



**DANIEL OLIVEIRA  
DA SILVA**

**SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO  
SEM FIOS PARA PARQUEAMENTO**

**WIRELESS PARKING LOT MONITORING AND  
GUIDANCE SYSTEM**





**DANIEL OLIVEIRA  
DA SILVA**

**SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO  
SEM FIOS PARA PARQUEAMENTO**

**WIRELESS PARKING LOT MONITORING AND  
GUIDANCE SYSTEM**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Doutor José Alberto Gouveia Fonseca, Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro



PROGRAMA OPERACIONAL FACTORES DE COMPETITIVIDADE



QUADRO  
DE REFERÊNCIA  
ESTRATÉGICO  
NACIONAL  
PORTUGAL 2007.2013



Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



Aos meus pais, à minha família, à minha namorada e a todos os  
que me apoiaram neste percurso académico



## **o júri**

Presidente

**Prof. Doutor Alexandre Manuel Moutela Nunes Da Mota**

Professor Associado do Departamento de Engenharia Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro

**Prof. José António Tenreiro Machado**

Professor Coordenador com Agregação do Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto / Instituto Politécnico do Porto

**Prof. Doutor José Alberto Gouveia Fonseca**

Professor Associado do Departamento de Engenharia Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro

**Mestre Paulo Jorge de Campos Bartolomeu**

Professor Assistente da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda, Universidade de Aveiro





## **agradecimentos**

Esta dissertação marca o fim de uma grande etapa, a qual consegui ultrapassar com sucesso graças a todo o apoio que me foi dado. Como tal não posso deixar de agradecer a todos os que me acompanharam e motivaram neste percurso académico.

Ao professor Alexandre Mota que confiou nas minhas capacidades técnicas e me conduziu a uma escolha acertada encaminhando-me para o professor José Alberto Fonseca para realizar trabalho na área que mais gozo me dá e na qual trabalho atualmente.

Ao meu orientador, professor José Alberto Fonseca, que também sempre confiou em mim para cargos que nunca pensei em atingir nesta fase, fonte de grande incentivo para o desenvolvimento deste projeto. E um grande obrigado pelo apoio moral e técnico que me deu no decorrer deste trabalho.

Ao meu co-orientador, professor Paulo Bartolomeu, pela constante disponibilidade e apoio técnico e moral dado na realização deste projeto.

Aos meus pais um grande voto de agradecimento por me terem dado a oportunidade de seguir estