

Estes comandos, à sua recepção, são reenviados para o MIE. Se o MPr receber uma confirmação de configuração bem sucedida ou a versão do *firmware*, uma mensagem de

confirmação é enviada para o MCW-S para este reenviar para o SCE, apresentando a mensagem na interface. Enquanto a configuração não for bem sucedida, o MPr continua a reenviar o comando.

Já nos comandos que estão relacionados com a calibração da balança, podemos ter os seguintes:

- **Pedido de conversão analógica** - Quando este pedido é feito na interface, é com o intuito de recolher valores da conversão analógica-digital correspondentes a pesos conhecidos colocados na balança, para depois se realizar o cálculo da regressão linear. O MPr ao receber este pedido, executa a rotina de processo de pesagem (ver figura 4.9a), não fazendo neste caso o cálculo do peso. O valor da conversão média é enviado para o MCW-S para este o reenviar para o SCE;
- **Pedido de verificação dos parâmetros de cálculo de peso** - Este comando pretende que os valores  $M$  e  $B$  que são usados no cálculo do peso e que estão guardados em memória do MPr sejam lidos e enviados para o MCW-S e reenviados para o SCE;
- **Pedido de atualização de parâmetros de cálculo de peso** - Com este comando novos valores  $M$  e  $B$  são enviados para o MPr para este os guardar em memória, substituindo os valores antigos guardados. Da mesma forma que no comando anteriormente apresentado, os valores de  $M$  e  $B$  são reenviados para o SCE para confirmação.

#### Botão de troca de estados - “Módulo Processamento” (MPr)

No painel de sinalizações do MPr existe um botão para troca de estado do sistema, sendo o seu algoritmo apresentado na figura 4.12.

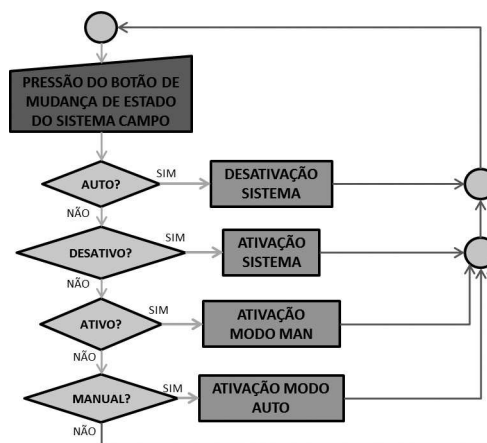


Figura 4.12: Esquemático do botão troca de estado

A cada vez que o botão é premido, o estado do sistema é alterado. Se estiver DTV passa a ATV, se estiver ATV passa a MAN, se estiver MAN passa a AUTO e por fim se estiver AUTO passa a DTV. Desta forma o produtor tem acesso ao controlo do modo de trabalho do SC junto do equipamento. As atividades de configuração e pedidos manuais são apenas executadas a partir da interface do SCE.

### 4.1.2 “Módulo Comunicação *Wireless (Slave)*” (MCW-S)

O MCW-S é o elemento que faz a interligação entre o MPr do SC e o SCE, realizando uma comunicação via *wireless* entre estes. Para que isto aconteça tem de receber as mensagens vindas do MPr, através da comunicação por barramento e reenviá-las para o SCE. Na figura 4.13a está representado o algoritmo de receção de mensagens vindas do MPr, pelo barramento.

O módulo estará sempre à espera de mensagens e quando recebe alguma mensagem verifica se o endereço do *slave* de destino é o correspondente a este módulo (MCW-S). Se a mensagem não for direcionada para este módulo então é descartada, ficando o módulo novamente à espera de novas mensagens. Se a mensagem for direcionada para este módulo, então vai ser guardada em memória para posteriormente, através do algoritmo presente na figura 4.13b, ser enviada via *wireless*. O algoritmo, após a mensagem ser guardada, autoriza o seu envio pela rotina de envio de mensagens via *wireless*.

Através desta rotina, se o envio de mensagens estiver autorizado, a mensagem guardada em memória é lida, é preparado o endereço do dispositivo da rede *wireless* para o qual se vai mandar a mensagem, é enviada a mensagem e logo de seguida é bloqueado o envio de mais mensagens. Assim cada mensagem só será reenviada via *wireless* apenas uma vez.

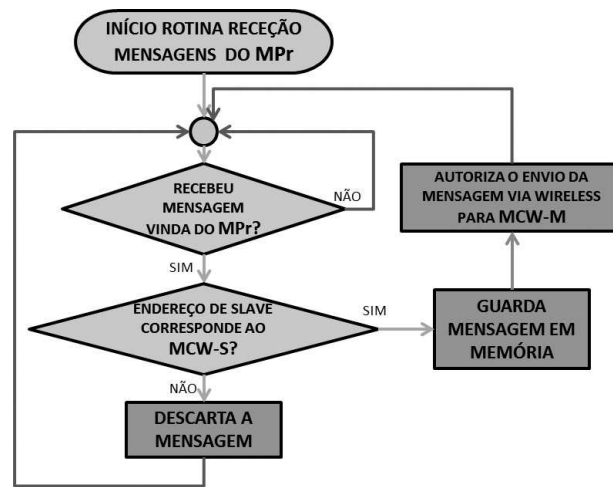
No sentido oposto, ou seja, do SCE para o SC, também são enviadas mensagens, que são rececionadas pelo MCW-S, através do algoritmo apresentado na figura 4.13c. O módulo estará sempre à escuta de possíveis mensagens que possam vir direcionadas a ele, via *wireless*. Ao receber uma mensagem que esteja direcionada a este módulo, aloca a mensagem em memória e seguidamente envia-a para o MPr, retornando ao modo de escuta de mensagens.

### 4.1.3 “Módulo Identificação Eletrónica” (MIE)

O MIE, como já foi falado anteriormente, é responsável pela identificação dos animais que entram na estrutura do SC. Este módulo comunica por comunicação série em barramento com o MPr. O diagrama representado na figura 4.14 pretende mostrar o algoritmo de processamento das mensagens recebidas pelo MIE.

O módulo está continuamente à espera por mensagens provenientes do MPr. Ao receber uma mensagem analisa-a para verificar se é ou não dirigida para este *slave* da comunicação por barramento. Se o endereço de destinatário de mensagem não for o correspondente ao MIE, então este vai descartar a mensagem recebida. Se as mensagens forem dirigidas para este *slave*, então é verificado se o comando recebido é reconhecido. Se não for reconhecido e também se o endereço de *slave* não for o correspondente a este módulo, então o algoritmo volta ao início, esperando por novas mensagens. Entretanto, se a mensagem for reconhecida, o módulo vai analisá-la para saber se é atribuída a um comando de configuração ou de execução. O conjunto de mensagens de configuração permitidas são as seguintes:

- **Verificação de *firmware*** - A este comando o módulo responde com a versão do *firmware*, que está guardado em memória;
- **Tipo de comunicação do barramento** - Este comando escolhe se o envio e receção de mensagens entre master e *slaves* pode ser feita ao mesmo tempo (*full duplex*) ou em instantes de tempo separados (*half duplex*);



(a) Rotina de recepção de mensagens vindas do MPr

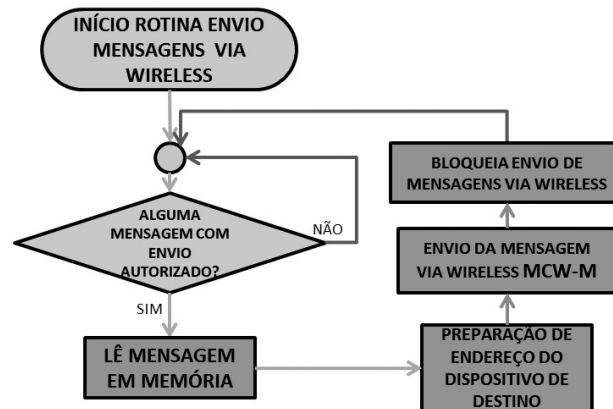
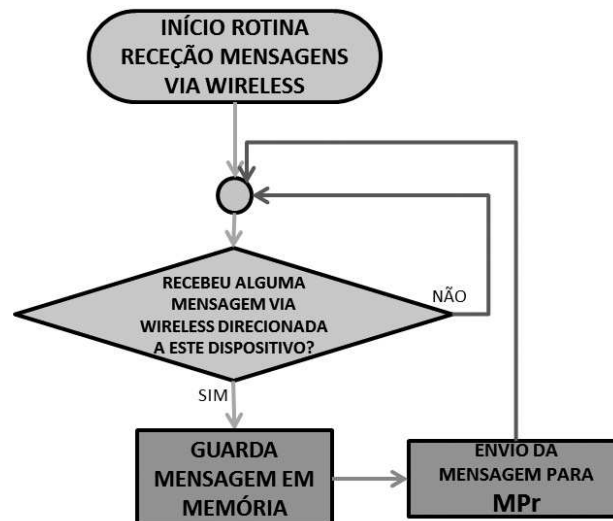
(b) Rotina de envio de mensagens via *wireless*(c) Rotina de recepção de mensagens via *wireless*

Figura 4.13: Esquemáticos dos algoritmos utilizados no MCW-S

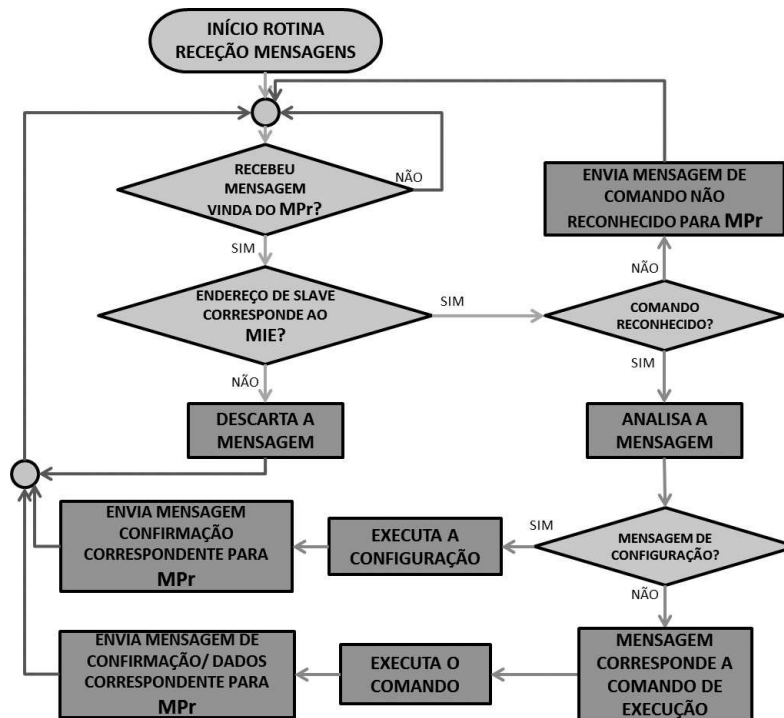


Figura 4.14: Esquemático do algoritmo de recepção de mensagens do MIE

- **Aviso sonoro** - Este comando permite escolher se no momento de leitura de *tag* é emitido ou não um sinal sonoro, através dum besouro instalado;
- **Aviso luminoso** - Este comando permite escolher a cor da sinalização dos *leds* instalados no módulo, nos momentos de leitura e espera.

Para os últimos três comandos, o módulo envia para o MPr uma mensagem de “configuração com sucesso”, caso tenha sido bem sucedida. Para o primeiro, é enviado o número da versão do *firmware*.

Quanto aos comandos de execução, estes podem ser os seguintes, com as respetivas respostas ao MPr:

- **Ativação leitura simples** - Este comando faz com que o MIE detete e leia as *tags* que entrem no seu campo de leitura, se forem executados comandos de leitura ou deteção de *tag*. Assim, o campo de leitura só é ativado no momento em que são executados estes comandos referidos, e após isso o campo é desligado novamente. Ao ativar a leitura simples é enviada para o MPr uma mensagem de “configuração com sucesso”;
- **Ativação leitura automática** - Aqui, ao contrário do comando anterior, o campo de leitura entrará no ciclo de ativações e pausas descrito na secção 3.4, esperando por *tags* que apareçam dentro do campo de leitura. Ao detetar uma *tag* esta enviará a sua informação, na formatação de leitura *standard*, para o módulo e depois este a reencaminhará para o MPr;
- **Desativação antena** - Este comando faz a desativação da antena, ou seja, desliga o campo de radiofrequência. Isto é realizado pelo corte físico no circuito que liga

aos terminais da antena, como se tratasse de um interruptor. A antena fica sem diferença de potencial aos seus terminais;

- **Ativação antena** - Com este comando faz-se o contrário, liga-se o campo de radiofrequência ao criar diferença de potencial aos terminais da antena;
- **Deteção de tag** - Com este comando pretende-se simplesmente saber se existe alguma *tag* dentro do campo de leitura. Ao existir, o MIE envia uma mensagem igual à de “configuração bem sucedida” para indicar que foi detetada uma *tag*. Se não for detetada, então enviará mensagem de “*tag* não presente”;
- **Leitura standard** - Este comando só é válido quando a leitura simples está ativa e permite obter a informação essencial do animal em questão, que é o código do país e ID nacional. É esta a informação enviada para o MPr;
- **Leitura integral** - Este comando também só é válido quando a leitura simples está ativa e permite obter toda a informação disponibilizada na *tag*, segundo a norma ISO 11784/5 estudada na secção 3.4. Esta informação é enviada ao MPr;

O módulo permite ler *tags* quer do tipo FDX como HDX, segundo a norma ISO 11785 estudada na secção 3.4. A forma como o MIE interage com as *tags* dos animais já foi descrita igualmente na secção 3.4.

#### 4.1.4 “Módulo Pesagem” (MPe)

O MPe é essencialmente o equipamento que faz a interligação das quatro células de carga constituintes da balança com o MPr. O princípio de funcionamento das células de carga assenta normalmente na extensometria, usando um arranjo de resistências chamado “ponte de *wheatstone*”, representado na figura 4.15 [81].

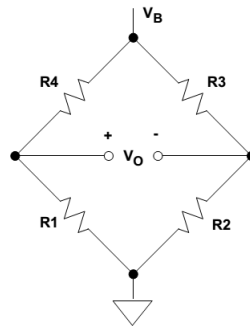


Figura 4.15: Esquema básico duma “ponte de *wheatstone*” [81]

A “ponte de *wheatstone*” consiste num arranjo de quatro resistências ligadas de forma quadrilateral, uma fonte de tensão ligada através de uma das diagonais e uma medição da tensão através da outra diagonal do quadrado geometricamente formado. Se uma das quatro resistências for variável, então a diferença de tensão medida também vai ser variável. A equação 4.3 traduz a relação entre a tensão de entrada e a de saída da “ponte de *wheatstone*”. A equação 4.4 traduz a relação de equilíbrio, quando a diferença de potencial à saída da ponte é nula ( $V_o = 0$ ).

$$V_o = \frac{R1}{R1 + R4} V_B - \frac{R2}{R2 + R3} V_B = \frac{\frac{R1}{R4} - \frac{R2}{R3}}{\left(1 + \frac{R1}{R4}\right)\left(1 + \frac{R2}{R3}\right)} V_B \quad (4.3)$$



$$\frac{R1}{R4} = \frac{R2}{R3} \quad (4.4)$$

Mas como as diferenças de potencial medidas à saída da “ponte de wheatstone” podem ser muito pequenas (podem ser na ordem dos microvolts, dependendo dos esforços induzidos nas células de carga), esse sinal diferencial deve ser amplificado de modo a tomar a grandeza correta para que o dispositivo que a vai analisar o possa fazer. Então foi decidido utilizar amplificadores operacionais (OpAmp’s) diferenciais que calculam a diferença entre as tensões de saída da ponte e amplificam-na, segundo um determinado ganho  $G$ , sob a equação 4.5.

$$V_{out} = G * V_{IN} \quad (4.5)$$

Como as células de carga são quatro, optou-se por fazer soma analógica dos sinais vindos das quatro células, juntando todos os sinais positivos, com uma resistência colocada em cada saída destas e também todos os sinais negativos, obtendo-se apenas 2 sinais para serem diferenciados e amplificados. A razão desta opção foi a poupança de material e a simplificação do circuito. Com a soma analógica, faz-se a junção das participações das quatro células na medição do peso do animal. A localização do animal em cima do estrado da balança teoricamente não influencia o resultado final se as células de carga apresentarem os mesmos comportamentos, principalmente a mesma precisão.

Desta forma utilizou-se apenas um amplificador para só ter um sinal correspondente ao peso inserido na balança, tendo assim unicamente uma entrada analógica a ser utilizada no MPr.

#### 4.1.5 “Módulo Controlo Portas” (MCP)

O MCP é responsável pelo fecho/abertura das portas da estrutura do SC, sendo este processo coordenado pelo MPr. O MPr ativa uma saída digital para a abertura e ativa outra saída digital para o fecho, sendo estas ativações alternadas uma com a outra. A forma como este mecanismo foi implementado está descrita no capítulo 5 (Implementação).

#### 4.1.6 “Módulo Detecção Passagem” (MDP)

Para a deteção da entrada dos animais na estrutura do SC foi necessária encontrar uma solução que satisfizesse os objetivos da solução proposta. Várias foram as opções pensadas para a deteção da entrada/saída dos animais para que o processo fosse automático, mas chegou-se à conclusão que o método mais confiável seria a colocação de sensores junto da porta da estrutura, consistindo no MDP.

Os primeiros sistemas pensados tinham em vista aproveitar as funcionalidades já implementadas no equipamento, mas isso traria consequências não desejáveis. A existência do MIE, além da função de identificar o animal, poderia ao mesmo tempo detetar a presença do animal. Mas os problemas viriam quando um animal estivesse do lado de fora da estrutura e, porventura, encostado ao local da antena do MIE e dentro do campo de leitura. Neste caso iria ser identificado e detetado, não estando dentro da estrutura para ser pesado, o que levaria a uma situação anormal. Outra situação que foi considerada foi o facto do peso medido na balança aumentar e diminuir consoante a entrada e saída dum

animal da estrutura, respetivamente. Isto seria um problema pois não se sabia quando o animal estaria totalmente dentro, por causa do fecho da porta.

Dados estes problemas foi então decidido optar por dois sensores que formam o MDP distanciados por poucos centímetros um do outro, colocados junto da porta da estrutura, para diferenciação da entrada e da saída pela ordem como são ativados à passagem de um animal. O MDP comunica as passagens dos animais através sinais transmitidos a entradas digitais do MPr.

Outro problema que foi detetado na solução com apenas a ação do MDP para a deteção dos animais foi que após um animal ter a porta aberta para sair, pode permanecer lá o tempo que quiser, dando chance a outros animais de tentar entrar também na estrutura. Desta forma o MDP detetaria a presença do animal intruso, comprometendo o normal funcionamento da equipamento. O animal intruso poderia ser “trilhado” pelo fecho repentino da porta e o animal anterior poderia ficar outra vez trancado. Então a maneira encontrada para resolver esta situação foi conjugar o funcionamento do MDP com o MPe (balança). Só é detetada a saída de um animal se, após a abertura da porta, o peso medido na balança estiver abaixo dum valor mínimo estipulado. Esta resolução já foi relatada na secção 4.1.1.

A implementação do MDP também ajudou no facto de o MIE só ativar o campo de leitura após ser detetado um animal a entrar na estrutura, resolvendo assim o problema da antena estar ativa a todo o tempo e detetar animais no exterior da estrutura.

#### 4.1.7 Estrutura do “Sistema Campo” (SC)

De modo a albergar todas as características apresentadas até agora para o SC, para satisfazer os objetivos propostos, é apresentado na figura 4.16 o desenho 3D proposto para o equipamento a instalar junto dos animais. Alguns desenhos técnicos de apoio à compreensão da estrutura estão no Apêndice D.



Figura 4.16: Desenho 3D da estrutura proposta

Nesta figura estão identificados alguns dos elementos mais importantes. O estrado (A) é o elemento onde os animais se apoiam, dentro da estrutura. As portas (B) são para

a proteção do animal que porventura esteja dentro, principalmente sob as operações de identificação e de pesagem. Em C estão as proteções laterais em madeira, que mantêm o animal isolado dos outros do exterior. Em D estão identificados os elementos estruturais principais do SC em metal, pois têm de suportar possíveis investidas dos animais e dar estabilidade e segurança ao equipamento. Em termos de sistema de automação, o MPr, o MIE e o MCW-S estarão instalados no quadro identificado em E.

A figura 4.17a pretende mostrar de outro ângulo o equipamento, realçando a montagem do MCP em A. Na figura 4.17b estão identificados o bebedouro (A), aonde os animais se dirigem para beber água e a antena do MIE (B), para que o campo de leitura consiga alcançar as *tags* transportadas pelos animais.

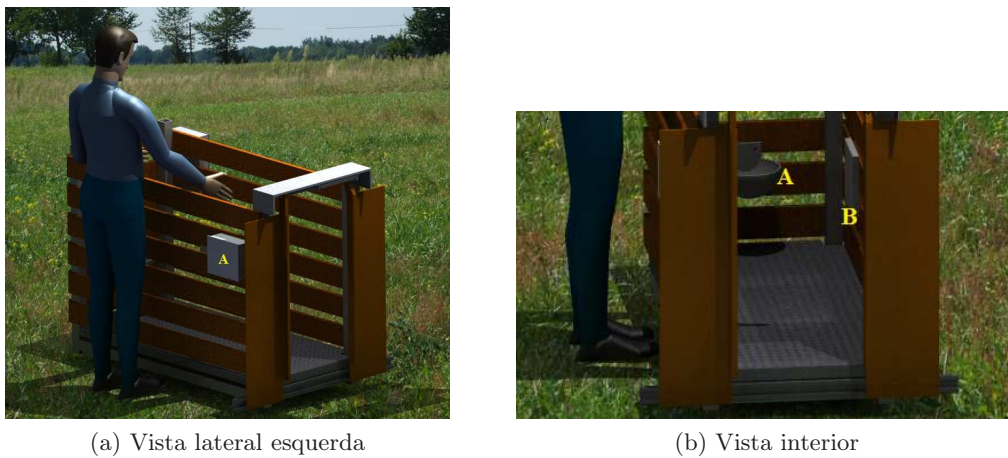


Figura 4.17: Outras vistas do equipamento

Na figura 4.18a é mostrado em pormenor o estrado metálico (A) com superfície rugosa e o carril (B) de guiamento das portas. As portas estão apoiadas neste carril, deslizando neste durante o seu movimento, através de rodas (C) instaladas nas portas (B), como se pode ver na figura 4.18b. O estrado tem superfície rugosa para permitir que o animal não escorregue.

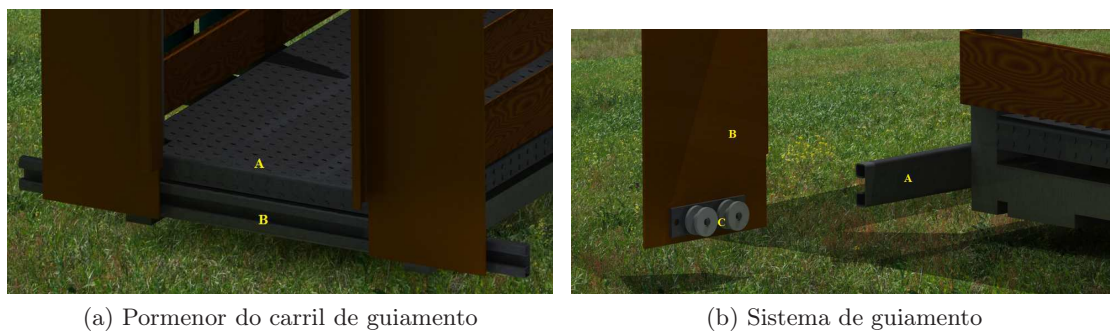
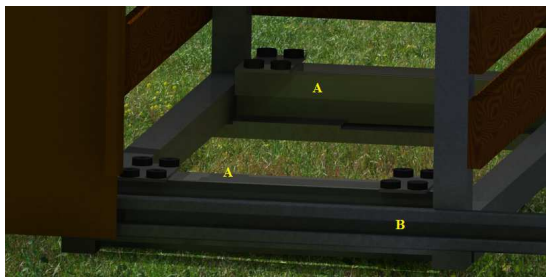


Figura 4.18: Sistema de portas do SC

Na figura 4.19a o equipamento é mostrado sem o estrado metálico, para se poder ver as barras de pesagem (A) nas quais o estrado se apoia. Em B está o carril de apoio das portas. Estas barras estão fixas à estrutura principal do equipamento. De seguida, na

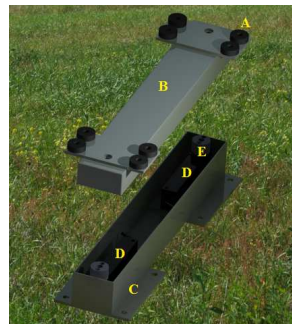
figura 4.19b, está representada a proposta para as barras de pesagem, que simplesmente são os elementos que albergam as células de carga, protegendo-as das agressões físicas e ambientais e também são os elementos que fazem a interface entre o estrado e as células de carga. Como se pode ver na figura 4.19c, uma barra de pesagem é constituída pelos seguintes elementos: apoios em borracha(A), tampa (B), base (C), células de carga (D) e apoio da tampa (E). Os apoios em borracha ajudam a estabilizar as oscilações provocadas pelo movimento dos animais e ajudam a compensar os desvios mecânicos que o estrado tenha em relação à barra de pesagem. Os apoios da tampa fazem a interface entre a tampa da barra de pesagem com as células de carga.



(a) Pormenor da localização das barras de pesagem, onde se apoia o estrado



(b) Barra de pesagem



(c) Elementos constituintes de uma barra de pesagem

Figura 4.19: Sistema de pesagem do SC

## 4.2 “Sistema Central Exploração” (SCE)

O SCE é constituído pelos elementos presentes na figura 4.20, ou seja por uma interface gráfica, uma base de dados e o MCW-M. A interface gráfica, através do MCW-M, comunica sem fios com o SC e está ligada a uma base de dados. Como já falado, permite fazer as consultas das pesagens dos animais registadas na base de dados, sinalizar animais para sequestro na estrutura, atuar sobre o modo de funcionamento do SC e fazer configurações e calibrações a este.



Figura 4.20: Esquemático da solução proposta para o SCE

#### 4.2.1 Interface gráfica

A imagem da figura 4.21 pretende mostrar as linhas orientadoras da interface gráfica proposta. Esta possui três áreas distintas:

- “**Logótipo e Identificação**”- Deve conter a identificação da solução proposta, um logótipo representativo e a sua função;
- “**Janela de estados**”- Área de deve indicar em que estado o sistema está no momento, e deve atualizar-se a qualquer mudança que haja;
- A área maior deve ser a área que permite comunicar com a base de dados e com o SC, através do MCW-M. Deve permitir fazer configurações ao MIE, calibração da balança e consultas dos registos de pesagem.

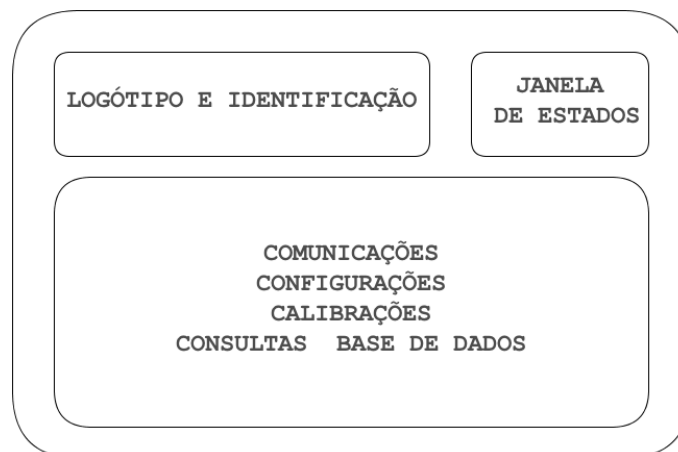


Figura 4.21: Ilustração da proposta de interface gráfica

Na figura 4.22 está representado o fluxograma principal do funcionamento do algoritmo da interface gráfica.

Ao iniciar o programa, é necessário escolher manualmente a porta de comunicação do programa com o MCW-M. Assim se poderá iniciar a comunicação com o SC através



Figura 4.22: Esquemático de funcionamento do algoritmo da interface gráfica

do MCW-M. Após a comunicação ser estabelecida com sucesso, são iniciadas as rotinas que estarão permanentemente a desempenhar a sua função:

- **Rotina de recepção de mensagem** - Recepção de mensagens recebidas por comunicação série vindas do MCW-M;
- **Rotina de análise de mensagens recebidas** - Analisa a mensagem recebida e procede consoante a natureza da mensagem;
- **Rotina de leitura de base de dados e atualização de campos** - Esta rotina atualiza os campos da interface que apresentam dados guardados na base de dados. Estes campos têm informação sincronizada com a base de dados;
- **Rotina atualização do estado do sistema** - A qualquer mudança de estado que haja, a janela de estados da interface é atualizada.

### Rotinas utilizadas

Cada uma das rotinas representadas na figura 4.22 corresponde a uma sucessão de operações em ciclo. Na figura 4.23 é representada a recepção de mensagem. O algoritmo espera por mensagens vindas pela porta de comunicação escolhida e, ao receber uma, lê-a e guarda-a em memória para análise, como mostrado na figura 4.24.



Figura 4.23: Esquemático do algoritmo da rotina de recepção de mensagem

Esta rotina está constantemente a verificar se existe alguma mensagem que tenha sido recebida e guardada em memória, e caso exista analisa-a para saber como a tratar. Os tipos de mensagem recebida são:

- **Pesagem e identificação** - Mensagem resultado do estado automático do SC, devido a identificação de um animal e sua pesagem. Os dados referentes a “País”, “ID” e “Peso” são guardados na base de dados, como novo registo, juntamente com data e hora;
- **Resultado configuração** - Mensagem recebida após o envio de uma configuração, sendo mostrada na interface;
- **Estado sistema** - Mensagem que trás a informação do estado de funcionamento do SC naquele momento, atualizando a janela de estados;
- **Resultado de pedidos em modo manual** - Os resultados dos comandos enviados são mostrados na interface;
- **Conversão analógica** - Ao receber esta mensagem, vai guardar o valor do peso correspondente, que foi introduzida pelo utilizador na interface, mais o valor da conversão analógica na base de dados;
- **Parâmetros de calibração** - Os parâmetros, sendo recebidos, são mostrados na interface.

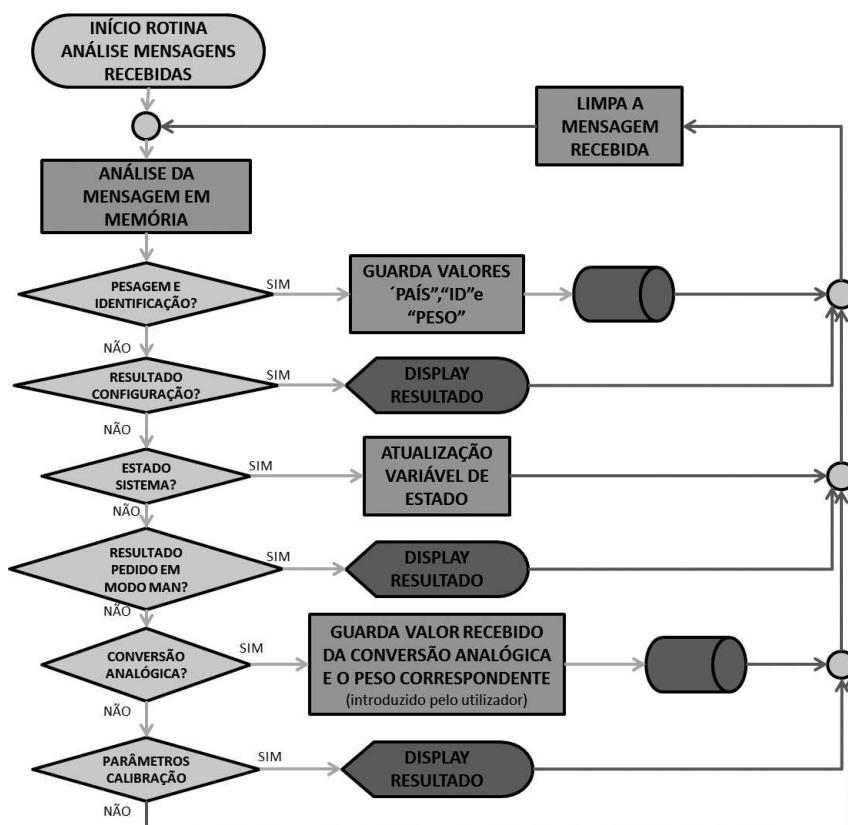


Figura 4.24: Esquemático do algoritmo da rotina de análise de mensagem recebida

Na figura 4.25 está o algoritmo de atualização de estado. Consoante o valor da variável de estado, que é atualizada na rotina de análise de mensagem recebida e também com as

mudanças executadas pelo utilizador na interface, um estado é assumido, são realizadas determinadas tarefas e a janela de estados é atualizada. Quando está em estado DTV, na interface há o bloqueio da ativação MAN/AUTO, permissão para calibração da balança, abertura/fecho de portas e para configuração do MIE. Quando está em modo ATV, permite ativar os modos MAN/AUTO. Em modo MAN, permite os seguintes comandos: leitura integral, leitura *standard*, verificação presença de *tag* e pesagem.

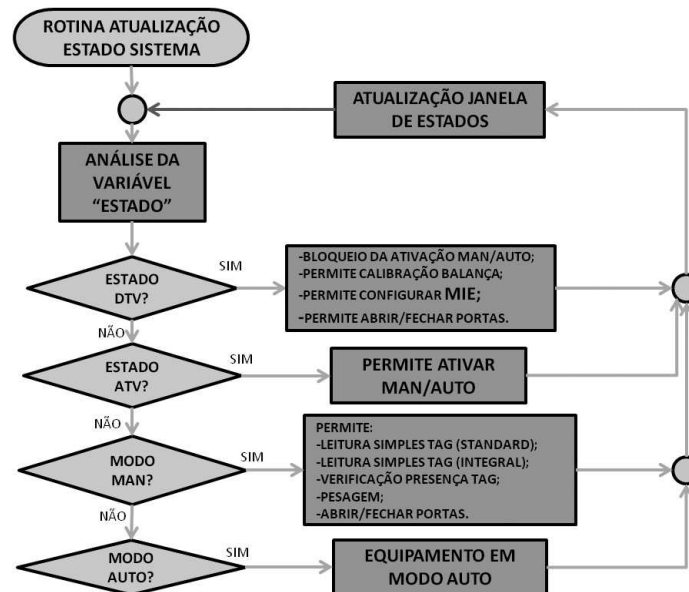


Figura 4.25: Esquemático do algoritmo da rotina de atualização do estado do sistema

A rotina de atualização de campos (figura 4.26) começa por aceder à base de dados (BD) para selecionar os animais sinalizados e que se encontram em estado “pendente”, ou seja, que ainda não foram encontrados na estrutura do SC desde a sua sinalização. A sinalização é descrita mais à frente nesta dissertação. Estes “pendentes” estão sempre mostrados na interface. De seguida, se tiver sido identificado um animal e consecutivamente a interface tenha recebido uma mensagem do tipo pesagem e identificação, vai procurar na base de dados o ID do animal que foi identificado. Se esse ID não se encontrar “pendente” ou nem sequer se encontrar na lista, então o animal pode ser libertado da estrutura. Por isso é enviada uma mensagem para o SC para abrir a porta. Se o ID do animal em causa estiver em estado “pendente”, o seu estado passa a “finalizado” e é enviada uma mensagem para manter a porta fechada, sequestrando o animal. Com isto é lançada uma janela de aviso na interface a indicar que se encontra um animal sequestrado no SC. Após estas operações a base de dados é novamente acedida para que os valores gravados, necessários à regressão linear, sejam mostrados na interface. A rotina continua em ciclo, repetindo periodicamente estas tarefas.

### Calibração da balança/Cálculo regressão linear

No processo de calibração da balança, é necessário uma relação matemática conhecida entre o peso colocado na balança e o valor da conversão analógica-digital do sinal correspondente. Para isso, como se pode ver na figura 4.27a, o utilizador da interface



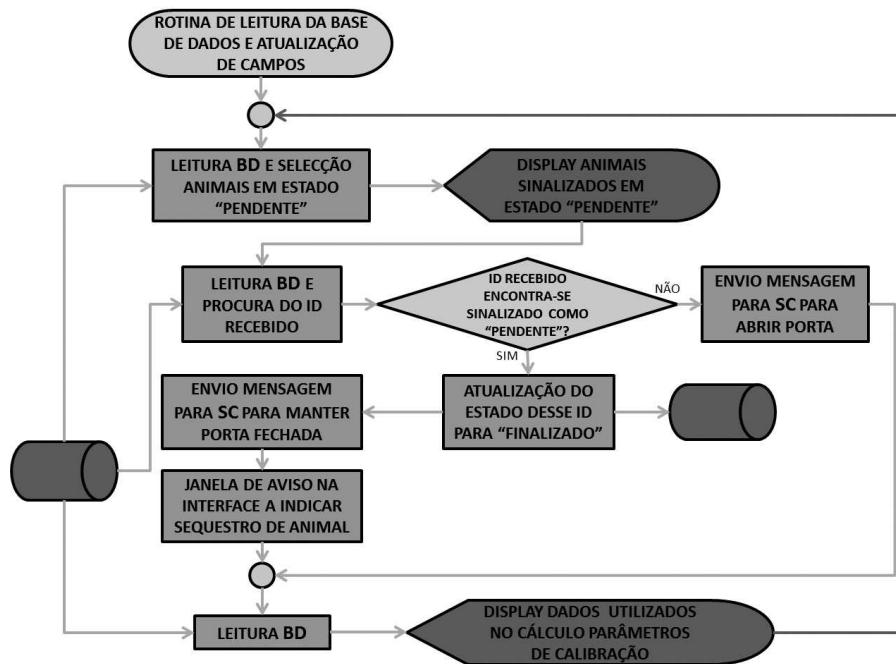


Figura 4.26: Esquemático do algoritmo da rotina de atualização da informação mostrada na interface

tem de colocar pesos conhecidos na balança, inserir esse valor na interface e solicitar a conversão. Se o valor inserido for correto (apenas conter algarismos), este pedido é enviado para o SC.

Após fazer este processo várias vezes, para vários pesos e várias vezes com o mesmo peso (ver exemplo no Apêndice A.1), o utilizador pode pedir o cálculo da regressão linear (a interface calcula segundo o algoritmo da figura 4.28), como está representado na figura 4.27b.

No cálculo da regressão linear, primeiro são inicializadas as variáveis necessárias, que são  $n$  (numero de conversões realizadas),  $\text{sumXY}$  ( $\sum(x_i * y_i)$ ),  $\text{sumX}$  ( $\sum(x_i)$ ),  $\text{sumY}$  ( $\sum(y_i)$ ) e  $\text{sumXX}$  ( $\sum(x_i * x_i)$ ). Os valores  $X$  e  $Y$  são correspondentes a PESO e CONVERSÃO ANALÓGICA, respetivamente. Estes são lidos linha a linha da tabela e, em cálculo iterativo até chegar ao fim da tabela, são calculadas as variáveis apresentadas. Quando se terminar este cálculo os valores de  $M$  e  $B$  são calculados, mostrados na interface e o botão de envio destes parâmetros é desbloqueado. O utilizador poderá também verificar quais os valores correspondentes a estes parâmetros que estão gravados em memória no MPr do SC, como mostrado na figura 4.29.

### Sinalização de animais para sequestro

O utilizador, como já foi referido anteriormente, pode registar através da interface gráfica animais que o próprio quer que sejam sequestrados no SC (ver figura 4.30), quando estes acedem voluntariamente ao equipamento. Assim ficarão fechados até que alguém lhes abra a porta, através de um botão existente no MPr para o efeito. O sequestro de um animal acontece com o intuito de se realizar alguma operação sobre esse animal quando

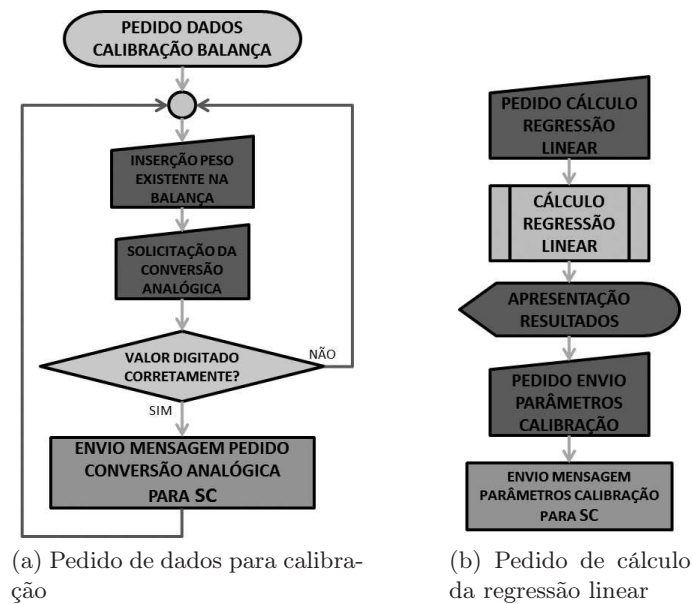


Figura 4.27: Esquemáticos dos algoritmos envolvidos no pedido de calibração da balança

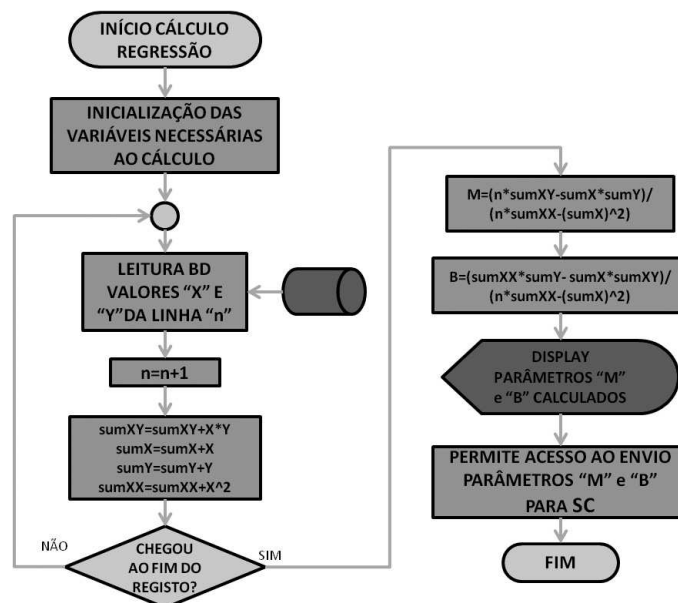


Figura 4.28: Esquemático do algoritmo de cálculo da regressão linear



Figura 4.29: Esquemático do algoritmo de pedido de verificação de parâmetros

este está preso, ou simplesmente para se encontrar um animal no meio do rebanho, sem ter o trabalho de o procurar manualmente.

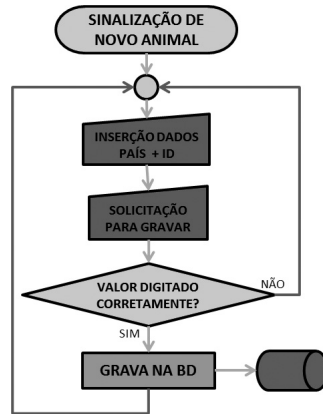


Figura 4.30: Esquemático do algoritmo de sinalização de animais para sequestro

#### 4.2.2 Base de dados

Uma base de dados, na forma simplista, é um repositório de dados. Estes dados podem estar organizados num conjunto de tabelas, sendo que estas podem estar relacionadas ou não entre si. Na presente dissertação, e segundo as necessidades relatadas em relação ao armazenamento e organização dos vários dados, decidiu-se criar três tabelas. A **Tabela Principal** armazena os dados correspondentes à identificação dos animais que entram no SC (número do país de origem e ID nacional), data e hora da identificação e o peso do animal correspondente a esse momento (tabela 4.1a). A **Tabela Regressão** é responsável pelo armazenamento dos dados de peso e conversão analógica utilizados no cálculo dos parâmetros de calibração da balança através da regressão linear (tabela 4.1b). A **Tabela Sinalização** armazena os dados referentes às sinalizações de animais para sequestro (país de origem e ID nacional do animal, data e hora da sinalização, data e hora do sequestro, se já tiver sido sequestrado) e estado da sinalização (sequestro pendente ou finalizado) (tabela 4.1c).

Tabela 4.1: Representação das tabelas que formam a base de dados

(a) Tabela Principal						(b) Tabela Regressão		
Nº ordem	País	ID	Data	Hora	Peso	Nº ordem	X	Y
...	...	...	...	...	...	...	...	...

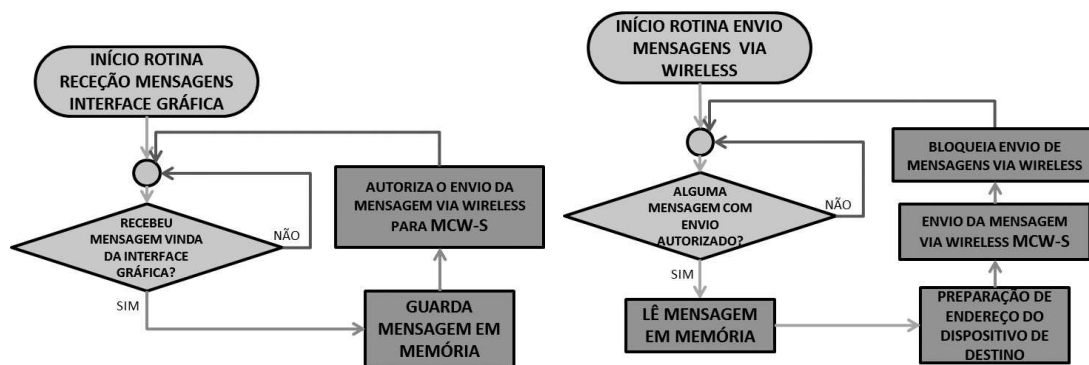
(c) Tabela Sinalização								
Nº ordem	País	ID	Data sinalização	Hora sinalização	Data ocorrência	Hora ocorrência	Estado	
...	...	...	...	...	...	...	...	...

### 4.2.3 “Módulo Comunicação *Wireless* (Master)” (MCW-M)

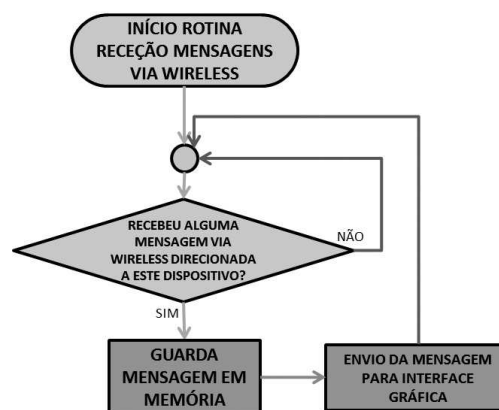
O MCW-M é o elemento que faz a ponte entre a interface gráfica e o SC, retransmitindo as mensagens recebidas por comunicação série para comunicação *wireless*. A figura 4.31a traduz o algoritmo usado para receber as mensagens recebidas da interface. O módulo estará sempre à espera de mensagens e quando recebe alguma guarda-a em memória. De seguida autoriza o seu envio via *wireless* para o MCW-S.

A rotina de envio de mensagens via *wireless* (figura 4.31b) espera que haja alguma mensagem em memória com envio autorizado. Se houver envio autorizado, lê a mensagem existente na memória, prepara o endereço do dispositivo de envio, envia a mensagem para esse dispositivo via *wireless* e torna a bloquear o envio de mensagens, voltando ao estado de espera de nova mensagem em memória e consecutivamente nova autorização de envio.

Quanto à receção de mensagens via *wireless*, o algoritmo respetivo está ilustrado na figura 4.31c. O módulo estará sempre à escuta de mensagens direcionadas a este via *wireless* e quando recebe alguma guarda-a em memória, para que esta seja enviada logo de seguida para a interface gráfica. Após o envio de uma mensagem, o algoritmo volta ao estado de espera de novas mensagens.



(a) Rotina de receção mensagens da interface gráfica

(b) Rotina envio mensagens via *wireless*

(c) Rotina receção mensagens via wireless

Figura 4.31: Esquemáticos dos algoritmos utilizados no MCW-M

## Capítulo 5

# Implementação

*No presente capítulo é apresentada a implementação do sistema proposto no capítulo anterior. Para cada parte constituinte do protótipo, são expostas as soluções comerciais utilizadas, suas características, funcionalidades e a razão pela sua escolha.*

### 5.1 “Sistema Campo” (SC)

A montagem do protótipo proposto para o SC está representado na figura 5.1, o qual não foi construído nem à escala nem com os materiais indicados para a estrutura, no capítulo 4 (Solução proposta). O protótipo construído pretende simplesmente mostrar uma solução funcional, de que maneira os vários constituintes estão localizados e também dar uma visão mais realista às ideias propostas nesta dissertação. Nas figuras 5.2a, 5.2b e 5.2c estão sinalizados os principais elementos constituintes.

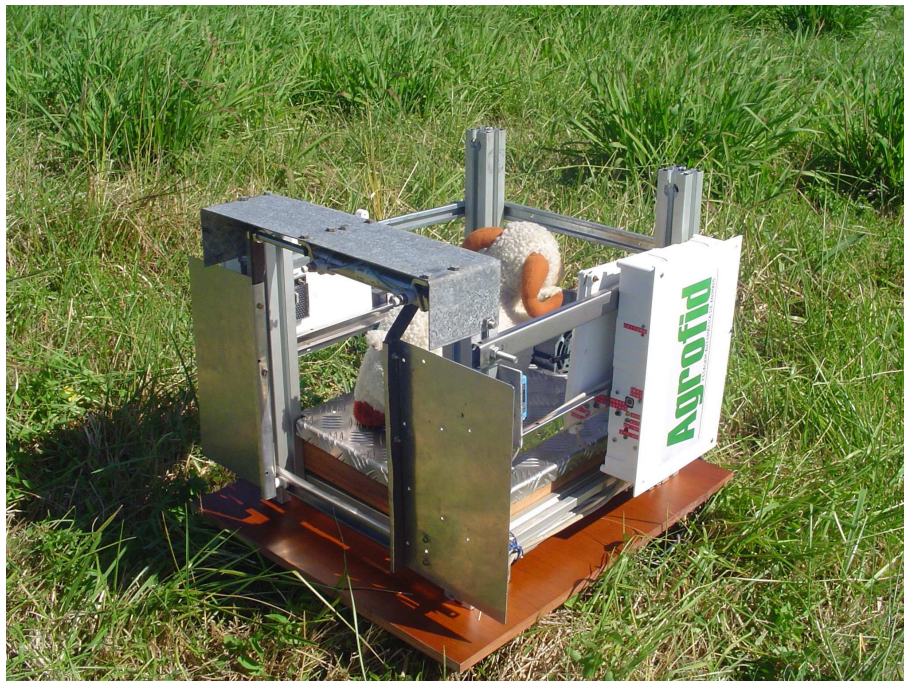


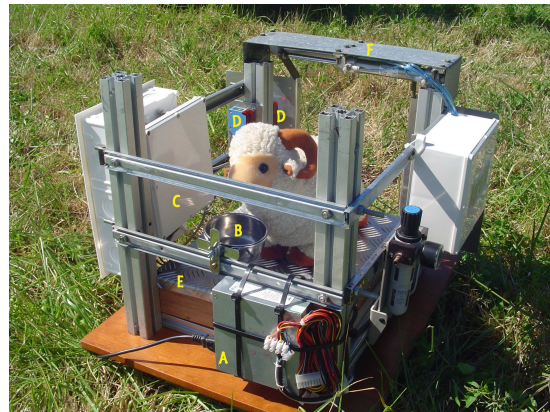
Figura 5.1: Apresentação do protótipo para o SC

### 5.1.1 Apresentação dos elementos constituintes

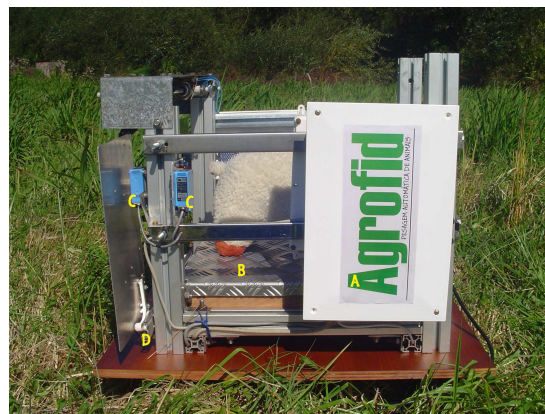
Na figura 5.2a estão identificados o MCP (A), as portas (B), o carril de guiamento das portas (C) e a unidade de regulação de pressão de ar (D) para o funcionamento das portas, como descrito mais à frente. Na figura 5.2b estão identificados a fonte de alimentação do sistema (A), o bebedouro de água (B), a antena do MIE (C), os sensores que formam o MDP (D), o estrado (E) e o sistema de cilindros pneumáticos (F) para acionamento das portas, referido mais à frente nesta dissertação. Por sua vez, na figura 5.2c estão identificados o quadro principal do sistema de automação (A), o estrado (B), os sensores do MDP (C) e o sistema de guiamento das portas (D).



(a) Vista lateral esquerda



(b) Vista frontal



(c) Vista lateral direita

Figura 5.2: Apresentação elementos constituintes do SC

### 5.1.2 Escolha das unidades de controlo

De modo a implementar o sistema apresentado no capítulo 4 (Solução proposta), foi necessário considerar várias hipóteses para a coordenação dos vários módulos constituintes do SC, que recordando são o MPr, o MCW-S, o MIE, o MCP, o MPe e o MDP. O MPr, como proposto, é a unidade coordenadora de todo o funcionamento do SC e para a sua implementação física foram consideradas as seguintes hipóteses:

- Utilização de um computador pessoal (PC);
- Aplicação de um equipamento industrial (autómato);
- Uso de uC.

### **MPr baseado num autómato**

O uso de um equipamento industrial como um autómato representa uma boa solução para a implementação de um equipamento de uso agropecuário, pela sua robustez, fiabilidade e resistência a agressões externas como poeiras, vibrações e humidade. A manutenção e programação são mais facilitadas em comparação com os uC's, pela certificação industrial, normas e padrões industriais bem delineados. Mas algumas desvantagens existentes fazem com que este não seja o melhor sistema a ser implementado, como o custo elevado devido à sua robustez e certificação industrial, o tamanho do equipamento (os autómatos, geralmente, apresentam maiores dimensões que os uC) e o consumo de energia elétrica, que comparado com o dos uC's têm um consumo consideravelmente mais alto.

### **MPr baseado num PC**

A utilização de um computador pessoal é a solução menos atrativa. Apesar de ser um sistema com elevado processamento de dados e capacidade de memória, apresenta pouca flexibilidade e pouca robustez à utilização no campo. A integração entre os vários módulos tornava-se mais difícil e dispendiosa, pois seria preciso hardware adicional para a ligação de entradas/saídas digitais e entradas analógicas, tendo assim mais custos associados. O próprio tamanho e o elevado consumo elétrico são pontos negativos a acrescentar. Assim o uso de computador pessoal como MPr é posto de parte.

### **MPr baseado num uC**

Das hipóteses abordadas, a que mais se destaca é a do uso de uC's, pois apresenta um conjunto de vantagens aliciantes ao seu uso. As vantagens que se destacam são o baixo custo (a rondar geralmente os 5 a 10 €), baixo consumo de energia elétrica, reduzido espaço ocupado (vão de poucos centímetros até apenas alguns milímetros), elevada flexibilidade (apresentam um bom suporte para a ligação do meio físico ao digital, garantindo uma elevada flexibilidade de operações e funcionalidades, razão pela qual os sistemas baseados em uC's abrangem várias áreas de desenvolvimento e aplicações), o facto de permitir a ligação a vários tipos de periféricos (analógicos e digitais) e a ligação através de vários tipos de comunicação de dados com outros equipamentos. Aqui destacam-se as comunicações *Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter* (USART) (RS232), SPI, I2C, CAN, LIN, USB, Ethernet, entre outras.

O uC é um dispositivo muito complexo e completo devido ao tipo de arquitetura utilizada [82]. Um uC da gama PIC18 é constituído essencialmente por um CPU (processamento de instruções e sistema operativo), memória do programa do tipo *flash* (não volátil) que contém o programa implementado pelo projetista, memória de dados do tipo RAM (volátil) onde estão alocados os registos do uC nomeadamente os *Special Function Register* (SFR) e os *General Purpose Register* (GPR), memória externa do tipo *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory* (EEPROM) para alocação de dados não voláteis e módulo de periféricos que permite a integração digital com o meio físico.

Posto isto, também é de salientar que a implementação de uC também trás desvantagens significativas, como um maior tempo gasto na programação, a necessidade de conhecer as capacidades destes sistemas e como aplicá-las, necessidade de boas práticas de programação, bem como a necessidade de criação de esquemas elétricos e construção de todo um circuito necessário ao funcionamento do uC.

Apesar das dificuldades apresentadas, as vantagens já referidas superam os obstáculos que a implementação de uC trás. Sendo assim foi escolhido para unidade de coordenação de todo o SC um uC. Uma outra razão para esta escolha prende-se com o facto dos equipamentos usados no MCW-S e no MIE serem baseados em uC's, como se verá agora de seguida.

Na figura 5.3a está representado o quadro principal do sistema de automação, que alberga o MIE (A), o MCW-S (B), o MPr (C) e o painel de sinalizações (D), que faz parte do MPr. Na figura 5.3b está ilustrado o aspeto do painel de sinalizações localizado na lateral do quadro principal. Este painel engloba a sinalização do estado em que encontra o equipamento, um botão de pressão para mudança de estado e outro botão de pressão para abertura de porta quando o animal se encontra sequestrado. Os estados que o equipamento pode assumir são o manual (MAN), o automático (AUTO), o ligado/desligado (ON/OFF) e o ativo/desativo (DTV/ATV). Junto da etiqueta que diz LEITURA estão os *leds* que indicam a leitura de *tag* ou modo de espera, conforme a situação. Estes dois *leds* fazem parte do MIE.

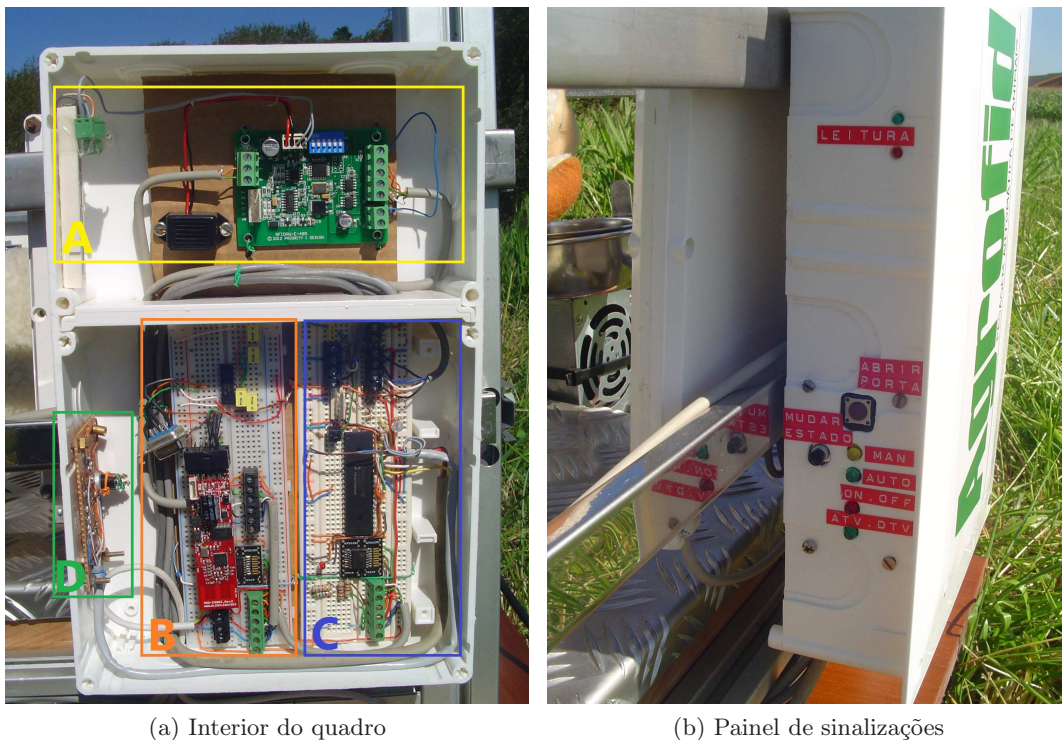


Figura 5.3: Quadro principal do sistema de automação do SC



### 5.1.3 “Módulo Processamento” (MPr)

A figura 5.4 pretende identificar os elementos constituintes do MPr e do MCW-S, identificados de seguida. O esquema elétrico correspondente ao MPr está ilustrado na figura B.2 do Apêndice B.

- A - Microcontrolador PIC18F4520 da *Microchip Technology Inc.* [83];
- B - Conversor RS232-RS485 ADM2484 da *Analog Devices* [84];
- C - Conector da comunicação barramento RS485;
- D e E - Conector das fotocélulas do MDP;
- F - Conector do MPE;
- G - Antena de transmissão de dados *wireless ZigBee*;
- H - Conversor ADM2484;
- I e J - Conectores ao barramento de comunicação RS485 do MCW-S e MIE;
- K - Alimentação do quadro principal, vinda da fonte de tensão do sistema;
- L - Conversor MAX232
- M - Ficha DB9;
- N - Ligação ao MCP;
- O - Ligação ao painel de sinalizações;

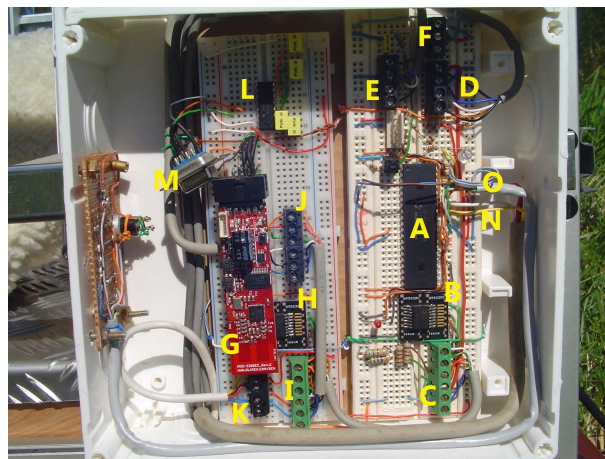


Figura 5.4: Identificação dos constituintes do MCW-S e MPr

A escolha do uC incidiu na empresa *Microchip Technology Inc.*, mais concretamente no PIC18F4520, que se apresenta interessante para a implementação em causa. Algumas das características deste uC são as seguintes: frequência de operação até 40 MHz, 32768 bytes memória de programa, 1536 bytes memória de dados, 256 bytes memória EEPROM, 13 entradas analógicas e 36 entradas/saídas digitais. Para o funcionamento do uC este teve de ser instalado numa placa para a ligação dos diferentes componentes.

Para a comunicação barramento, utilizada na comunicação entre os três módulos identificados na figura 5.3a, foi escolhido o protocolo industrial RS485, por permitir a comunicação série entre vários dispositivos, na forma de barramento (na figura identificado em C, I e J). Como o uC não implementa diretamente o protocolo RS485, então foi necessário a conversão dos níveis de tensão da comunicação RS485 para RS232 e vice-versa, consoante seja receção ou envio de mensagens, respetivamente. Para isso usou-se

o conversor ADM2484, configurável como *half duplex* ou *full duplex*, tendo sido escolhido o *full duplex* para que o envio e receção de mensagens pelo MPr sejam independentes e se possam fazer ao mesmo tempo. Este conversor implementa um sistema de controlo de acesso ao meio, ou seja, através de dois pinos, controla quando o uC recebe e envia mensagens. Nesta aplicação configurou-se o conversor para ter a receção sempre ativa, sendo o envio permitido quando o pino correspondente está ativo. Assim a linha de transmissão só estará ativa apenas quando o uC enviar dados, bloqueando outra vez assim que acaba o envio. Na figura 5.5a pode-se ver a configuração dos pinos do conversor, na figura 5.5b está representado a configuração *full duplex* do barramento com os conversores ADM2484 e na tabela 5.1 estão descritos todos os pinos do conversor. No barramento foram instaladas resistências de terminação ( $RT1$  e  $RT2$ ) (duas de  $120\Omega$  tipicamente) e resistências de pull-up ( $RP$ ) e pull-down ( $RD$ ) ( $560\Omega$  cada), calculadas segundo as equações 3.1 e 3.2, presentes na secção 3.6.

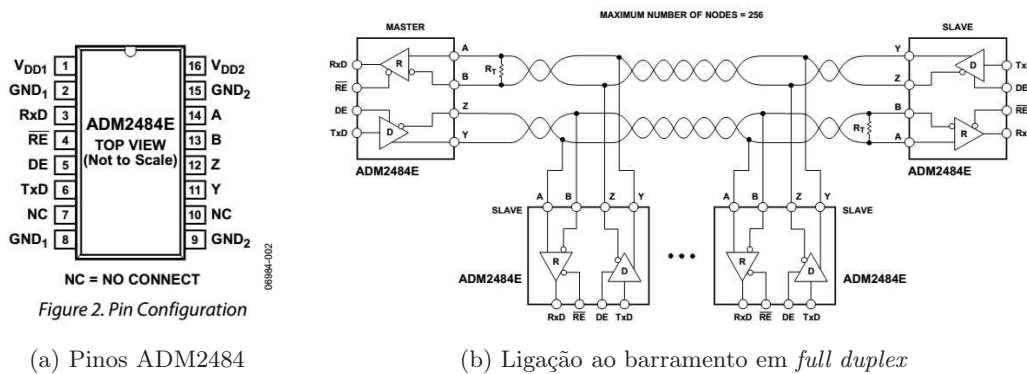


Figura 5.5: Configuração dos pinos e da ligação do ADM2484 [84]

Tabela 5.1: Descrição dos vários pinos do conversor ADM2484 [84]

Pino Nº	Nome	Descrição
1	$V_{dd1}$	Alimentação (lado RS232)
2	$GND_1$	Ligação à terra (lado RS232)
3	RxD	Saída de dados RS232 (recebidos pelo barramento e convertidos em RS232)
4	RE	Pino de controlo de receção de dados do barramento. Quando este pino está a nível lógico "0", então a receção é permitida
5	DE	Pino de controlo de envio de dados para o barramento. Quando este pino está a nível lógico "1", então o envio é permitido
6	TxD	Receção de dados RS232 para envio para o barramento
7	NC	Não conectado
8	$GND_1$	Ligação à terra (lado RS232)
9	$GND_2$	Ligação à terra (lado barramento)
10	NC	Não conectado
11	Y	Transmissor não invertido
12	Z	Transmissor invertido
13	B	Recetor invertido
14	A	Recetor não invertido
15	$GND_2$	Ligação à terra (lado barramento)
16	$V_{dd2}$	Alimentação (lado barramento)

Por fim, estão identificadas as ligações: ao MDP (D e E) através de 4 fios, ligação ao MPE (F) através de 3 fios, ligação ao MCP com 4 fios (N) e ligação ao painel de

sinalizações (O) através de 8 fios. Estas ligações estão detalhadas na tabela 5.2, juntamente com os condutores do barramento RS485 e cabo de alimentação que vem da fonte de alimentação. O barramento RS485, além de possuir os 4 condutores necessários à comunicação *full duplex*, também possui a distribuição das linhas de *ground* e de 12V, sobretudo para alimentação do MIE.

Tabela 5.2: Descrição dos conectores existentes no “Módulo Processamento”

Conector	Nº fios	Fios	Descrição
Ligação “Módulo Detecção Passagem”	4	Castanho	Alimentação 12V
		Azul	<i>Ground</i>
		Branco	Não utilizado
		Preto	<i>Output</i> - muda para nível lógico alto aquando da deteção de animais
Ligação “Módulo Pesagem”	3	Azul	<i>Ground</i>
		Cinzento	Alimentação 5V
		Branco	Sinal amplificado proporcional ao peso medido
Ligação “Módulo Controlo Portas”	4	Preto	<i>Ground</i>
		Vermelho	Alimentação 5V
		Branco	Fechar porta
		Amarelo	Abrir porta
Ligação painel de sinalizações	8	Castanho	Alimentação botões “mudar estado” e “abrir porta”
		Azul	<i>Ground</i> dos leds sinalização estado
		Castanho-branco	Entrada digital do acionamento do botão “abrir porta”
		Azul-branco	Entrada digital do acionamento do botão “mudar estado”
		Verde	Sinalização ON/OFF
		Verde-branco	Sinalização ATV/DTV
		Laranja	Sinalização MAN
		Laranja-branco	Sinalização AUTO
Ligação barramento RS485 (master)	6	Branco	A- Receção não-invertida
		Verde	B - Receção invertida
		Vermelho	Z - Transmissão invertida
		Laranja	Y - Transmissão não-invertida
		Preto	Alimentação 12V
		Azul	<i>Ground</i>
Cabo de alimentação	4	Amarelo	3.3V
		Vermelho	5V
		Preto	12V
		Azul	<i>Ground</i> (0V)

#### 5.1.4 “Módulo Comunicação *Wireless* (Slave)” (MCW-S)

O MCW-S já identificado na figura 5.4, encontra-se acoplado ao MP<sub>r</sub>, sendo nessa figura identificados os seus elementos. Em H está o conversor ADM2484 [84] para converter as comunicações RS232 do MCW-S para RS485 da comunicação barramento. Em L é o MAX232 [85], conversor de níveis de tensão TTL para as tensões do protocolo RS232 [75] e vice-versa. Os elementos L e M são opcionais, para se for caso disso permitir a comunicação com o SCE por cabo e não por *wireless*. O esquema elétrico respeitante a este módulo está na figura B.4 do Apêndice B.

O protocolo de comunicação *wireless* escolhido foi o *ZigBee* [68], pelas razões de ser

mais económico em termos de consumo de energia, menos dispendioso na sua implementação, menos dificuldade na programação e tamanho menor dos programas. A aplicação em causa tem baixa taxa de transmissão de dados mas com transmissões a ocorrer a qualquer momento, necessitando de um equipamento que esteja continuamente à espera de uma ação que se desenrole, com o menor consumo de energia possível. Em pesquisa nas soluções comerciais existentes à venda, encontrou-se uma solução interessante, entre outras, do fabricante *OlimeX*, implementando soluções da empresa *Microchip Technology Inc.*, como o microcontrolador PIC18F26K20, e o *transceiver* que implementa o protocolo *ZigBee* juntamente com a norma IEEE 802.15.4, chamado MRF24J40. Esta solução comercial chama-se de MOD-ZIGBEE-UEXT (figura 5.6) [86], que além de permitir a comunicação rádio, também alberga um sensor para medição remota de temperatura e possui um conector fêmea *Universal Extension Connector* (UEXT) [87] para versatilidade da comunicação com outros dispositivos. O esquema elétrico correspondente ao MOD-ZIGBEE-UEXT está ilustrado na figura B.9, Apêndice B.

A placa MOD-ZIGBEE-UEXT apresenta resumidamente as seguintes características:

- Processador PIC18F26K20;
- *Transceiver* radiofrequência MRF24J40 IEEE 802.15.4 2.4GHz;
- Conector ICSP para programação;
- Conector UEXT para interface RS232, SPI ou I2C;
- Antena impressa na própria placa;
- Sensor de temperatura TCN75A;
- Opção para alimentação por pilha ou por fonte externa;
- Botão de escolha de tipo de alimentação;
- Circuito de *reset* e botão para *reset*;
- 2 botões para uso;
- 2 leds de indicação de estado;
- Pilha de 3V lítio.

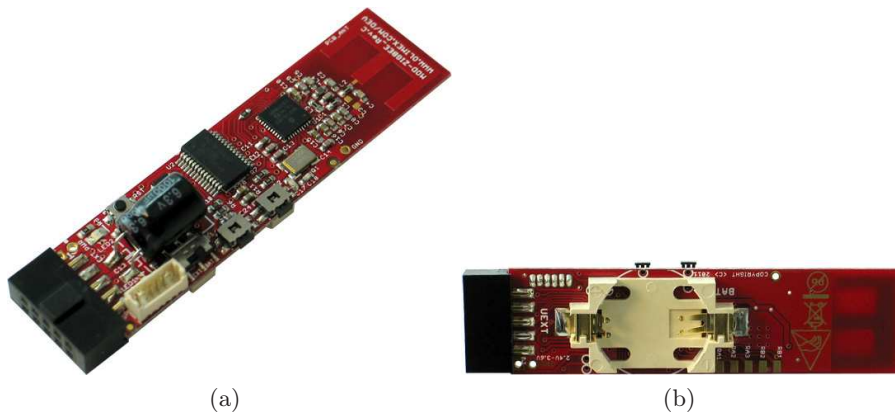


Figura 5.6: Placa MOD-ZIGBEE-UEXT da OLIMEX [86]

Sobre o processador usado, PIC18F26K20 [88], as principais características são:

- Arquitetura otimizada para compilador linguagem C;
- 1024 bytes de dados EEPROM;
- 64 kbytes memória de programa;

- 3936 bytes de memória de dados;
- Instruções de 16 bits;
- Seleção de frequência de oscilação por frequência na gama de 31 kHz até 16 MHz;
- Tensão de operação 1.8V até 3.6V;
- Módulo conversor Analógico-Digital 10-bit com 10 canais;
- 24 pinos Input/Output;
- Módulo *Master Synchronous Serial Port* (MSSP) com comunicação 3-wire SPI e I2C como modo *master* e *slave*;
- Módulo *Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter* (EUSART) com comunicação RS232, *Auto-Baud Detect* e *Auto-Wake-up on Break*

Em termos do *transceiver* MRF24J40 [89], temos como principais características as seguintes:

- *Transceiver* radiofrequência que implementa a norma IEEE 802.15.4;
- Suporta os protocolos de rede *wireless ZigBee*, *MiWi* e *MiWi P2P*;
- Interface SPI (4 fios);
- Circuito oscilador de cristal integrado de 20 MHz e 32.768 kHz;
- Consumo baixo de corrente:
  - Modo receção: 19 mA (típico);
  - Modo envio: 23 mA (típico);
  - Modo *sleep*: 2  $\mu$ A;
- Banda de operação ISM 2.405-2.48 GHz;
- Taxa transmissão de dados: 250 kbps (IEEE 802.15.4); 625 kbps(*turbo mode*);
- Mecanismo CSMA-CA implementado em hardware;
- Suporta encriptação e desencriptação;
- Sistema de segurança em hardware (AES-128).

Em conjunto com o hardware descrito, o software utilizado para a implementação da comunicação *ZigBee* foi o “*Microchip ZigBee-2006 Stack Protocol*” [90], disponível gratuitamente para pequenas aplicações mas não soluções comerciais. O hardware utilizado no MOD-ZIGBEE-UEXT, que implementa a solução de software da *Microchip* resume-se, no seu essencial, à relação entre um processador, o *transceiver* MRF24J40 e a antena, como mostra a figura 5.7.

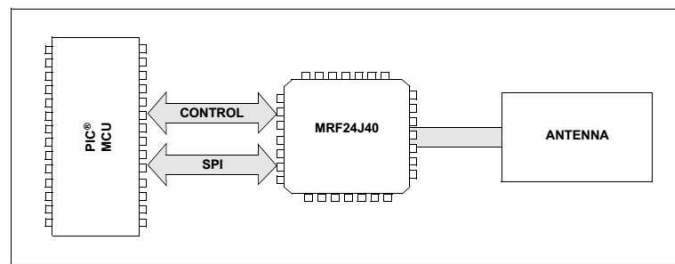


Figura 5.7: Hardware básico para implementação da *Microchip ZigBee Stack Protocol* [90]

Assim, para criar um nó *ZigBee* usando a *Stack Microchip*, é preciso uma comunicação SPI entre um uC e o *transceiver*, além de alguns sinais de controlo. O uC atua como

*master* da comunicação SPI e o *slave* é o *transceiver*. O uC controla a camada da comunicação correspondente à IEEE 802.15.4 MAC e as camadas superiores correspondentes ao *ZigBee*. Os recursos requeridos pelos uC's PIC18F para dirigir o *transceiver* numa implementação típica são os apresentados na tabela 5.3.

Tabela 5.3: Recursos PIC18F usados na implementação da *Microchip Stack ZigBee* [90]

Recursos PIC18F	Descrição	MRF24J40
INT0	Usado para aceitar interrupções vindas do MRF24J40	INT
TMR0	Usado para tempo simbólico	-
RC0	Seleção de slave	CS
RC1	Pino Wake-up	WAKE
RC2	Reset do transceiver	RESET
RC3	SPI SCK	SCK
RC4	SPI SDI	SDO
RC5	SPI SDO	SDI

Para o MCW-S foi utilizado a parte da *Stack ZigBee* respeitante à implementação de um *router Zigbee*. Algumas passagens mais importantes do código em linguagem C [91; 92], respeitante à implementação da *Stack ZigBee*, estão documentadas no Apêndice C. A programação foi realizada através do software MPLAB IDE v8.56 [93] com o compilador de linguagem C chamado MPLAB C18 [94].

### 5.1.5 “Módulo Identificação Eletrónica” (MIE)

Na figura 5.8a está representado o MIE, juntamente com a identificação dos seus elementos constituintes. Este módulo é formado pelo conector (A) à antena de leitura (identificada na figura 5.8b em (A)), conector ao barramento RS485 (B), alimentação (C), besouro (D), *leds* de sinalização de leitura/espera (ligação aos *leds* em E) e botão de escolha de número de *slave* do módulo no barramento RS485 (F). O esquema elétrico respeitante a este módulo está representado na figura B.3 do Apêndice B.

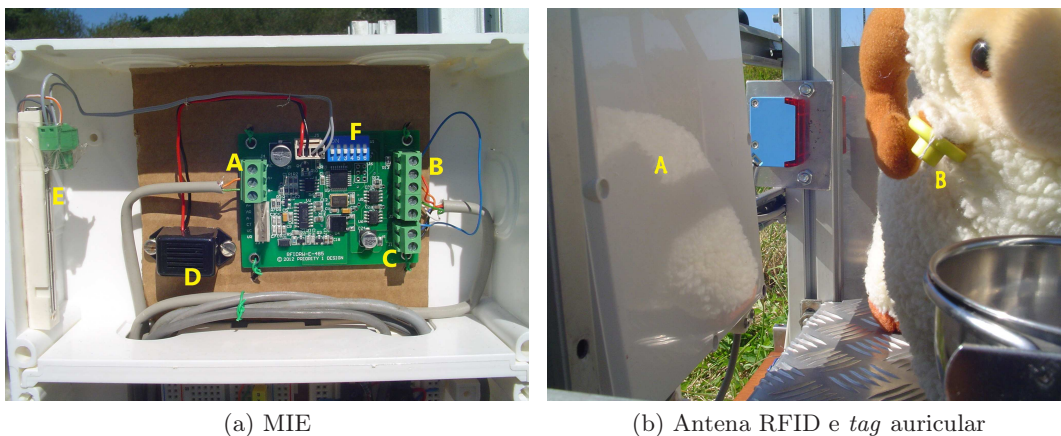


Figura 5.8: Sistema para a identificação eletrónica de animais

A tecnologia escolhida para a identificação eletrónica dos animais foi a RFID, já explicada nas secções 3.3 e 3.4. Esta tecnologia mostrou-se a mais interessante para a

aplicação em questão pois já se encontra em grande aplicação no setor pecuário, com cada vez mais expansão da tecnologia. O facto de não haver necessidade de contacto do animal com o módulo de identificação é uma grande vantagem, além de permitir leitura em movimento.

Assim, realizou-se uma pesquisa sobre as soluções comerciais existentes para leitores RFID respeitantes aos ISO 11784/5. A maioria das opções encontradas são soluções portáteis, com capacidades de resistência à humidade, quedas, poeira, etc, mas que não satisfazem a necessidade de integração no equipamento protótipo para ficar englobado no quadro principal. A estas soluções acresce um preço elevado. Outras soluções apresentam-se boas hipóteses de integração no protótipo, mas o preço elevado (a rondar os 800€ e 1000€ [95; 96]) desencoraja o investimento nestas. Então optou-se por uma solução versátil (a placa PCB do MIE), de preço muito mais reduzido (a rondar os 50€) e de um pequeno fabricante da Austrália, chamado *Priority 1 Design* [97]. Este sistema, chamado de “*RFID485 - RFID reader writer with a RS485 interface*” permite ter a antena de leitura (A na figura 5.8b) a alguma distância do leitor para versatilidade do sistema, sinalização luminosa na leitura/espera, sinalização sonora na leitura, comunicação com outros dispositivos por barramento RS485 e escolha do endereço de *slave* para esta comunicação. Além do mais permite a leitura de outros tipos de *tags*, não apenas as respeitantes a animais. Importa referir que não se trata de um equipamento industrial, mas sim de uma pequena solução que para a integração num protótipo apresenta-se suficiente. O software já vem implementado, assim como a forma de comunicar com o equipamento, com estruturas de mensagem definidas respeitando a comunicação barramento. O modo de funcionamento dos seus algoritmos foi explicado, de forma simples, no capítulo 4. Para a funcionalidade do protótipo ser melhor compreendida, foi utilizada uma ovelha de peluche, com uma *tag* instalada na orelha da ovelha (B da figura 5.8b).

### Detalhes da placa RFID485

Esta placa RFID485 está configurada para ler *tags* com protocolo FDX-B e HDX segundo as normas ISO 11784/5 e possui 2 modos de leitura, o **simples** e o **automático**. No **modo simples** o leitor mantém o campo de radiofrequência desativo (antena não possui diferença de potência aos seus terminais). Só quando há receção dum comando específico pelo barramento para leitura, a antena é ativada por um instante de tempo definido promovendo a deteção de eventuais *tags* que entrem no seu campo de leitura. Se houver deteção é enviado pelo barramento a informação identificadora da *tag*, em formato ASCII. Depois retorna para um estado de *standby* (espera), desativando a antena. No **modo automático** o leitor mantém permanentemente a antena ativa. Sempre que for detetada uma *tag* dentro do alcance da antena, imediatamente é enviada pelo barramento a informação *standard* dessa *tag*. No **modo simples** também pode ser realizado outra leitura, a leitura integral, em que é lida toda a informação guardada na *tag*.

A cada leitura com sucesso de uma *tag* os leds existentes dão sinalização. Com o mesmo intuito a placa possui um bescoro para aviso sonoro. Este leitor pode receber comandos de leitura, como foi exposto anteriormente, mas também pode receber comandos de configuração, entre outros, como explicado de seguida. Todos os comandos enviados para o leitor por RS485 são antecedidos por **Uxx**, sendo xx o endereço de *slave* estabelecido no botão de escolha (F na figura 5.8a).

### Comandos de Configuração:

- **UxxVER<cr>** - Leitura do número da versão do *firmware* do leitor;
- **UxxSPy<cr>** - Seleção do tipo de comunicação RS485. Para  $y=0$ , *half duplex*. Para  $y=1$ , *full duplex*.
- **UxxSOMy<cr>** - Seleção do modo de detecção de *tag* (modo simples  $y=0$ , modo automático  $y=1$ ).
- **UxxSLy<cr>** - Seleção de função de aviso de leitura com um *led* de dupla cor. Na implementação não foi usado um led destes, pois usou-se em vez disso 2 *leds*, um que liga na leitura e outro que liga no momentos de espera (*standby*) (verde para leitura e vermelho para espera -  $y=0$ , verde para espera e vermelho para leitura -  $y=1$ ).
- **UxxSBY<cr>** - Seleção do modo de funcionamento do bipsoro de aviso de leitura de *tag*. Para emitir um aviso sonoro aquando da leitura  $y=0$ , e para bipsoro desligado  $y=1$ .

Quando estes comandos (exceto o VER<cr>) são executados com sucesso, o leitor responde com OK<cr>. No caso do comando VER<cr> o leitor responde com o número da versão do *firmware*. Estes comandos de configuração são executados uma vez sendo as configurações guardadas em memória, mantendo-se mesmo desligando a alimentação da placa.

### Comandos de leitura e localização

- **UxxLTG<cr>** - Verificar presença de *tag*. Quando uma *tag* entra dentro do alcance da antena com a leitura em modo automático, esta é identificada e é enviada pela comunicação barramento a sua identificação. Contudo, se for preciso saber se a *tag* continua presente, tem que se usar este comando de localização. Tem-se a resposta ?1<cr> quando não houver *tag* presente, ou OK<cr> se estiver alguma *tag* presente.
- **UxxRSD<cr>** - Leitura de *tag* em modo simples. Tem-se como resposta ?1<cr> quando houver ausência de *tag*, ou **codigopais\_IDNacional<cr>** quando houver leitura de uma *tag* presente. No comando seguinte explica-se a natureza destes dados.

Exemplo: **999\_000000001008<cr>**

- **UxxRAT<cr>** - Este comando é usado para ler toda a informação contida numa *tag*, segundo as normas ISO 11784/5 como já explicadas na secção 3.4. A resposta é constituída da seguinte forma:

**código país\_IDNacional\_Animal bit status\_Data block status\_Checkbits\_Data block<cr>**

- **Código país**- Código de 3 dígitos decimais que indicam o país de origem do animal. O código 999 indica que se trata de uma *tag* de teste;
- **(\_)** - Separador de dados;
- **IDNacional**- Código de 12 dígitos decimais único em cada país;
- **Animal bit status**- 1 dígito que indica se a *tag* é usada para identificação animal. Se for igual a 1 é usada para identificação animal;
- **Data block status**- Indicador se existe um bloco de informação adicional na *tag*. Se for 1 é porque existe um bloco adicional de 24 bits. Se for 0 não existe;



- **Checkbits**- Valor do CRC16 (Cyclic Redundancy Check) calculado para validação da informação vinda da *tag*;
- **Data block**- Informação contida no bloco adicional se o **Data block status** for 1. Quando este é zero o valor transmitido é 000000;
- **<cr>** *Carriage Return* (em hexadecimal 0x0D).

Exemplo: **999\_000000001007\_1\_0\_AEC4\_000000<cr>**

No caso de não detetar nenhuma *tag*, retornará a mensagem **?1<cr>**.

- **UxxSRD<cr>** - Desligar campo radiofrequência emitido pelo leitor. As *tags*, mesmo estando em leitura em modo automático, não são detetadas desta maneira. O leitor emite depois uma resposta de confirmação de sucesso **OK<cr>**.
- **UxxSRA<cr>** - Ligar campo de radiofrequência emitido pelo leitor. Igualmente é emitida uma resposta de confirmação de sucesso **OK<cr>**.

Na tabela 5.4 é mostrado o conjunto de mensagens de estado e de erro que podem ser retornadas pela placa, via barramento.

Tabela 5.4: Tabela de mensagens e erros [97]

Códigos de erro e estado	Descrição
?0<cr>	Comando não reconhecido
?1<cr>	<i>Tag</i> não presente
OK<cr>	Processado com sucesso

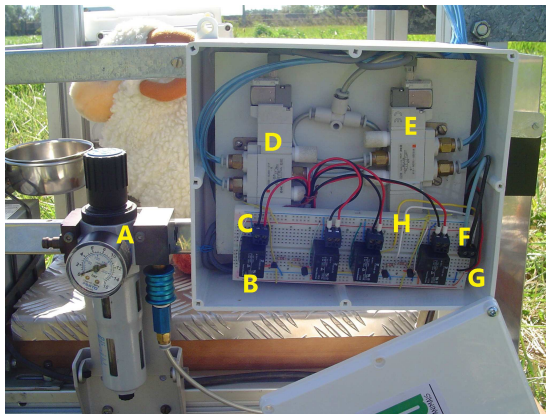
### 5.1.6 “Módulo Controlo Portas” (MCP) e “Módulo Detecção Passagem” (MDP)

Quanto ao MCP, decidiu-se utilizar um sistema pneumático para o acionamento das portas pela razão do controlo do movimento das portas ser mais flexível e não tão rígido como o controlo mecânico, elétrico ou hidráulico. Se por algum motivo o animal estiver a meio da entrada e as portas fecharem, este vai ser trilhado, mas como o acionamento é pneumático o sistema permite alguma flexibilidade (devido à compressibilidade do ar) e as portas não fecharão totalmente. Contudo fica o perigo para a saúde do animal, dependendo da pressão de trabalho do sistema pneumático. Nesta fase do protótipo não se considerou a implementação de nenhum sistema de abertura automática de porta em caso de trilhamento de animal.

Outra das razões para esta escolha para a implementação física foi a existência de material pneumático disponível nos laboratórios da universidade, não havendo despesas com equipamento. Mas, contudo, esta aplicação para um equipamento agropecuário que pode estar aplicado remotamente num campo agrícola revela-se muito dispendiosa pela necessidade de uma fonte de ar comprimido para o seu funcionamento. Desta maneira, a acompanhar o SC, teria de existir um compressor. A solução ideal seria um acionamento elétrico das portas, com fácil implementação e custos baixos, comparando com a necessidade de haver um compressor na implementação pneumática. Isso será abordado com mais ênfase na secção 6.2 (Trabalhos futuros).

O MCP implementado pode ser visto na figura 5.9a, em que os seus constituintes estão identificados da seguinte forma:

- A - Unidade de regulação de pressão de ar;
- B - 4 Relés 5V para acionamento das eletroválvulas, controlados pelo MPr;
- C - Conector para eletroválvulas;
- D e E- Eletroválvulas 5/3 (5 vias, 3 estados) com retorno por mola e acionamento elétrico;
- F - Alimentação 24V para eletroválvulas;
- G - Alimentação 5V para relés;
- H - Controlo do MPr para abertura/fecho.



(a) MCP



(b) Sistema de cilindros pneumáticos para acionamento das portas



(c) Sistema de carril para guiamento



(d) Fotocélulas utilizadas na entrada da estrutura das portas

Figura 5.9: Sistema para o funcionamento das portas e implementação do MDP com fotocélulas

O sistema de funcionamento é explicado de seguida, tendo como base o esquema elétrico da figura B.6 do Apêndice B. O MCP ativa uma saída digital para abrir as portas (um dos condutores identificados como H), passando corrente na base dos transístores.

Assim o transistor deixa passar corrente do coletor para o emissor, ativando os dois relés correspondentes (B). Estes relés, por sua vez, deixam passar correntes para as eletroválvulas (24V), acionando cada um dos cilindros pneumáticos para a abertura de cada uma das portas. A abertura das portas é feita com o avanço dos cilindros. O mesmo se passa com o fecho das portas (figura 5.9b), em que a outra saída digital do MPr é ativada, saturando os transistores correspondentes, ativando os relés e o lado das eletroválvulas correspondente ao recuo dos cilindros é ativado. Assim as portas fecham com o recuo dos cilindros. Uma nota importante a reter é que as saídas digitais do MPr correspondentes à abertura/fecho são ativadas alternadamente, não podendo ser ao mesmo tempo.

A imagem 5.9b mostra as portas fechadas. O esquema pneumático está representado na figura B.7 e o esquema de atuação das eletroválvulas na figura B.8 (Apêndice B). O sistema de guiamento das portas está representado na figura 5.9c, situado na parte inferior da porta. Este é constituído por uma calha (A) onde deslizam 2 rodas (B) por cada porta, formando um carril.

No que toca ao sistema de sensores utilizado para a implementação do MDP, este está representado na figura 5.9d. Os sensores escolhidos foram fotocélulas do fabricante *SICK*, modelo WL250 P132 [98] e incluem o emissor e o recetor no mesmo corpo, sendo necessário um refletor no outro lado da estrutura, para a reflexão dos feixes de luz. Estes sensores utilizam feixes luminosos, normalmente na zona do infravermelho e do vermelho. O recetor é um semiconductor, que gera uma corrente quando lhe incide luz (fotodiodo ou foto-transistor). Neste caso o interruptor de saída (realizado por um transistor) é ativado. Caso contrário, mesmo que exista sinal luminoso, o sinal é rejeitado (admite-se um erro que pode ser uma interferência externa). O feixe emitido tem de corresponder com o feixe recebido, dentro de uma tolerância definida pelo fabricante de cada fotocélula.

As fotocélulas, ao serem atuadas, enviam sinais elétricos com tensão de 12V (a mesma tensão da alimentação) para o uC do MPr para serem recebidas por entradas digitais com interrupção na mudança de sinal lógico. Como há um limite para a tensão aplicada numa entrada digital do MPr (no máximo a tensão de alimentação do uC que neste caso é 3.3V), houve a necessidade de implementar um divisor resistivo (2 resistências, de valores 30k $\Omega$  e 10 k $\Omega$ ) para reduzir os impulsos de deteção a 12V para 3V. As fotocélulas ao serem atuadas, estes sinais passam a maiores que zero e são assumidos níveis lógicos superiores (“1”). Quando não detetam nada o nível lógico baixa para 0. Estas transições são detetadas por mecanismos de interrupção na mudança, implementados no MPr.

Uma das fotocélulas está no exterior da estrutura e a outra no interior. A do exterior, por sua vez, está resguardada pela porta, que a protege do contacto com os animais. De igual modo estão os refletores, um para cada fotocélula.

### 5.1.7 “Módulo Pesagem” (MPe)

A figura 5.10a mostra o SC, numa vista superior, com o estrado metálico, de forma a se conseguir ver o sistema de balança e consecutivamente o MPe. Nesta figura estão representadas as 4 células de carga utilizadas (A,B,C,D) e o MPe (E).

Mais em pormenor, na figura 5.10b, estão identificados os elementos do MPe, sendo estes o amplificador operacional AD623 (A), conector dos condutores positivos da medição diferencial das células de carga (B), conector de alimentação das células de carga e condutores negativos da medição diferencial das células de carga (C) e conector de

ligação ao MPr (D). As células de carga utilizadas são do fabricante *Vishay Precision Group* [99] e têm uma capacidade máxima de 300 gramas cada. Ou seja, da associação das quatro células a balança protótipo tem uma capacidade máxima de 1200 gramas. O esquema elétrico que explica esta implementação está ilustrado na figura B.5 no Apêndice B, onde são representadas as quatro “pontes de *wheatstone*” (quatro células de carga), o amplificador usado e o modo como este se encontra interligado com o resto do sistema.

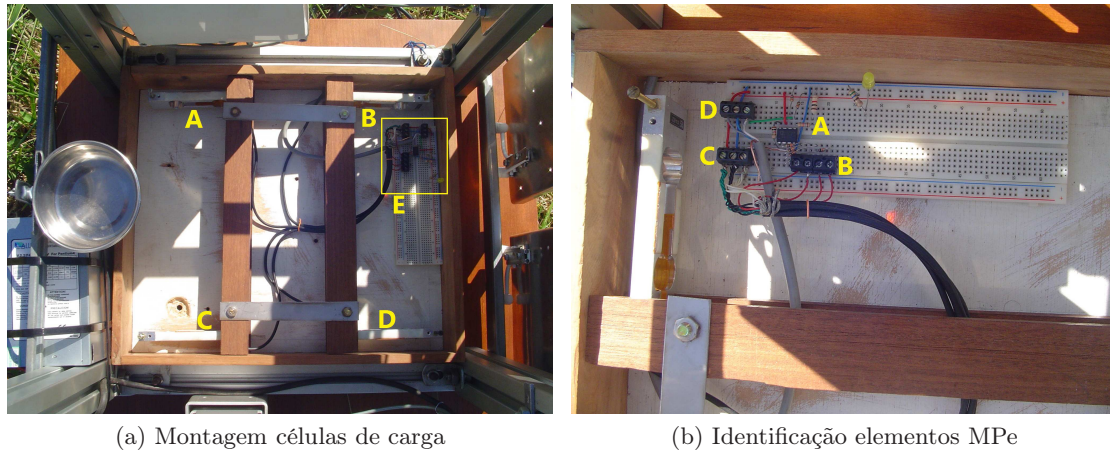


Figura 5.10: Sistema de balança formado pelas 4 células de carga e MPE

O amplificador operacional escolhido para a aquisição dos sinais elétricos vindos das células de carga e amplificação do resultado foi o AD623 [100] do fabricante *Analog Devices*, cujo diagrama de pinos é apresentado na figura 5.11 . Na tabela 5.5 é apresentada uma descrição simples de cada pino, no contexto da aplicação em causa.

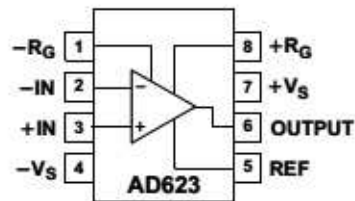


Figura 5.11: Diagrama de conexão dos pinos do amplificador AD623 [100]

Tabela 5.5: Descrição pinos amplificador AD623 [100]

Pino	Nome	Descrição
1	-RG	Conector à resistência de ganho
2	-IN	<i>Input</i> invertido das saídas diferenciais das células de carga
3	+IN	<i>Input</i> não invertido das saídas diferenciais das células de carga
4	-VS	<i>Ground</i> - Ligação à terra
5	REF	Nível de referência imposto ao sinal de saída
6	OUTPUT	Sinal de saída amplificado
7	+VS	Alimentação amplificador
8	+RG	Conector à resistência de ganho

O ganho de amplificação ( $G$ ) do AD623 é programado pela aplicação de uma resistência  $R_G$  entre os pinos 1 e 8. O valor dessa resistência é dado pela equação 5.1. Recordando a equação 4.5, assim se obtém o valor de saída [100].

$$R_G = \frac{100k\Omega}{G - 1} \quad (5.1)$$

Como foi dito no capítulo Solução, na secção 4.1.1, a medição de peso tem valores mínimos e máximos admissíveis. Atendendo à capacidade das células de carga usadas, o valor mínimo estipulado na programação do MPr foi de 0.2kg e o valor máximo de 2kg. Estes valores são meramente exemplificativos. A medição de peso é feita com arredondamento às centésimas de quilo.

## 5.2 “Sistema Central Exploração” (SCE)

### 5.2.1 “Módulo Comunicação *Wireless (Master)*” (MCW-M)

Para a implementação do MCW-M, criou-se um caixa, ilustrada na figura 5.12a, para integrar os componentes de comunicação *wireless* e a sua interface para o computador, onde interage com a interface gráfica e por via desta com a base de dados. O protocolo escolhido para a comunicação *wireless* é o *ZigBee*, como já foi explicado aquando da implementação do MCW-S. Da mesma forma também já foi apresentada a solução comercial escolhida para implementar a comunicação *ZigBee*, que recordando é a placa MOD-ZIGBEE-UEXT da OLIMEX [86], juntamente com o software *Microchip ZigBee Stack Protocol*. Neste caso do módulo *master* foi implementado a parte da *stack* correspondente a um nó coordenador *ZigBee*.

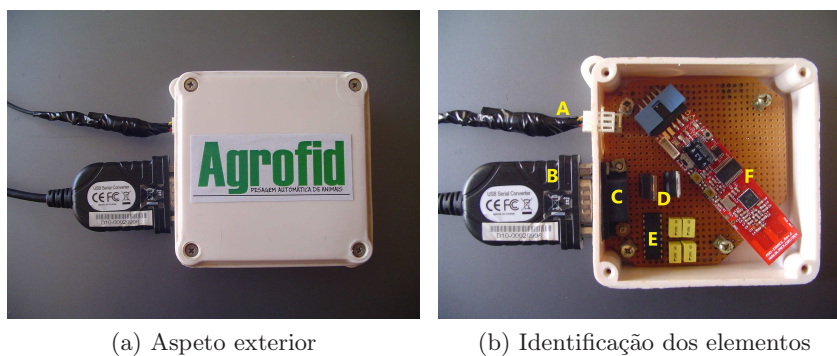


Figura 5.12: Identificação dos elementos constituintes do MCW-M

Na figura 5.12b estão identificados os vários constituintes do MCW-M. Em A está localizada a ligação a uma fonte de alimentação (7V DC); em B é o conversor USB-RS232, para fazer a comunicação com o PC via USB; em C é o conector DB9; em D os reguladores de tensão para obter as tensões necessárias de 5V para o MAX232 (E) e 3.3V para a alimentação da placa MOD-ZIGBEE-UEXT (F). O MAX232 serve para converter as tensões TTL vindas do uC para os níveis do protocolo RS232, na comunicação série através do conector UEXT [75].

O esquema elétrico representativo desta implementação encontra-se na figura B.1, no Apêndice B. O esquema da placa MOD-ZIGBEE-UEXT também se encontra neste apêndice, na figura B.9.

### 5.2.2 Interface gráfica

A interface gráfica que é proposta nesta dissertação foi desenvolvida no software *Microsoft Visual Studio 2012* [101], na linguagem *Visual Basic* [102]. Apesar de não ser um software livre, apresenta inúmeras vantagens - que vão da facilidade de obter aplicações gráficas em pouco tempo e sem grandes requisitos em termos de conhecimento de programação; ao longo do desenvolvimento de uma aplicação o software dá ajudas sobre como resolver problemas na programação - sendo que por estas razões se assenta sobre o princípio de desenvolvimento intuitivo. Além destas razões, as aplicações *Microsoft* são muito utilizadas no desenvolvimento de software na área da agropecuária, encontrando-se inúmeras aplicações nas soluções comerciais disponíveis no mercado.

Este trabalho de dissertação, como já foi referido ao longo do texto, assentou em alguma sugestões da empresa *PecPlus*, sendo que o software desenvolvido e comercializado por esta assenta nas aplicações *Microsoft*. Por este conjunto de motivos a escolha para o desenvolvimento da interface recaiu sobre a linguagem *Visual Basic* e o software *Visual Studio*.

Na figura 5.13 está ilustrada a primeira janela da interface gráfica, que aparece ao ligar a aplicação. Nela pode-se ver a implementação das várias áreas, como foi proposto no capítulo Solução, na figura 4.21. Estas áreas são explicadas de seguida:

- **Área do logótipo** - No canto superior esquerdo encontra-se a identificação da aplicação, pelo logótipo criado para o efeito. “AGROFID” vem da junção de “AGRO”+“RFID”, para a conjugação da tecnologia com a agropecuária. Associado a isto vem a “Pesagem Automática de Animais”;
- **Área de estados** - No canto superior direito é indicado, em tempo real, o estado em que se encontra o SC (ATV/DTV), se está em modo MAN ou AUTO, o estado da comunicação com o MCW-M e o aviso de sequestro de animal. Também existe um botão para fazer um pedido ao SC para saber o seu estado de funcionamento;
- Na parte inferior é a **área das comunicações, configurações, calibrações e consultas da base de dados**. Está dividida em 6 separadores, visíveis um de cada vez. As janelas correspondentes aos 6 separadores são apresentadas de seguida.
  - LIGAÇÃO SISTEMA CAMPO;
  - CALIBRAÇÃO BALANÇA;
  - ATIVAÇÃO SISTEMA CAMPO;
  - CONSULTA REGISTO PESAGEM;
  - REGISTO E CONSULTA SINALIZAÇÕES;
  - HISTÓRICO SINALIZAÇÕES.

A janela de ligação ao SC é constituída pela escolha da porta de comunicação, botão de iniciar comunicação e janela de estado da comunicação, onde aparece se a abertura e o fecho desta foram realizadas com sucesso ou se houve erro. Na zona da esquerda é onde se podem fazer as configurações ao sistema RFID, apenas em estado desativo do



Figura 5.13: Interface proposta - janela de ligação ao “Sistema Campo”

sistema. Possui um botão de envio da configuração escolhida na “checkbox” pretendida, botão para retroceder a escolha e uma área de receção do resultado da configuração. Também em estado desativo pode-se comandar as portas do SC para efeitos de limpeza ou manutenção do equipamento.

Na segunda janela (CALIBRAÇÃO BALANÇA) da figura 5.14 existe a área da esquerda, onde se introduzem os valores de pesos calibrados que se colocam na balança, a solicitação do valor da conversão analógica correspondente a cada um desses pesos e a visualização dos valores registados de peso e conversão. Na área da direita solicita-se o cálculo da regressão linear e os valores obtidos nesse cálculo são apresentados, sendo que estes também são enviados para o SC (que são os parâmetros de calibração) ao selecionar o botão “Enviar parâmetros calibração”. A qualquer momento pode-se verificar esses mesmos valores que estão guardados em memória nesse momento no SC, através do botão “Verificar Parâmetros Calibração”.

Na terceira janela (figura 5.15), temos a ativação e desativação do SC, através do botão laranja “Ativar Sistema Campo”. Após a ativação, é permitida a escolha do modo de trabalho do sistema, MAN ou AUTO. Após se escolher a ativação do modo MAN, é permitido enviar comandos manuais, como verificação presença de *tag*, leitura *standard* de *tag*, leitura integral da *tag* (toda a informação contida nesta), realizar pesagem e abertura/fecho das portas do SC. Os resultados dos pedidos são apresentados em baixo. O modo automático, após ser ativado no botão do lado direito, desenrola-se de forma autónoma.

Na quarta janela (figura 5.16), podem ser consultados, segundo tipos de pesquisa diferentes, os registos de pesagem em modo AUTO realizadas no SC. A consulta pode ser feita segundo o país de origem do animal e o seu ID nacional, por intervalo de peso a que pertence ou por dias de pesagem, até um intervalo de 7 dias. A pesquisa pode ser feita com todas as combinações possíveis, entre estas 3 possibilidades.

Passando para a quinta janela (5.17), esta corresponde ao registo (sinalização) de novos animais para sequestro na estrutura e visualização das sinalizações em estado

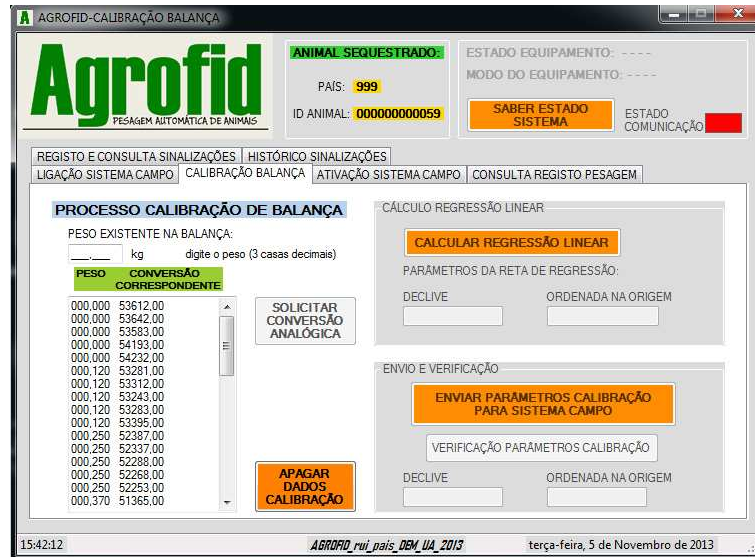


Figura 5.14: Interface proposta - janela de calibração balança



Figura 5.15: Interface proposta - janela de ativação sistema e modos MAN e AUTO



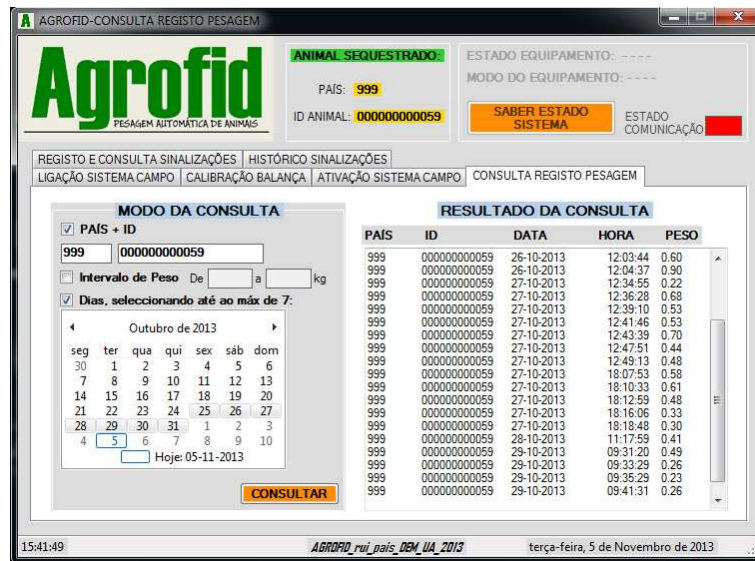


Figura 5.16: Interface proposta - janela de consulta do registo de pesagem

pendente, ou seja, daquelas que correspondem a animais que, desde a data e hora da sua sinalização, ainda não foram detetados no SC. Os animais são registados como sinalizados a partir do número de país de origem e do seu ID nacional. Estes dados estão guardados na base de dados.

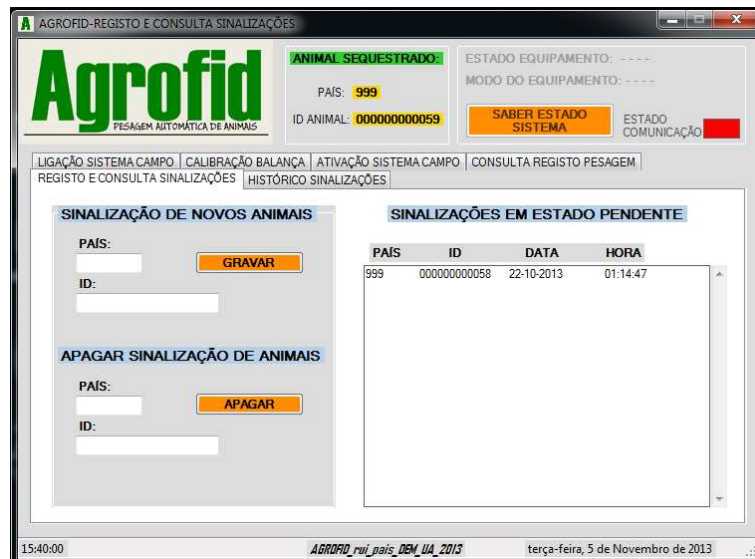


Figura 5.17: Interface proposta - janela de registo de animais para sequestro

O aviso de sequestro de animal apenas é visível na interface quando há um animal detetado no equipamento que se encontrava nesse momento em estado pendente. Esse aviso contém a identificação do animal. Estará visível até ao momento em que for detetado outro animal no equipamento e este não esteja sinalizado para ser sequestrado. Caso esteja sinalizado, o aviso continuará visível com a nova identificação.

Por último, a janela “Histórico sinalizações” (5.18), apresenta todo o histórico de animais sinalizados para sequestro, quer os que foram registados para tal e já se encontram com essa situação sinalizada (estado finalizado), quer os que estão sinalizados e ainda não foram identificados no SC (estado pendente). Esta tabela vai sendo atualizada continuamente.

PAIS	ID	DATA_REG	HORA_REG	DATA_OCORR	HORA_OCORR	ESTADO
999	00000000059	29-07-2013	13:55:03	29-07-2013	13:55:43	FINALIZADO
999	00000000059	29-07-2013	17:39:40	29-07-2013	17:40:18	FINALIZADO
999	00000000059	21-10-2013	11:36:25	21-10-2013	11:37:58	FINALIZADO
999	00000000059	21-10-2013	20:18:25	21-10-2013	20:21:27	FINALIZADO
999	00000000058	22-10-2013	01:14:47	-	-	PENDENTE
999	00000000059	22-10-2013	01:15:00	22-10-2013	17:02:38	FINALIZADO
999	00000000059	22-10-2013	17:31:06	22-10-2013	17:31:55	FINALIZADO
999	00000000059	22-10-2013	17:40:20	22-10-2013	17:41:11	FINALIZADO
999	00000000059	22-10-2013	19:02:38	22-10-2013	20:26:22	FINALIZADO
999	00000000059	22-10-2013	20:29:14	22-10-2013	20:30:28	FINALIZADO
999	00000000059	22-10-2013	20:35:36	22-10-2013	20:38:36	FINALIZADO
999	00000000059	22-10-2013	20:48:00	22-10-2013	20:49:35	FINALIZADO
999	00000000059	22-10-2013	20:57:43	22-10-2013	20:58:57	FINALIZADO
999	00000000059	26-10-2013	11:44:38	26-10-2013	11:47:35	FINALIZADO
999	00000000059	26-10-2013	12:02:18	26-10-2013	12:03:44	FINALIZADO
999	00000000059	27-10-2013	18:08:35	27-10-2013	18:10:33	FINALIZADO
999	00000000059	29-10-2013	09:36:03	29-10-2013	09:41:31	FINALIZADO

Figura 5.18: Interface proposta - janela para visualização do histórico de sequestros

### 5.2.3 Base de dados

Para gestão de bases de dados, existem vários sistemas comerciais, em que cada um deles armazena os dados em disco de uma forma específica. Mas em geral todos eles conhecem e aceitam pedidos realizados por outros programas, desde que estes pedidos sejam escritos de acordo com a linguagem *Structured Query Language* (SQL) [103].

A linguagem SQL permite consultar uma base de dados, inserir ou alterar dados nela armazenados. Esta linguagem foi desenvolvida nos anos 70 do século XX pela IBM para aceder e gerir bases de dados com várias tabelas relacionadas entre si e muita informação. Posteriormente foi normalizada pelo instituto *American National Standard Institute* (ANSI) sob a designação ANSI-92 SQL [103].

O gestor de bases de dados escolhido foi o *MySQL Server* [104], software gratuito para utilização em qualquer aplicação. A aplicação desenvolvida em *Visual Basic* interage com o *MySQL Server*, onde estão alojadas as três tabelas propostas (Tabela Principal, Tabela Regressão e Tabela Sinalização), através de objetos existentes no próprio *Visual Basic* que permitem enviar comandos SQL. De igual modo guarda as respostas a esses comandos.

## Capítulo 6

# Considerações finais

*No último capítulo desta dissertação, são proferidas algumas conclusões sobre a realização do presente trabalho, nomeadamente problemas sentidos, resoluções adotadas e propostas de trabalhos futuros que poderão ser realizados com vista a melhorar a solução apresentada.*

### 6.1 Conclusões

O trabalho realizado no âmbito desta dissertação revelou-se desde cedo ser um pouco ambicioso dado englobar-se na área da automação na agropecuária e, ainda mais, por ser desenvolvido no seio da engenharia mecânica. Este trabalho, denominado “Pesagem e identificação automática no auxílio à agropecuária”, começou por ser fruto do gosto pela área e também pelas experiências de vida vividas pelo autor. Durante a extensa pesquisa efetuada sobre a evolução da agropecuária, situação da agropecuária em particular em Portugal, soluções existentes de hardware e software de apoio à atividade agropecuária e trabalhos científicos relacionados, detetou-se que soluções integradoras de hardware e software em Portugal, para apoio a gestão de manadas e rebanhos de animais de interesse pecuário, estão pouco exploradas, ou quando exploradas são de forma separada, em soluções independentes.

De alguns contactos efetuados com empresas do setor da informática na agropecuária, na busca de preços praticados nas soluções e produtos comercializados, realçou-se a empresa *PecPlus - Pecuária de Precisão* que prontamente se dispôs a ajudar com ideias e na identificação de necessidades que haviam no mercado da pecuária de precisão. Uma das ideias realçadas foi a necessidade da criação de soluções para a integração de identificação eletrónica com sistemas de pesagem automática e voluntária de animais, na procura de redução de custos e de tempo dispendido nestas ações de pesagem e identificação.

A partir daí, o trabalho desenvolveu-se, apesar das diversas dificuldades ao nível da integração dos vários módulos na comunicação RS485, assim como no estabelecimento da comunicação *ZigBee*. O facto do equipamento usado no “Módulo Identificação Eletrónica” ter sido adquirido com o *firmware* implementado e todas as mensagens de comunicação do barramento definidas, levou a um trabalho de aprendizagem desta comunicação. Este facto também levou a uma limitação a todo o desenvolvimento do trabalho. Contudo encontrou-se soluções para resolver as adversidades. No caso da comunicação *wireless*, a *Stack Zigbee* usada foi adaptada de exemplos disponíveis junto da solução comercial usada (MOD-ZIGBEE-UEXT) e de exemplos disponibilizados pela própria *Microchip*.

Esta parte do trabalho revelou-se um grande desafio sobretudo pelo desconhecimento total do autor na área.

Dada a grande variedade de equipamentos usados, o trabalho de implementação da solução proposta revelou-se enriquecedor ao nível dos microcontroladores e suas potencialidades, criação de equipamentos protótipos e sua interligação com um PC, criação de interfaces gráficas em *Visual Basic*, bases de dados SQL e montagem de um sistema de automação numa estrutura, nos lugares propostos, assemelhando-se a um equipamento comercial.

Na criação do sistema de pesagem, usou-se células de carga já existentes nos laboratórios da universidade, daí a precisão não ser igual em todas elas e possivelmente terem valores diferentes aos indicados no documento respetivo, devido ao uso.

O sistema de aviso de animal sequestrado criado na interface gráfica não será o mais apropriado, pois o responsável não estará certamente a tempo inteiro a verificar a interface. Daí a necessidade de melhoramento com outro tipo de alerta, falado na secção seguinte de Trabalhos futuros.

O servidor de base de dados para a implementação do trabalho foi alojado no próprio PC onde estava instalada a interface. Mas inicialmente tinha sido pensada a ligação a uma base de dados localizada num servidor remoto. Numa situação de evolução do trabalho, este servidor seria o correspondente à base de dados da exploração onde seria instalado o equipamento, onde já estivessem registados os animais da exploração e suas características, sendo o sistema de informação da exploração.

Apesar do equipamento não ter sido testado em ambiente real, com animais numa exploração, os objetivos para os quais esta dissertação se propôs terão sido atingidos, dando mais um contributo no desenvolvimento deste nicho de desenvolvimento que é a automação agropecuária. Claro está que o trabalho desenvolvido até à data terá muitas possibilidades de melhoramento e com possível criação de um protótipo que seja capaz de ser instalado de verdade numa exploração, para que o processo evolutivo progrida. Na secção seguinte (Trabalhos futuros) é apresentado um conjunto de propostas de continuação deste trabalho de dissertação, que não foram entretanto desenvolvidas, por causa do fator tempo e pela extensão que esta dissertação tomou.

## 6.2 Trabalhos futuros

Como em qualquer trabalho realizado há sempre ideias e conceitos que ficam por explorar e por fazer, quer para melhorar o que foi feito até à data quer para adaptar a novas realidades que possam surgir. Deste modo, nesta secção chamada “Trabalhos futuros” e em jeito de encerramento deste trabalho de dissertação, ficam diversos tópicos sobre trabalhos futuros que se podem realizar como continuação do trabalho até agora realizado.

- O sistema de pesagem teria de ser dotado de células de carga comerciais com capacidade adequada à espécie animal a ser pesada. O cálculo do peso poderia ter em conta as variações de precisão das células de carga com a variação da temperatura ambiente, assim evitando problemas com desregulação da balança. Para isso poderia ser aproveitado o sensor de temperatura já instalado na placa MOD-ZIGBEE-UEXT da *Olimex*;

- O sistema de alertas de animal sequestrado, constituído por uma janela de aviso na interface gráfica, poderia ser complementado pela associação ao “Sistema Central Exploração” de um módulo de envio de mensagens curtas (SMS) através da rede de telemóveis GSM. Assim, em qualquer lugar onde o responsável estivesse (com acesso à rede GSM), receberia os alertas de animal sequestrado, a identificação do animal e outros avisos que possivelmente poderiam ser adicionados;
- O servidor de base de dados, como já foi referido, deve ser o mesmo que gere o sistema de informação dos animais da exploração, adicionando-se assim a parte complementar para a existência do equipamento de pesagem voluntária. Este servidor, dependendo da forma como o sistema de informação trabalhe (online ou offline) poderia ser remoto ou não;
- A base de dados criada neste trabalho, pela pequena dimensão e pouca quantidade de dados, não foi normalizada. Mas numa versão melhorada do equipamento esta etapa deveria ser realizada;
- Para redução de custos de manutenção e de meios necessários ao funcionamento do “Sistema Campo”, o sistema pneumático de abertura de portas deveria ser substituído por um sistema elétrico, através, por exemplo, de um motor linear.
- A questão do perigo de trilhamento dos animais pode ser resolvido colocando um sistema pneumático com tubos de borracha nas portas, permitindo detetar aumento de pressão do ar e assim indicar o trilhamento de um animal e a necessidade de abertura urgente de porta. Esta proposta é no caso do acionamento das portas ser pneumático. No caso do acionamento elétrico, o sistema de abertura urgente das portas pode ser baseado na medição da intensidade de corrente consumida pelo motor. Quando o consumo for substancialmente mais elevado do que durante o normal funcionamento, indica que algo está errado e que a porta deve abrir.
- No modo automático foi considerado que o animal, voluntariamente, sai do equipamento após a identificação, pesagem e conseqüente abertura da porta. Mas não se considerou o tempo que demora o animal a sair. Uma maneira de controlar esta situação é limitar a quantidade de água que é fornecida ao animal, complementado por exemplo com algum sistema que injete ar na direção da cabeça do animal levando-o a ir embora.
- O sistema de deteção de entrada/saída dos animais proposto através das fotocélulas pode incorrer em erro por causa da altura/tamanho dos animais. Como a altura do sensor é fixa, por exemplo para um animal mais pequeno não vai atuar. A solução mais eficaz neste caso seria a instalação de uma barreira fotoelétrica, assim cobrindo várias alturas dos animais. A altura desta barreira dependeria da espécie animal em causa;
- Outro problema com o sistema de fotossensores seria a provável sujidade que se ia acumular nos refletores ou na própria fotocélula ou barreira, e até o problema da luz solar que poderia confundir o sistema de deteção. Esta situação teria de ser bem analisada aquando da implementação do protótipo no terreno. Outros sistemas de deteção de entrada de animais poderiam ser pensados para substituir os fotossensores, como a implementação de outro leitor RFID na entrada do equipamento, dedicado à identificação dos animais que se aproximam da entrada, por exemplo.

- O sistema de portas pode ser alterado para um “sistema de tesoura”, em que apenas um cilindro pneumático ou um motor linear, colocado na vertical, abre a duas portas.
- Como elemento aliciador para a entrada dos animais no “Sistema Campo” tem-se o bebedouro de água. Assim pode-se aproveitar este facto para saber que quantidade de água bebe cada animal de cada vez e assim monitorizar o seu estado de saúde. Por exemplo, se um animal não é detetado durante vários dias seguidos no equipamento para beber água, é porque algo de anormal de passa;
- Para um grande número de animais pode justificar a instalação de vários “Sistemas Campo” pela exploração, para cobrir corretamente as necessidades de todo o grupo. Assim seria necessário adaptar a comunicação *wireless* para poder receber vários nós *ZigBee*, correspondentes aos “Sistemas Campo” e a nós roteadores para o caso de retransmitir para distâncias maiores. Toda a informação recolhida seria gerida pelo nó coordenador (“Módulo Comunicação *Wireless-Slave*”)
- Todas estas potencialidades adicionais podem ser complementadas pela modularidade do equipamento, convertendo-o para várias funcionalidades e configurações. O “Sistema Campo” pode ter a potencialidade de balança de pesagem voluntária (como foi proposto) aliada à potencialidade de se tornar uma manga de passagem e pesagem dos animais. Assim os animais passam na manga em fila e, um a um, são pesados e identificados, tendo portas de controlo para seres pesados um a um. Esta solução de modularidade levaria a adaptações na estrutura e a implementação de partes desmontáveis;
- O equipamento deve ser amovível, para permitir a mudança de local. Assim deve ter um sistema de segurança para ser fixado ao solo quando em serviço e um sistema de rodas e de atrelagem para ser rebocado.
- O “Sistema Campo” poderia ser alimentado a partir de um sistema fotovoltaico de produção de energia elétrica, tornando o equipamento auto-sustentável. Os painéis fotovoltaicos poderiam ser instalados por cima do equipamento, servindo de telhado de proteção. Esta opção pode ser viável pelo facto do consumo dos equipamentos utilizados (sistemas micro controlados) ser pequeno;

# Bibliografia

- [1] IFAP. Para um sistema de identificação e registo de ovinos e caprinos. [Online] Disponível em: [http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap\\_publico\\_recursos/0%20IFAP/GCR\\_publica/2004\\_Boletim%20Trimestral\\_1T.pdf](http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap_publico_recursos/0%20IFAP/GCR_publica/2004_Boletim%20Trimestral_1T.pdf). Acedido a 22/2/2013.
- [2] Luciano Vieira Koenigkan; Marcelo Gonçalves Narciso. *Aplicações da tecnologia de identificação por rádio frequência (RFID) na pesquisa e produção agropecuária*. Technical report, Embrapa Informática Agropecuária. Brasil, Acedido a 2/3/2013.
- [3] Inês da Silva Caramalho Vela Oliveira. *Avaliação do impacto da instalação de um sistema de informação de gestão em explorações pecuárias - explorações de ovinos*. Master's thesis, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- [4] Juliana V. L. Botega; Roberto A. B. Júnior; Marcos Aurélio Lopes; Giovanni Francisco Rabelo. *Diagnóstico da Automação da Produção Leiteira*. 2007.
- [5] Aurélio F. S. Soares. *Redes de Sensores Sem Fio Para Localização e Monitoramento de Pequenos Ruminantes*. Master's thesis, (Graduação em Engenharia de Computação) Universidade Federal do Vale do São Francisco (Brasil), 2012.
- [6] Agro 2013 aposta na agricultura como caminho para crescimento económico nacional. [Online] Disponível em: [http://www.confagri.pt/SiteCollectionDocuments/Divulgacao/AGRO\\_2013\\_aposta\\_na\\_agricultura\\_como%20caminho\\_para\\_crescimento\\_economico\\_nacional.pdf](http://www.confagri.pt/SiteCollectionDocuments/Divulgacao/AGRO_2013_aposta_na_agricultura_como%20caminho_para_crescimento_economico_nacional.pdf). Acedido a 2/3/2013.
- [7] Agros, revista espaço rural n<sup>o</sup>88. [Online] Disponível em: [http://www.confagri.pt/SiteCollectionDocuments/Espa%C3%A7o%20Rural/ER\\_88\\_EntrevistaPresAgros.pdf](http://www.confagri.pt/SiteCollectionDocuments/Espa%C3%A7o%20Rural/ER_88_EntrevistaPresAgros.pdf). Acedido a 2/3/2013.
- [8] António Cipriano Pinheiro. A agricultura europeia: Desafios e novas tecnologias. [Online] Disponível em: 2010. Universidade de Évora, Acedido a 5/3/2013.
- [9] Carlos Amaro. Agricultura portuguesa em mudança profunda, revista “o militante” n<sup>o</sup>283. [Online] Disponível em: <http://www.omilitante.pcp.pt/pt/283/Agricultura/76/>, Julho/Agosto 2006. Acedido a 5/3/2013.
- [10] Francisco Avillez e outros. *Rendimento e competitividade agrícolas em Portugal*. Ed. Almedina, Coimbra, 2004.

- [11] Embaixada de Portugal em Estocolmo. Economia portuguesa. [Online] Disponível em: [http://www.embassyportugal.se/index.php?option=com\\_content&view=article&id=57&Itemid=128&lang=pt](http://www.embassyportugal.se/index.php?option=com_content&view=article&id=57&Itemid=128&lang=pt). Acedido a 4/3/2013.
- [12] Aicep. Portugal - ficha país. [Online] Disponível em: <http://www.portugalglobal.pt/PT/Paginas/home.aspx>, Janeiro 2013. Acedido a 5/3/2013.
- [13] INE Instituto Nacional de Estatística. [Online] Disponível em: [www.ine.pt](http://www.ine.pt). Acedido a 8/3/2013.
- [14] Deolinda da Conceição dos Reis Simões. *Medidas Legislativas para Segurança da Cadeia Alimentar. O Âmbito da Importação e da Admissão*. Mestrado em medicina legal e ciências forenses, Faculdade de Medicina de Lisboa, Universidade de Lisboa, 2010.
- [15] Comissão Europeia. Política agrícola comum - uma parceria entre a europa e os agricultores. [Online] Disponível em: [http://ec.europa.eu/agriculture/cap-overview/2012\\_pt.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/cap-overview/2012_pt.pdf), 2012. Acedido a 5/3/2013.
- [16] Maria José Palma L. Santos. Evolução do setor agrícola português após a adesão à união europeia. [Online] Disponível em: <http://www.sper.pt/VCHER/Pdfs/MaJoseSant.pdf>. Escola Superior Agrária - Instituto Politécnico de Castelo Branco, Acedido a 25/2/2013.
- [17] Mário Pedro Garcia. Para um sistema de informação eletrónica de animais, 1º congresso luso-brasileiro de tecnologias da informação e comunicação na agro-pecuária. [Online] Disponível em: [http://www.agriculturadigital.org/agritic\\_2004/congresso/AgricPrec\\_SIG/Para\\_Um\\_SI\\_Electronica\\_de\\_Animais.pdf](http://www.agriculturadigital.org/agritic_2004/congresso/AgricPrec_SIG/Para_Um_SI_Electronica_de_Animais.pdf), 2004. Santarém, Acedido a 25/2/2013.
- [18] Constituição da República Portuguesa. *Decreto-Lei 87/2007*.
- [19] Feoga e feader. [Online] Disponível em: <http://www.touteleurope.eu>. Acedido a 5/3/2013.
- [20] Financiamento da política agrícola comum: Feoga e feader. [Online] Disponível em: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/agriculture/general\\_framework/111096\\_pt.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/general_framework/111096_pt.htm). Acedido a 5/3/2013.
- [21] União Europeia. Agricultura. [Online] Disponível em: [http://europa.eu/pol/agr/index\\_pt.htm](http://europa.eu/pol/agr/index_pt.htm), 2013. Acedido a 5/3/2013.
- [22] Constituição da República Portuguesa. *Decreto-Lei 17/2012*.
- [23] FAO Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Cooperativas agrícolas alimentam o mundo. [Online] Disponível em: [https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/13/13455333629920/wfd2012\\_leaflet\\_pt\\_low.pdf](https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/13/13455333629920/wfd2012_leaflet_pt_low.pdf), Outubro 2012. Acedido a 5/3/2013.
- [24] Drapn. [Online] Disponível em: <http://www.drapn.min-agricultura.pt/drapn/index1.html>. Acedido a 7/3/2013.



- [25] CAP Confederação de Agricultores de Portugal. [Online] Disponível em: <http://www.cap.pt/index.php>. Acedido a 7/3/2013.
- [26] IFAP. Snira. [Online] Disponível em: [http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap\\_publico/GC\\_informacoes/GC\\_snira\\_sirca](http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap_publico/GC_informacoes/GC_snira_sirca). Acedido a 7/3/2013.
- [27] Pesquisa identificação pecuária. [Online] Disponível em: <http://www.google.com/>. Acedido a 15/3/2013.
- [28] Rumitag. [Online] Disponível em: [www.rumitag.com](http://www.rumitag.com). Acedido a 10/3/2013.
- [29] IFAP. Sistema nacional de registo de bovinos (snirb). [Online] Disponível em: [http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap\\_publico\\_recursos/0%20IFAP/GCR\\_publica/1999\\_Boletim%20Trimestral\\_1\\_2T.pdf](http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap_publico_recursos/0%20IFAP/GCR_publica/1999_Boletim%20Trimestral_1_2T.pdf), 1999. Acedido a 8/3/2013.
- [30] Inês Amaro; CNA (Confederação Nacional de Agricultores). Identificação eletrónica no setor pecuário. [Online] Disponível em: [http://www.cna.pt/arquivo/manuais/identificacaoanimal\\_inesamaro2007.pdf](http://www.cna.pt/arquivo/manuais/identificacaoanimal_inesamaro2007.pdf), 2007. Acedido a 5/3/2013.
- [31] AJAP/AgriCiência. Gestão da empresa agrícola no século xxi. manual iii. tecnologias de informação e comunicação na gestão da empresa agrícola. [Online] Disponível em: [http://ajap.pt/site/downloads/colecao\\_gestao/MANUAL\\_III.pdf](http://ajap.pt/site/downloads/colecao_gestao/MANUAL_III.pdf), 2007. Acedido a 5/3/2013.
- [32] Manuel Ovelheiro. Estudo de casos de estudo de boas práticas de gestão de explorações agrícolas. [Online] Disponível em: [http://www2.spi.pt/agrovalorizacao/docs/Manual\\_VIII.pdf](http://www2.spi.pt/agrovalorizacao/docs/Manual_VIII.pdf), 2005. Acedido a 15/2/2013.
- [33] Ordenha manual. [Online] Disponível em: <http://tvcentrooeste.com/pesquisa-aponta-que-82-da-ordenha-feita-em-mt-e-manual/>. Acedido a 15/3/2013.
- [34] Harker. [Online] Disponível em: <http://www.harker.com.pt/index.asp>. Acedido a 15/3/2013.
- [35] D.C Adams; P.O. Currie; B.W. Knapp; T. Mauney; D. Richardson. An automated range-animal data acquisition system. *Journal of Range Management*, (40), May 1987.
- [36] S. C. Martin; K.K. Barnes; L. Bashford. A step toward automatic weighing of range cattle. *Journal of Range Management*, (20):91–94, 1967.
- [37] D. M. Anderson; J.A. Landt; P. H. Salazer. *Forage evaluation: concepts and techniques*, chapter Eletronic weighing, identification and subdermal body temperature sensing of range livestock, pages 313–328. CSIRO, Melbourne, Australia, j.l. wheeler; r. d. muchrie (eds.) edition, 1981.
- [38] Fz agrogestão - consultoria em meio rural. [Online] Disponível em: <http://agrogestao.com/>. Acedido a 4/4/2013.

- [39] Isagri. [Online] Disponível em: <http://www.isagri.pt/Accueil/Accueil.aspx>. Acedido a 4/4/2013.
- [40] Softimbra - agroinformática. [Online] Disponível em: <http://www.softimbra.pt/home/>. Acedido a 4/4/2013.
- [41] Agriciência - consultores de engenharia. [Online] Disponível em: <http://www.agriciencia.com/>. Acedido a 4/4/2013.
- [42] Pecplus - pecuária de precisão. [Online] Disponível em: <http://www.pec-plus.com/>. Acedido a 4/4/2013.
- [43] Ruralbit - tecnologia ao serviço do mundo rural. [Online] Disponível em: <http://www.ruralbit.pt/>. Acedido a 4/4/2013.
- [44] Allflex. [Online] Disponível em: <http://www.allflex.com.au>. Acedido a 4/10/2013.
- [45] Animalltag. [Online] Disponível em: <http://www.animalltag.com.br/>. Acedido a 4/10/2013.
- [46] Agrident. [Online] Disponível em: <http://www.agrident.com>. Acedido a 4/10/2013.
- [47] Royal tag - animal division. [Online] Disponível em: <http://www.royaltag-animaldivision.com>. Acedido a 4/10/2013.
- [48] Texas trading. [Online] Disponível em: <http://www.texas-trading.com/index.html>. Acedido a 4/10/2013.
- [49] Gallagher. [Online] Disponível em: [http://www.gallagher.com.au/weigh\\_systems.aspx](http://www.gallagher.com.au/weigh_systems.aspx). Acedido a 4/10/2013.
- [50] Animalltag. [Online] Disponível em: <http://digi-star.com/home.php>. Acedido a 4/10/2013.
- [51] Toledo brasil. [Online] Disponível em: <http://www.toledobrasil.com.br/solucao/agronegocio/agropecuaria/balancas-para-pesar-animais>. Acedido a 4/10/2013.
- [52] Coimma brasil. [Online] Disponível em: <http://www.coimma.com.br>. Acedido a 4/10/2013.
- [53] Ricardo Manuel Dias Antunes. *Sistema de Monitorização de Comportamento Animal - O Ciclo Reprodutivo*. Master's thesis, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2007.
- [54] Abdul Samad; Prashant Murdeshwar; Zohaib Hameed. *High-credibility RFID-based animal data recording system suitable for small-holding rural dairy farmers. Computers and Electronics in Agriculture*, (73):2013–218, 2010.

- [55] Jianze Li; Junlong Fang; Yongcun Fan; Changli Zhang. *Design on the Monitoring System of Physical Characteristics of Dairy Cattle Based on Zigbee Technology*. Northeast Agricultural University - China.
- [56] Zaiqiong Wang; Zetian Fu; Wei Chen; Jinyou Hu. *A RFID-based Traceability System for Cattle Breeding in China*. 2012. China Agricultural University.
- [57] Hugo Miguel Carvo Gomes. *Construção de um sistema de RFID com fins de localização especiais*. Dissertação de mestrado em engenharia electrónica e telecomunicações, Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática - Universidade de Aveiro, 2007.
- [58] “*RFID Handbook*”. ed. Wiley, 2nd edition edition, 2003.
- [59] Florian Michahelles Patrick Schmitt. Economic impact of rfid report, Abril 2008.
- [60] Identificação por radiofrequência. [Online] Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/RFID>. Acedido a 1/9/2013.
- [61] What are transponder keys. [Online] Disponível em: <http://paxtonlocksmithing.com/blog/2012/02/01/what-are-transponder-keys/>. Acedido a 16/8/2013.
- [62] Etiquetas nano-rfid poderão substituir os códigos de barras. [Online] Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=etiquetas-nano-rfid-codigos-barras&id=010165100408>, 2010. Acedido a 16/8/2013.
- [63] Priority1 Design. Fdx-b animal identification protocol description. [Online] Disponível em: [http://www.priority1design.com.au/fdx-b\\_animal\\_identification\\_protocol.html](http://www.priority1design.com.au/fdx-b_animal_identification_protocol.html). Acedido a 2/9/2013.
- [64] Atmel Corporation. Using ata5577 in animal identification application according to iso11784/85. [Online] Disponível em: <http://www.atmel.com/Images/Atmel-9114-ATAN0086-Using-ATA5577-in-Animal-Identification-Application-Application-Note.pdf>. Acedido a 2/9/2013.
- [65] Sinem Coleri Ergen. “zigbee/ieee 802.15.4 summary”, 2004. Acedido a 5/9/2013.
- [66] José Maurício Santos Pinheiro. As redes com zigbee. [Online] Disponível em: [http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\\_zigbee.php](http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php). Acedido a 2/9/2013.
- [67] SENA. The comparison of wi-fi, bluetooth and zigbee. [Online] Disponível em: <http://www.sena.com/blog/?p=359>. Acedido a 5/9/2013.
- [68] Zigbee alliance. [Online] Disponível em: <http://www.zigbee.org/About/FAQ.aspx>. Acedido a 5/9/2013.
- [69] Tiago Couto Braga. *Monitorização Ambiental em Espaços Florestais com Rede de sensores Sem Fios*. Dissertação de mestrado em engenharia de telecomunicações e redes, Universidade da Madeira, 2010.

- [70] Home rf lite. [Online] Disponível em: <http://www.zigbee.org/Home/SearchResults.aspx?q=Home+RF+Lite>. Acedido a 5/9/2013.
- [71] António Rogério Messias. Controlo remoto e aquisição de dados via xbee/-zigbee(ieee 802.15.4). [Online] Disponível em: [www.rogercom.com](http://www.rogercom.com). Acedido a 2/9/2013.
- [72] Zigbee. [Online] Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>. Acedido a 5/9/2013.
- [73] Redes ad hoc. [Online] Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Redes\\_ad\\_hoc](http://pt.wikipedia.org/wiki/Redes_ad_hoc). Acedido a 5/9/2013.
- [74] Dusan Stevanovic. “zigbee/ieee 802.15.4 standard”. [Online] Disponível em: <http://www.cse.yorku.ca/~dusan/Zigbee-Standard-Talk.pdf>.
- [75] José Paulo Santos. Protocolo de comunicação série eia232 (apontamentos), informática industrial.
- [76] Conector db9. [Online] Disponível em: <http://www.lu1ehr.com.ar/volverCT17.html>. Acedido a 2/9/2013.
- [77] Maxim Integrated. Guidelines for proper wiring of an rs-485 (tia/eia-485-a) network. [Online] Disponível em: <http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/763>, 2001. Acedido a 2/9/2013.
- [78] Thomas Kugelstadt; Texas Instruments. The rs-485 design guide - application report. [Online] Disponível em: <http://www.ti.com/lit/an/s11a272b/s11a272b.pdf>, Maio 2008. Acedido a 5/9/2013.
- [79] José Paulo Santos. Protocolo de comunicação série eia485 (apontamentos), informática industrial.
- [80] Método dos mínimos quadrados. [Online] Disponível em: <http://evunix.uevora.pt/~stadler/FAN-06-07/reglin.pdf>. Acedido a 15/7/2013.
- [81] Walter Kester; ANALOG DEVICES. Bridge circuits. [Online] Disponível em: [http://www.analog.com/static/imported-files/seminars\\_webcasts/49470200sscsect2.PDF](http://www.analog.com/static/imported-files/seminars_webcasts/49470200sscsect2.PDF). Acedido a 20/6/2013.
- [82] Microchip Technology Inc. 8-bit pic microcontrollers. [Online] Disponível em: <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/8bit/>. Acedido a 21/9/2013.
- [83] Microchip Technology Inc. Pic18f4520. [Online] Disponível em: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010297>. Acedido a 10/6/2013.
- [84] ANALOG DEVICES. Adm2484. [Online] Disponível em: <http://www.analog.com/en/interface-isolation/digital-isolators/adm2484e/products/product.html>. Acedido a 10/6/2013.

- [85] Texas Instruments. Max232. [Online] Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>. Acedido a 30/5/2013.
- [86] OLIMEX. Mod-zigbee-uext. [Online] Disponível em: <https://www.olimex.com/Products/Modules/RF/MOD-ZIGBEE-UEXT/>. Acedido a 10/6/2013.
- [87] OLIMEX. Universal extension connector (uext). [Online] Disponível em: <https://www.olimex.com/Products/Modules/UEXT/>. Acedido a 10/6/2013.
- [88] Microchip Technology Inc. Pic18f26k20. [Online] Disponível em: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en026332>. Acedido a 10/6/2013.
- [89] Microchip Technology Inc. Mrf24j40. [Online] Disponível em: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en027752>. Acedido a 10/6/2013.
- [90] Microchip Technology Inc. An1232 - microchip zibee-2006 residential stack protocol. [Online] Disponível em: [http://www.newark.com/pdfs/techarticles/microchip/AN1232A\\_ZigBee2006.pdf](http://www.newark.com/pdfs/techarticles/microchip/AN1232A_ZigBee2006.pdf). Acedido a 10/6/2013.
- [91] José Paulo Santos. Linguagem c (apontamentos), informática industrial.
- [92] Eric Huss. The c library reference guide. [Online] Disponível em: [http://www.acm.uiuc.edu/webmonkeys/book/c\\_guide/](http://www.acm.uiuc.edu/webmonkeys/book/c_guide/), 1997. Acedido a 1/6/2013.
- [93] Microchip Technology Inc. Mplab ide user's guide. [Online] Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/51519a.pdf>. Acedido a 1/6/2013.
- [94] Microchip Technology Inc. Mplab c18 c compiler libraries. [Online] Disponível em: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/mplab\\_c18\\_libraries\\_51297f.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/mplab_c18_libraries_51297f.pdf). Acedido a 1/6/2013.
- [95] Border Software Ltd. Static eid readers. [Online] Disponível em: <http://www.bordersoftware.com/pages/product.asp?category=StaticEIDReaders>. Acedido a 1/6/2013.
- [96] Gestão Agropecuária. Bastão rfid allflex. [Online] Disponível em: <http://loja.gestaoagropecuaria.com.br/bast-o-rfid-allflex.html#>. Acedido a 1/6/2013.
- [97] Priority 1 Design. Rfid reader writer with rs485 interface. [Online] Disponível em: [http://www.priority1design.com.au/shopfront/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=1&products\\_id=35&zenid=0t141922nvi8lu9gk09fh94jn3](http://www.priority1design.com.au/shopfront/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=35&zenid=0t141922nvi8lu9gk09fh94jn3). Acedido a 1/6/2013.
- [98] SICK. W250: Compact photoelectric switch series for a broad range of applications. [Online] Disponível em: <http://www.lpc-uk.com/sick/W250.pdf>. Acedido a 20/6/2013.
- [99] VISHAY Precision Group. Aluminum single-point load cell. [Online] Disponível em: <http://www.vishaypg.com/docs/12002/1004.pdf>. Acedido a 20/6/2013.

- [100] ANALOG DEVICES. Ad623 - single-supply, rail-to-rail, low cost instrumentation amplifier. [Online] Disponível em: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD623.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD623.pdf). Acedido a 20/6/2013.
- [101] MICROSOFT. Visual studio 2012. [Online] Disponível em: <http://msdn.microsoft.com/pt-pt/vstudio>. Acedido a 20/6/2013.
- [102] MICROSOFT. Visual basic. [Online] Disponível em: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/sh9ywfdk.aspx>. Acedido a 20/6/2013.
- [103] José Paulo Santos. Bases de dados (apontamentos), informática industrial.
- [104] MySQL. Mysql. [Online] Disponível em: <http://www.mysql.com/>. Acedido a 20/6/2013.

## Apêndice A

# Método dos Mínimos Quadrados

O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) é uma técnica usada para determinar os parâmetros de uma relação funcional entre duas ou mais grandezas de um fenómeno ou o valor mais provável de uma grandeza medida várias vezes. Este método exige que os erros que afetam as medições sejam aleatórios. Quando os dados experimentais representam uma relação do tipo linear, como representado na figura A.1, a técnica que é usual utilizar-se é a traçagem de uma reta que minimize a soma dos desvios absolutos dos pontos à reta traçada. Porém, os processos analíticos mostram que minimizar a soma dos módulos dos desvios é mais complicado que a soma dos quadrados dos desvios.

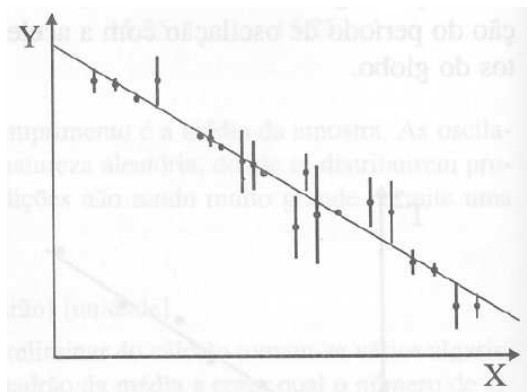


Figura A.1: Representação gráfica da relação entre as grandezas X e Y [80]

Sendo assim, o Método dos Mínimos Quadrados permite calcular o valor esperado para a grandeza Y a partir de N medidas  $y_i$ , admitindo que este é aquele que minimiza a soma dos quadrados das diferenças entre Y e  $y_i$ , ou seja,

$$D = \sum (Y - y_i)^2 \quad (\text{A.1})$$

deve ser mínimo.

A equação da reta que traduz uma relação linear é vulgarmente do tipo:

$$Y = MX + B \quad (\text{A.2})$$

Sendo assim a variável a minimizar é

$$D = \sum (M * x_i + B - y_i)^2 \quad (\text{A.3})$$

cujo mínimo se obtém exigindo que a primeira derivada em ordem aos parâmetros M e B seja nula. Assumindo esta condição, tem-se um sistema de duas equações a duas incógnitas M e B, permitindo o cálculo destas através das expressões A.4, A.5 e A.6.

$$M = \frac{N * \sum_{i=1}^N (x_i * y_i) - \sum_{i=1}^N (x_i) * \sum_{i=1}^N (y_i)}{\Delta} \quad (\text{A.4})$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^N ((x_i)^2) * \sum_{i=1}^N (y_i) - \sum_{i=1}^N (x_i) * \sum_{i=1}^N (x_i * y_i)}{\Delta} \quad (\text{A.5})$$

$$\Delta = N * \sum_{i=1}^N ((x_i)^2) - (\sum_{i=1}^N (x_i))^2 \quad (\text{A.6})$$

## A.1 Caso de estudo: cálculo de peso

No caso desta dissertação, o Método dos Mínimos Quadrados é usado para encontrar uma relação proporcional (a chamada regressão linear) entre os valores médios das conversões analógicas e os valores de peso correspondentes. Este processo já foi anteriormente explicado na secção 4.2.1, juntamente com a figura 4.27a. Na tabela A.1 encontra-se um conjunto de valores recolhidos, a partir da interface gráfica, de conversão analógica e peso. Na figura A.2 encontra-se a representação gráfica dos pares de valores da tabela A.1, assim como a representação gráfica da equação da reta de regressão linear calculada pelo MMQ, a partir dos valores da tabela A.1. O algoritmo do pedido de cálculo de regressão linear está representado na figura 4.27b, assim como este cálculo está traduzido no algoritmo da figura 4.28.

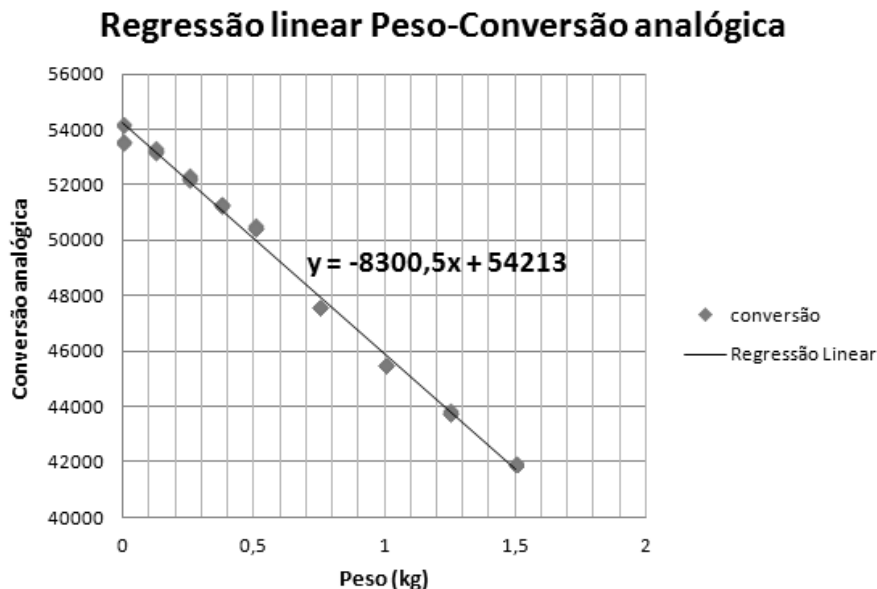


Figura A.2: Representação gráfica da relação entre peso e conversão analógica respetiva



Tabela A.1: Tabela de dados recolhidos para cálculo da regressão linear

$i$	Peso (X)	Conversão (Y)
1	0	53612
2	0	53642
3	0	53583
4	0	54193
5	0	54232
6	0,12	53281
7	0,12	53312
8	0,12	53243
9	0,12	53283
10	0,12	53395
11	0,25	52387
12	0,25	52337
13	0,25	52288
14	0,25	52268
15	0,25	52253
16	0,37	51365
17	0,37	51328
18	0,37	51358
19	0,37	51299
20	0,37	51322
21	0,5	50485
22	0,5	50492
23	0,5	50556
24	0,5	50581
25	0,5	50488
26	0,75	47640
27	0,75	47614
28	0,75	47609
29	0,75	47609
30	0,75	47637
31	1	45539
32	1	45536
33	1	45539
34	1	45544
35	1	45568
36	1,25	43803
37	1,25	43778
38	1,25	43836
39	1,25	43893
40	1,25	43817
41	1,5	41964
42	1,5	41983
43	1,5	41989
44	1,5	41957
45	1,5	41939



## Apêndice B

# Esquemas elétricos

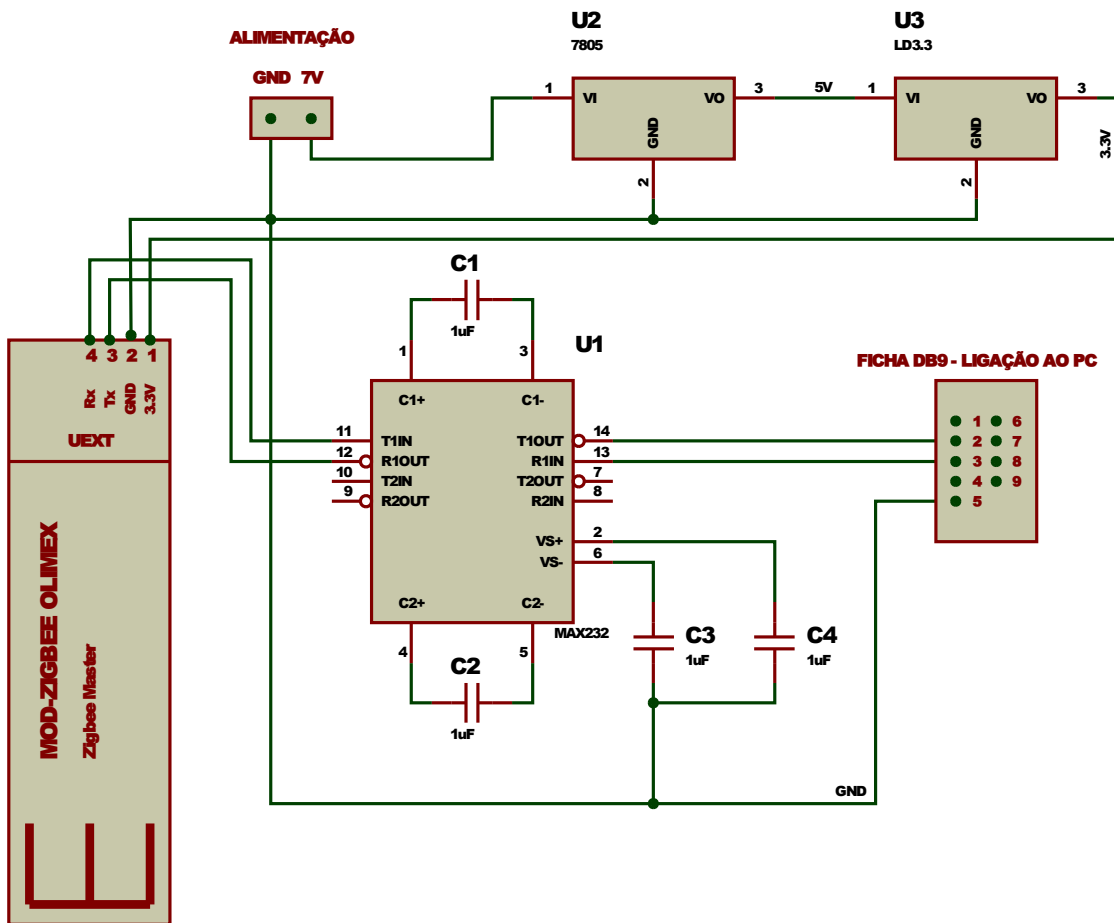


Figura B.1: Esquema elétrico do “Módulo Comunicação *Wireless (Master)*”

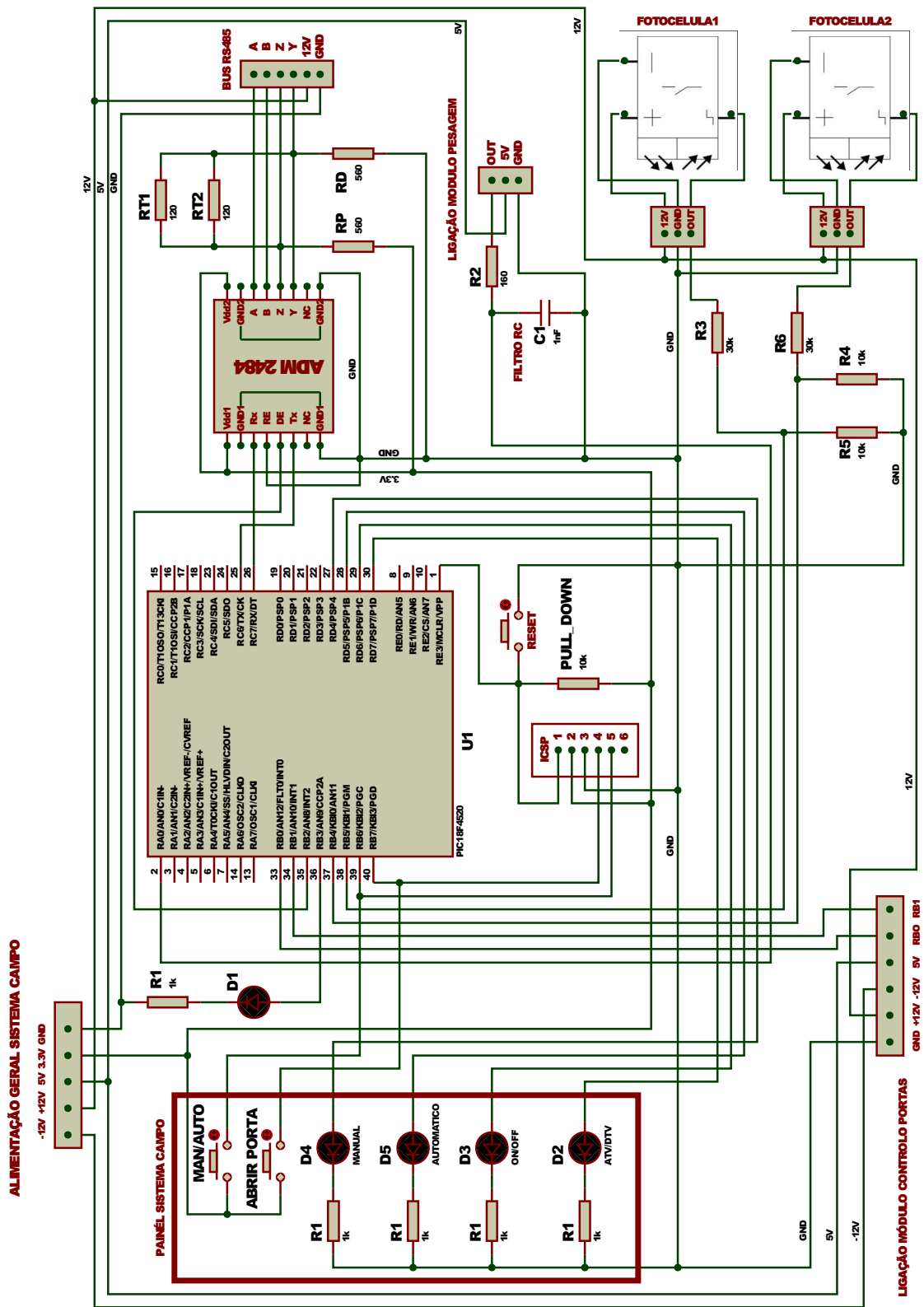


Figura B.2: Esquema elétrico “Módulo Processamento”

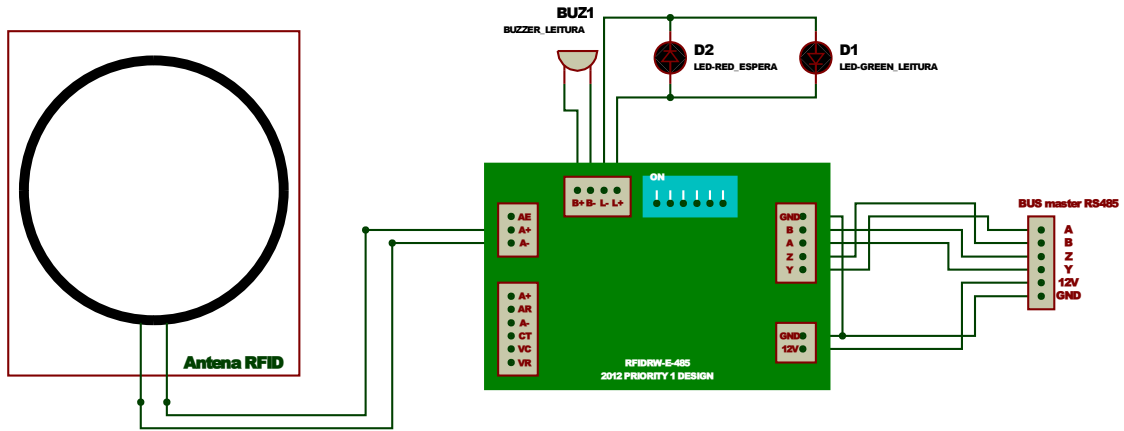


Figura B.3: Esquema elétrico “Módulo Identificação Eletrônica”

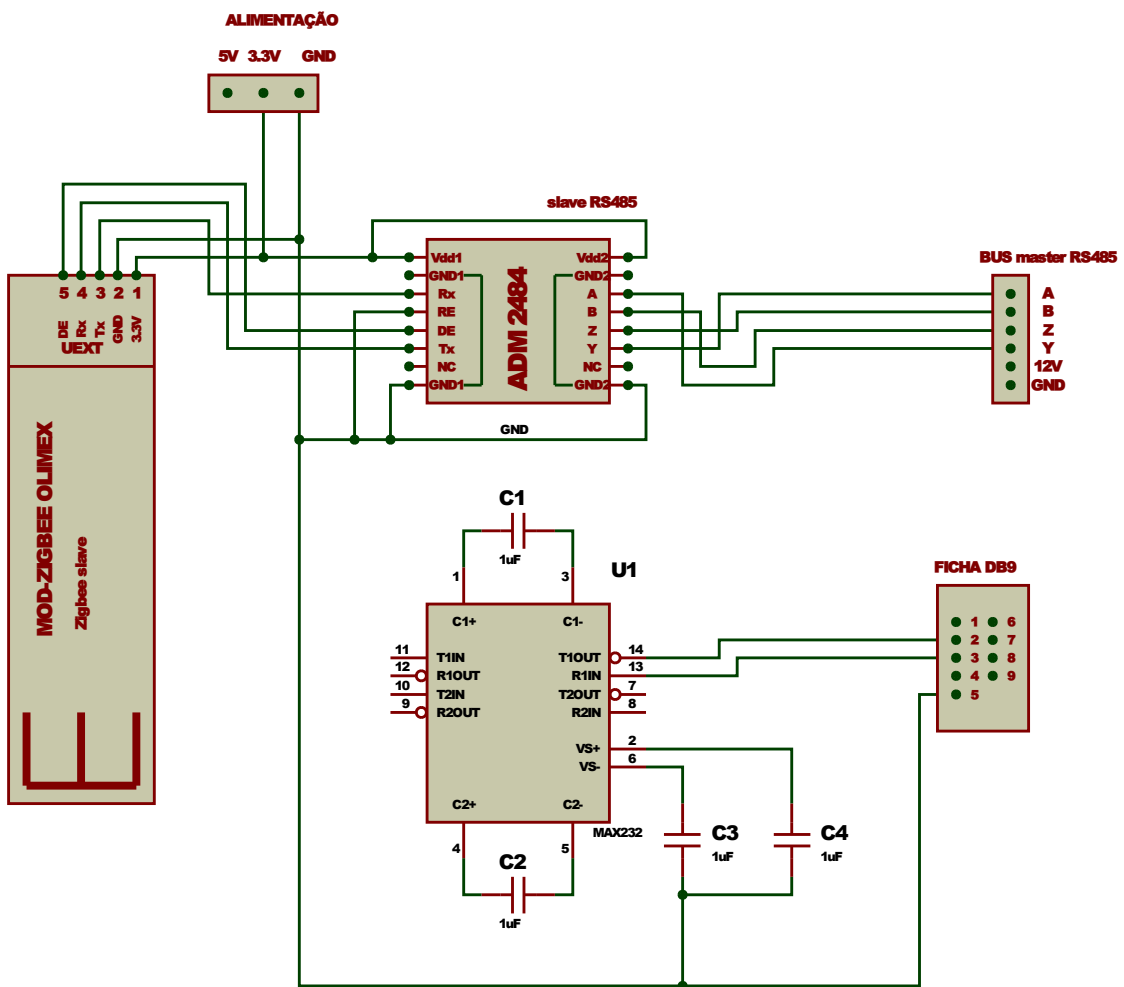


Figura B.4: Esquema elétrico “Módulo Comunicação Wireless (Slave)”

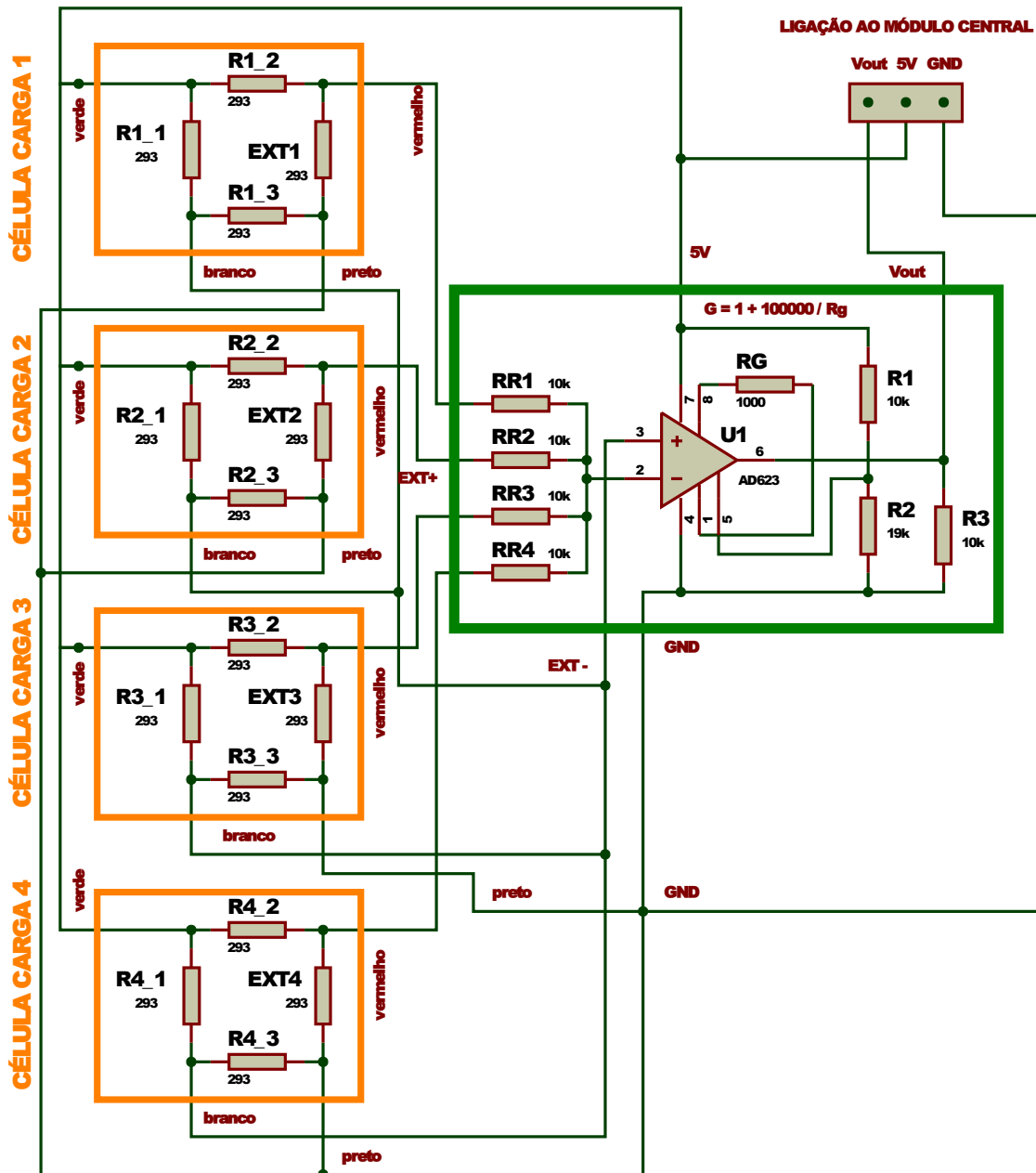


Figura B.5: Esquema elétrico "Módulo Pesagem"

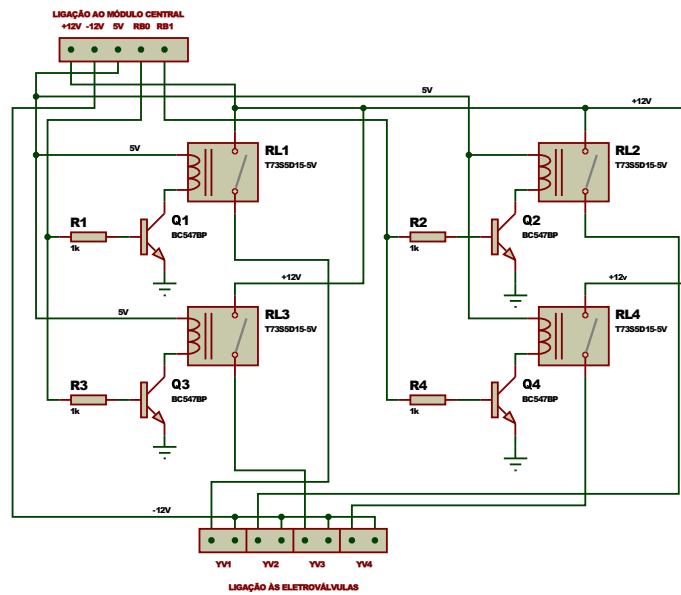


Figura B.6: Esquema elétrico do “Módulo Controlo Portas”

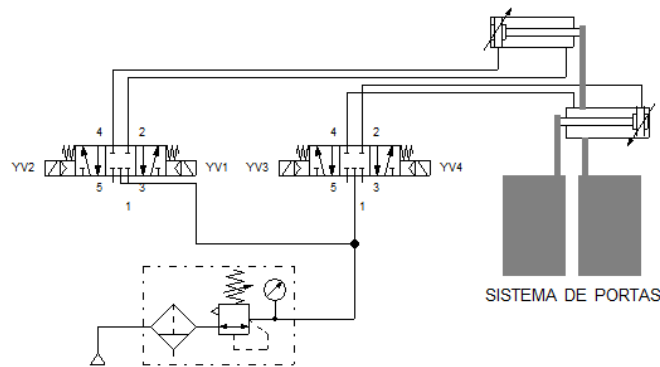


Figura B.7: Esquema do circuito pneumático do “Módulo Controlo Portas”

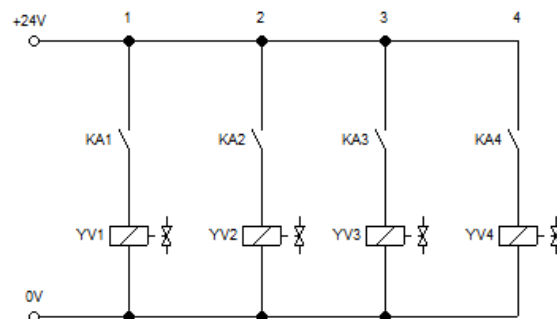


Figura B.8: Esquema elétrico da atuação das eletroválvulas

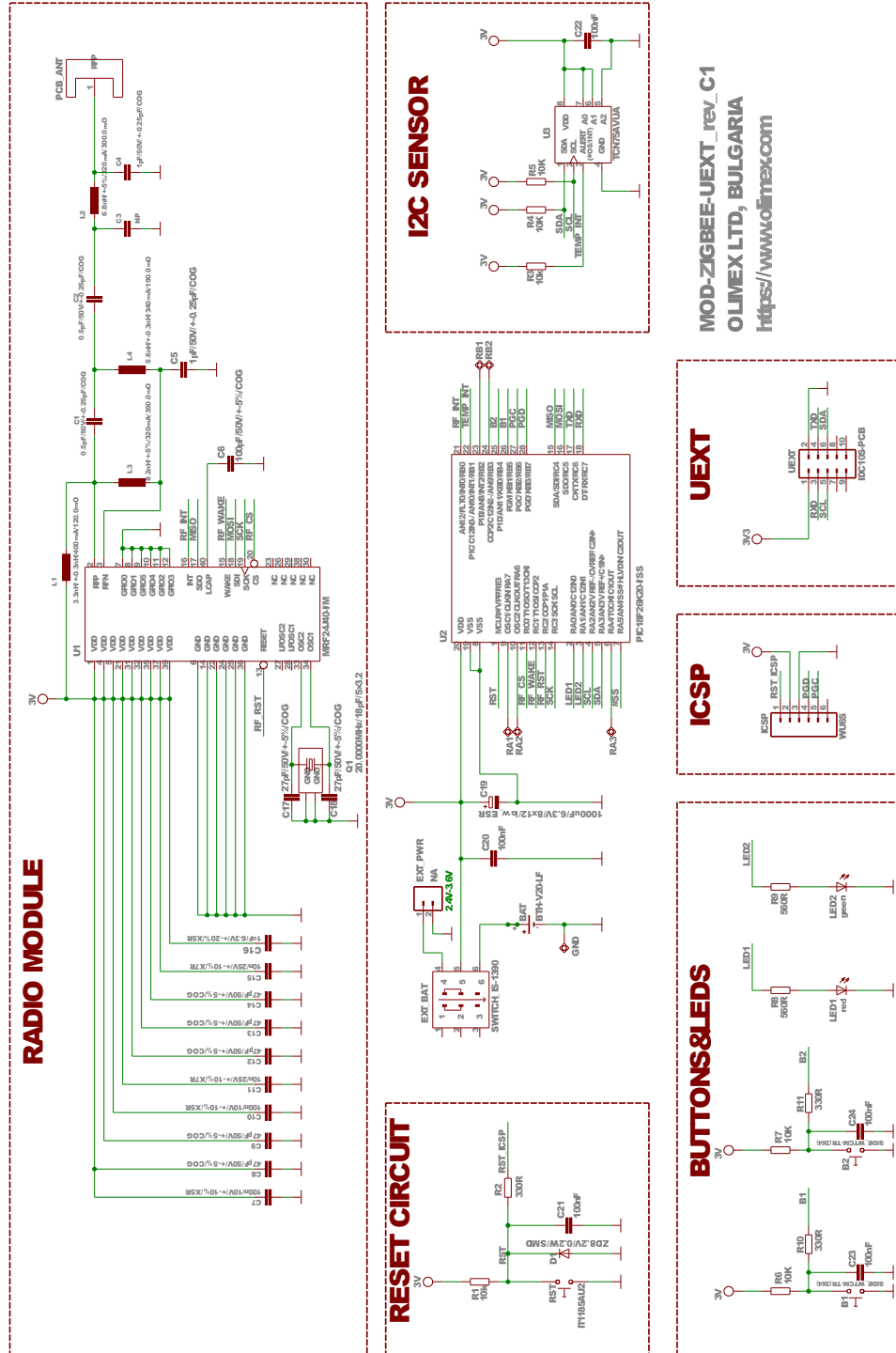


Figura B.9: Esquema elétrico da placa MOD-ZIGBEE-UEXT da OLIMEX [86]



## Apêndice C

# Código exemplo Módulo Comunicação *Wireless (Slave)* *ZigBee*

```
/**
 * @brief Microchip ZigBee-2006 Stack v2.0-2.6
 * Função principal do MCW-S (Módulo Comunicação Wireless - Slave)
 * Inicia o módulo de comunicações UART, configura os pinos necessários, inicia a
 * Stack ZigBee e entra num ciclo infinito onde executa e determina as primitiva
 * s necessárias à Stack ZigBee e as relacionadas com outras aplicações
 *
 * @author Microchip Technology, Inc.
 * @date 08/01/08
 */
void main(void)
{
    // Inicializar a UART para comunicação série
    ConsoleInit();
    // Inicializa o hardware - deve ser feito antes de inicializar o ZigBee
    HardwareInit();
    // Inicializa a Stack ZigBee
    ZigBeeInit();

    /*Inicialização de outras variáveis inerentes à Stack ZigBee*/

    //ciclo de execução infinita
    while (1)
    {
        // Limpa o "Watchdog Timer"
        CLRWDT();
        //Processa a corrente primitiva ZigBee
        ZigBeeTasks( &currentPrimitive );
        // Determina a próxima primitiva ZigBee
        ProcessZigBeePrimitives();
        // executa tarefas não relacionadas com ZigBee
        ProcessNONZigBeeTasks();
    }
}
```

```

/**
 * @brief Resumo da função que executa as primitivas ZigBee. Mostra as porções de código destinadas às primitivas de recepção e envio de mensagens por ZigBee
 *
 * @author Microchip Technology, Inc.
 * @author Rui Pais, DEM – Universidade de Aveiro 2013 (adaptações realizadas para o trabalho de dissertação em causa)
 * @date 08/01/08 — (alterações por Rui Pais a Julho de 2013)
 */
void ProcessZigBeePrimitives(void)
{
    switch (currentPrimitive)
    {
        /*Aqui são executadas as várias primitivas relacionadas com descoberta de nós ZigBee, encaminhamento de mensagens, etc */

        /*******PRIMITIVA RECEÇÃO DE MENSAGENS ZIGBEE*****
        case APSDE_DATA_indication:
        {
            /*Inicialização de variáveis inerentes a esta primitiva*/

            //Atualiza primitiva para NO_PRIMITIVE
            currentPrimitive = NO_PRIMITIVE;
            //Classificação do EndPoint de destino
            switch (params.APSDE_DATA_indication.DstEndpoint)
            {
                case EP_ZDO:
                    /*Executa a recepção de mensagem e as tarefas com esta relacionadas*/

                    //EndPoint usado nesta aplicação (EndPoint GROUP4):
                    case 0x04:
                        { //Classificação do ClusterID usado na aplicação ZigBee
                            switch(clusterID.Val)
                            { //ClusterID usado nesta aplicação:
                                case BUFFER_TEST_REQUEST_CLUSTER
                                    { //recebe o número de bytes da mensagem
                                        BYTE SeqLen = APLGet();
                                        //recebe a mensagem
                                        for (w=0; w<SeqLen; w++)
                                        { MENSAGEM[w]= APLGet();
                                        }
                                        //REDIRECIONA A MENSAGEM PELA UART (RS232)
                                        envio_mensagem(MENSAGEM,SeqLen);

                                        // LED1 comuta quando recebe mensagem do grupo 4
                                        //LED1 é representado pela variável "MESSAGE_INDICATION"
                                        if(params.APSDE_DATA_request.DstEndpoint == GROUP_ID4)
                                        { MESSAGE_INDICATION = !MESSAGE_INDICATION;
                                        }
                                    }
                                }
                            break;
                        } /*case (outros ClusterID)*/
                    }

                /*case (Outros EndPoints de destino)*/
            }
            APLDiscardRx(); //Após processar a mensagem, faz-se o descarte da mensagem anterior para a stack estar pronta para novas recepções
        }
        break;

        case NO_PRIMITIVE:
        {

```



```

/**
 * @brief Rotina de Serviço à Interrupção (RSI). Faz a receção de mensagens vindas
 * do Módulo Processamento (MPR) pela comunicação barramento. Assim recebe a mensa
 * gem pela geração de uma interrupção a cada carácter recebido.
 * Verifica se a mensagem é direcionada para este módulo (MCW-S) e verifica a confo
 * rmidade do número de slave atribuído. Ao receber uma mensagem válida na totali
 * dade, guarda-a em memória e dá autorização para o seu reenvio via wireless (Zi
 * gBee).
 *
 * @author Rui Pais, DEM – Universidade de Aveiro 2013
 * @date Julho de 2013
 */
void UserInterruptHandler(void)
{
    //INTERRUPÇÃO NA RECEÇÃO DE MENSAGENS POR PORTA SÉRIE (UART)
    if(PIR1bits.RCIF)
    {
        if(RCSTAbits.FERR==1 || RCSTAbits.OERR==1) //VERIFICAÇÃO DE MENSAGEM COM ERROS
        {
            RCSTAbits.CREN=0; //Overrun error (pode ser limpo ao limpar o bit CREN)
            buffer_lixo=RCREG; //limpar "Framing error"
            RCSTAbits.CREN=1;
        }
        else
        { //receção de mensagens sem erros
            if (x==0)
            { //1º carácter recebido
                primeiro=RCREG;
                //Mensagens via UART não começadas por 'U' são dirigidas a este dispositivo (
                MCW-S)
                if (primeiro != 'U')
                { SIZE_RECEIVED=primeiro; //1º carácter diz o número de caracteres da mensagem
                    tipo=1;
                }
                else //recebe as mensagens que são para o Módulo Identificação Eletrónica (MI
                E) (começadas por 'U')
                { tipo=2;
                }
            }
        }

        //Caracteres seguintes direcionados ao MCW-S
        if (x>0 && tipo==1)
        {
            RECEPCAO[x-1]=RCREG;
            if (x==1 || x==2 || x==3) //receção do slave de destino (MCW-S), para verifica
            ção
            { SLAVE[0]=RECEPCAO[0];
              SLAVE[1]=RECEPCAO[1];
              SLAVE[2]=RECEPCAO[2];
            }
            if (x>=3 && SLAVE[0]=='U' && SLAVE[1]=='2' && SLAVE[2]=='2') //Verificação do
            slave
            { if (x==SIZE_RECEIVED) //Se chegar ao final da mensagem
                { contar=x; //"contar" é o numero de caracteres da mensagem
                  ENVIO_AUTORIZADO = 0x01; //Autoriza a mensagem
                  SIZE_RECEIVED=0x00; //Limpa a variável auxiliar de tamanho de mensagem receb
                  ida
                  x=-1; //regresso ao inicio de receção de mensagem
                }
            }
        }
        else if (x>=3) //Se o slave não corresponder ao estipulado (U22) para o MCW-S,
        a mensagem é ignorada
        { x=-1;
          buffer_lixo=RCREG;
        }
    }
}

```

```

    }
    else if (x>0 && tipo==2) //Mensagens que são dirigidas ao MIE são ignoradas
    { buffer_lixo=RCREG;
      if (buffer_lixo==13) //mensagens que são para o MIE acabam todas com caracter
        13 (CR)
        { x=-1; //Inicia a receção de mensagem
          }
        }
    }
    x++; //Incremento na receção dos caracteres da mensagem
  }
}
}

/**
 * @brief Função de envio de mensagens por porta série (UART). Função dedicada para
 * o reenvio pela UART das mensagens recebidas por ZigBee, para o Módulo Process
 * amento (MPr).
 *
 * @author Rui Pais, DEM – Universidade de Aveiro 2013
 * @date Julho de 2013
 *
 * @param msg – Mensagem para ser enviada
 * @param size – Tamanho da mensagem a ser enviada
 *
 */
void envio_mensagem( char *msg, int size)
{ int i; long int u; //variáveis necessárias
  LATAbits.LATA2=1; //Ativação do pino que permite o envio de mensagens para o
  barramento (Ativa o pino DE do conversor ADM2484 que converte RS232 para R
  S485 e vice-versa)

  for(u=0; u<0xFFFF;u++) {NOP();} //Pausa para que a ativação do envio seja totalme
  nte realizada no ADM2484

  for (i=0;i<size;i++) //Envio da mensagem
  { while(!PIR1bits.TXIF); // Espera nesta instrução até que o ultimo bit seja env
  iado. Depois vem a '1' quando acaba de enviar
    PIR1bits.TXIF=0; //limpar a flag para novo envio
    TXREG=msg[i]; //Envia cada caracter da mensagem
  }
  for(u=0; u<0xFFFF;u++) {NOP();} //Pausa para que o envio da mensagem seja feito n
  a totalidade
  LATAbits.LATA2=0; //desativação do envio de mensagens para o barramento
}

```



## Apêndice D

### Desenhos da estrutura do SC





D

C

B

A

4

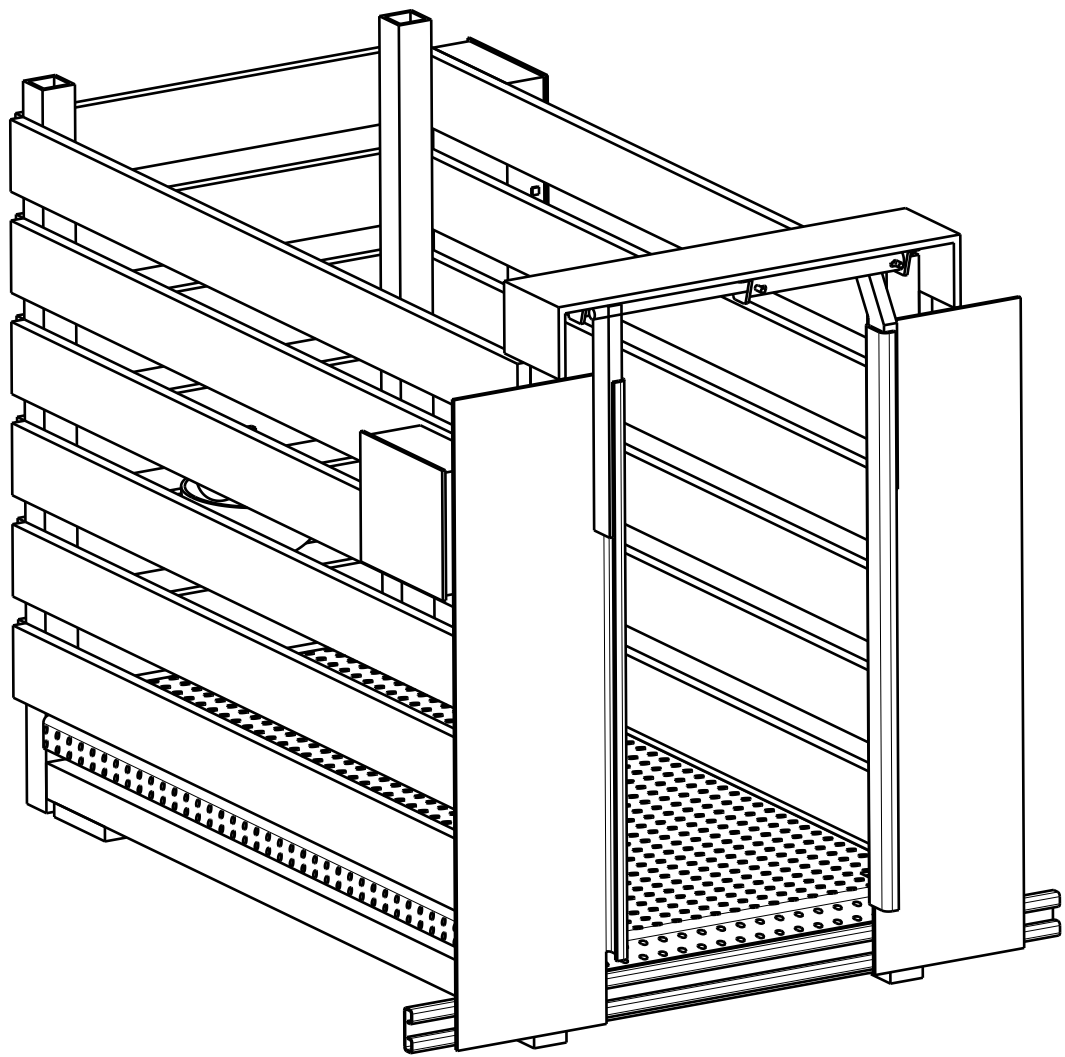
4

3

3

2

2



VISTA ISOMÉTRICA

Dissertação de Mestrado.  
 Departamento Engenharia  
 Mecânica 2013

UNIVERSIDADE DE AVEIRO

DRAWING TITLE

SISTEMA CAMPO - VISTA ISOMÉTRICA

DRAWN BY  
**RUI PAIS**

DATE  
 18-10-2013

CHECKED BY

DATE

SIZE  
A4

DRAWING NUMBER  
1

REV

DESIGNED BY

DATE

SCALE 1:10

SHEET 1/1

D

A

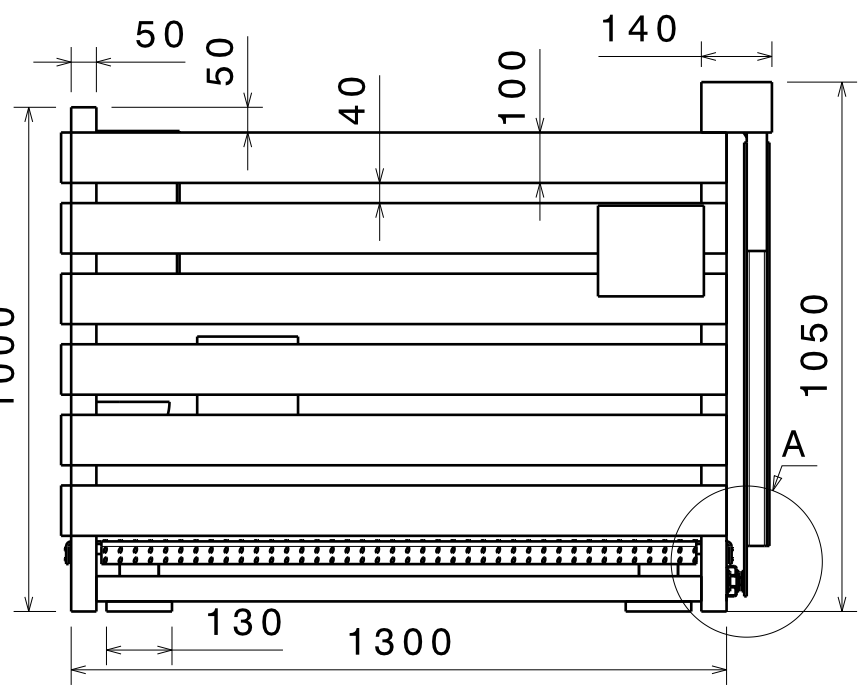
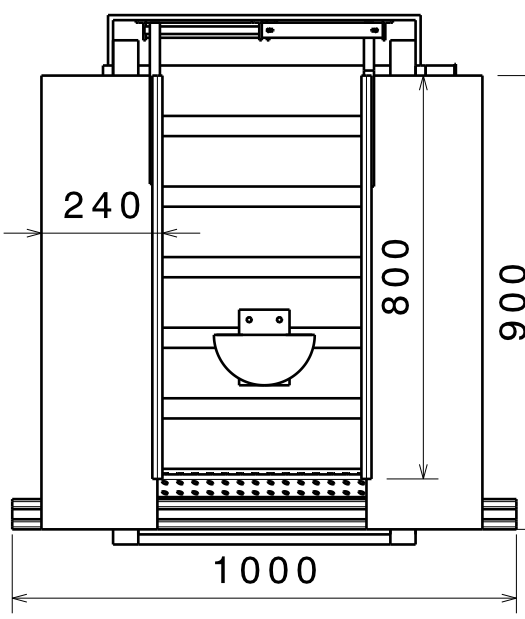
1

1



D C B A

4



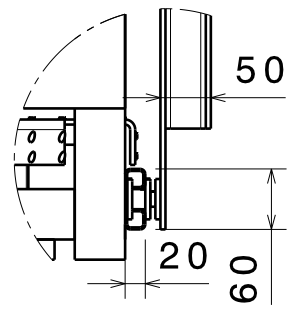
4

3

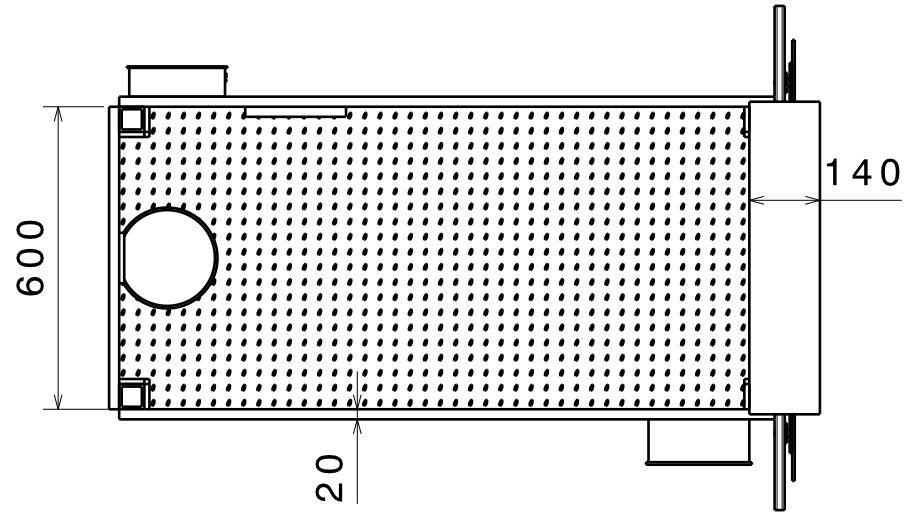
3

2

2



Detalhe A  
escala: 2:15



Dissertação de mestrado.  
Departamento de  
Engenharia Mecânica 2013

# UNIVERSIDADE DE AVEIRO

DRAWING TITLE

**SISTEMA CAMPO - VISTAS PRINCIPAIS**

DRAWN BY <b>Rui Pais</b>	DATE 18-10-2013
CHECKED BY	DATE
DESIGNED BY	DATE

SIZE <b>A4</b>	DRAWING NUMBER <b>2</b>	REV
SCALE <b>1:15</b>	SHEET <b>1/1</b>	

1

D A



D

C

B

A

4

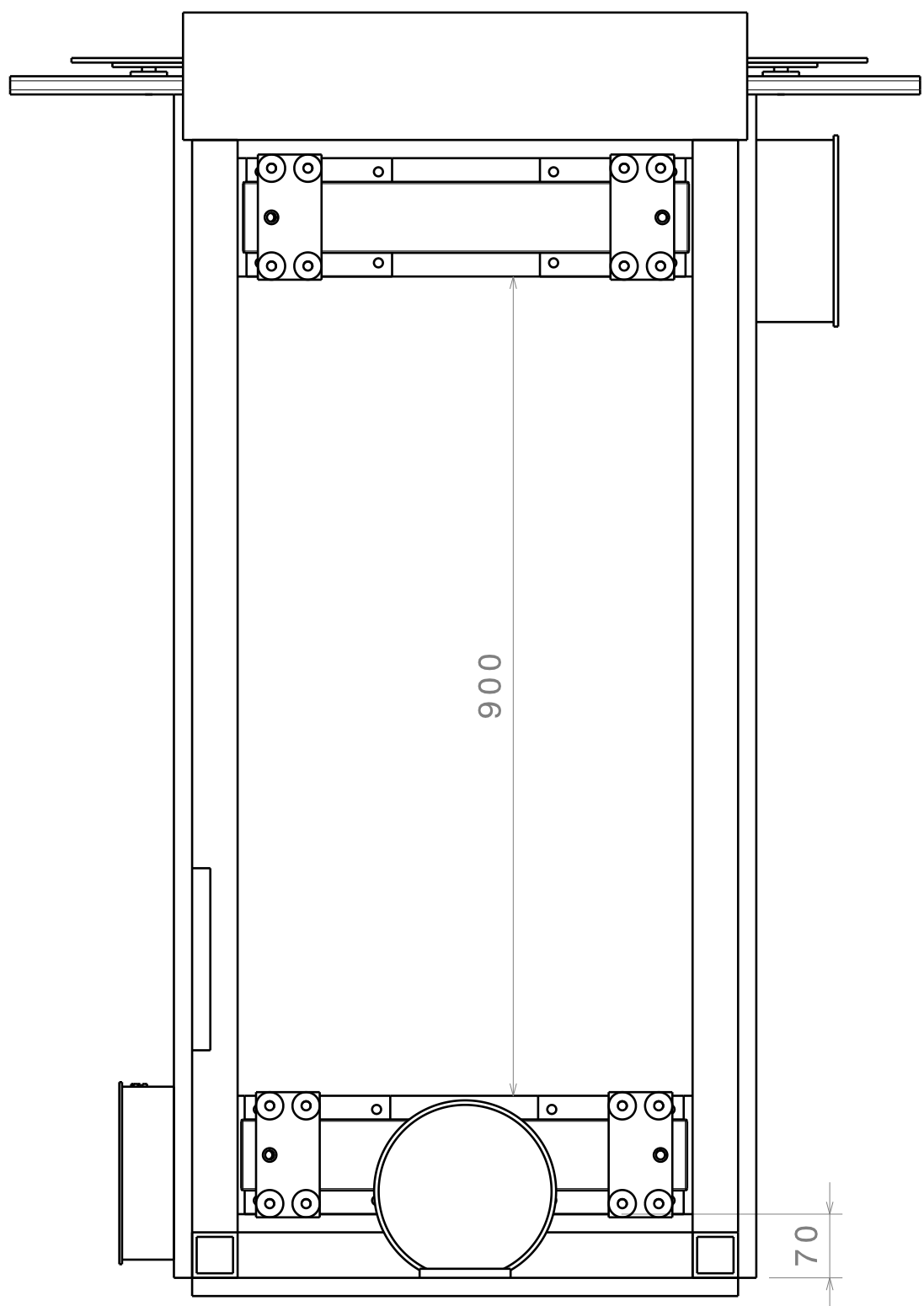
4

3

3

2

2



Dissertação de mestrado.  
 Departamento de Engenharia  
 Mecânica 2013

**UNIVERSIDADE DE AVEIRO**

DRAWING TITLE

**LOCALIZAÇÃO BARRAS PESAGEM**

DRAWN BY  
**RUI PAIS**

DATE  
 18-10-2013

CHECKED BY

DATE

SIZE  
**A4**

DRAWING NUMBER

**3**

REV

DESIGNED BY

DATE

SCALE **1:7**

SHEET **1/1**

D

A

1

1



D

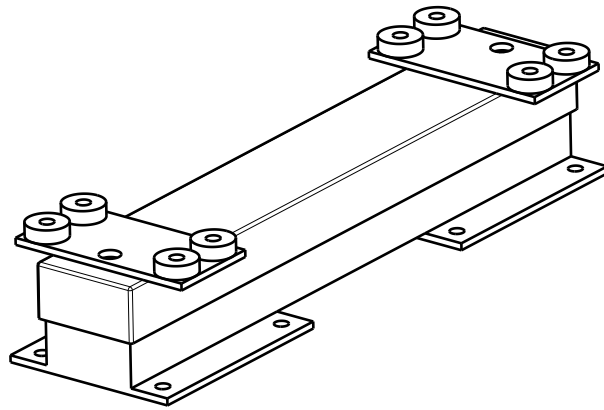
C

B

A

4

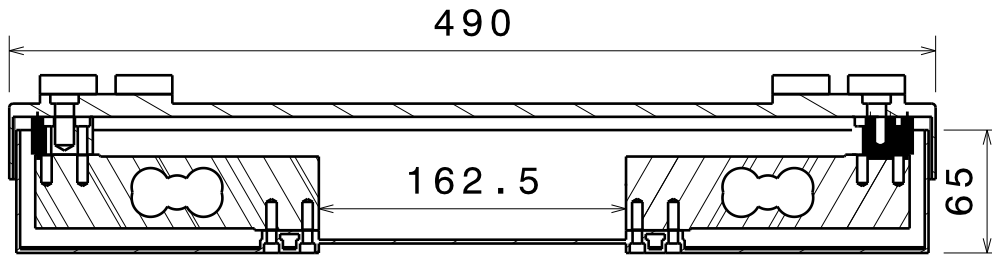
4



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA 1:5

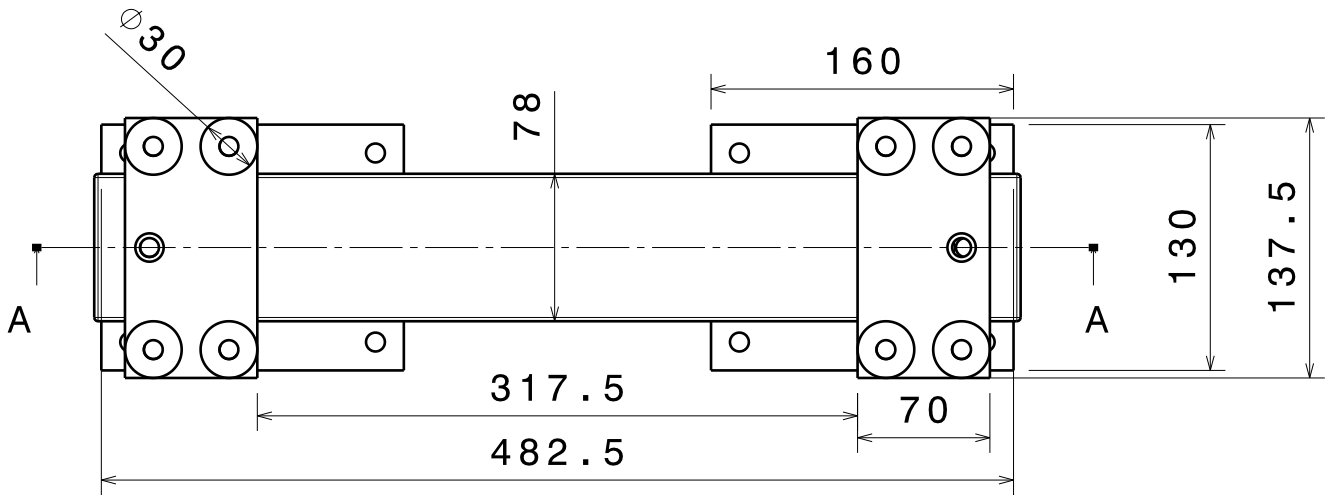
3

3



2

2



Dissertação de mestrado.  
Departamento de Engenharia  
Mecânica 2013

UNIVERSIDADE DE AVEIRO

DRAWING TITLE

DRAWN BY  
**RUI PAIS**

DATE  
19-10-2013

BARRA DE PESAGEM

CHECKED BY

DATE

SIZE  
A4

DRAWING NUMBER

4

REV

DESIGNED BY

DATE

SCALE 1:4

SHEET 1/1

D

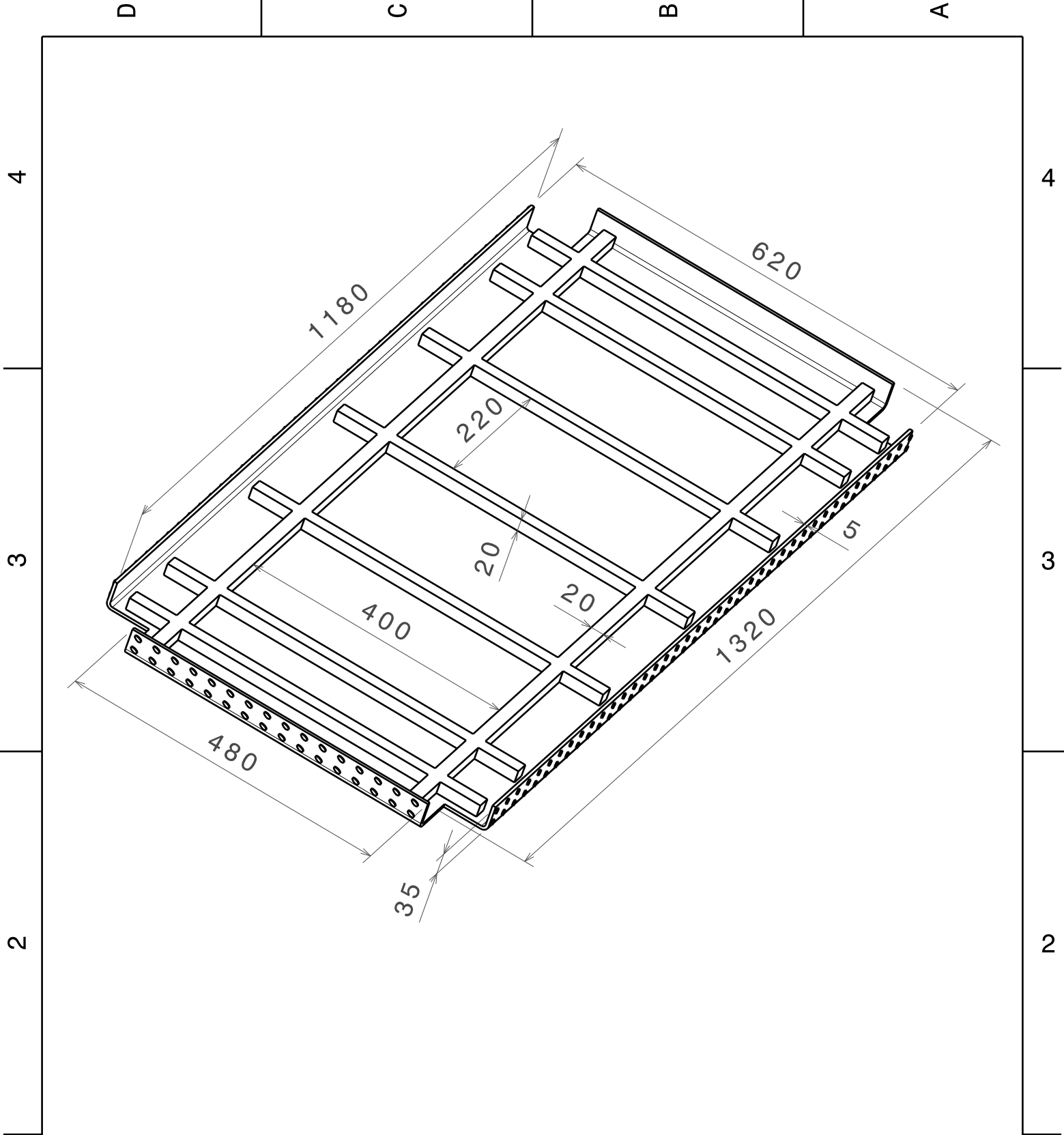
A

1

1







Dissertação de mestrado.  
 Departamento de Engenharia  
 Mecânica 2013

# UNIVERSIDADE DE AVEIRO

DRAWING TITLE

**ESTRADO SISTEMA CAMPO**

DRAWN BY  
**RUI PAIS**

DATE  
18-10-2013

CHECKED BY

DATE

SIZE  
**A4**

DRAWING NUMBER  
**5**

REV

DESIGNED BY

DATE

SCALE **1:7**

SHEET **1/1**

D

A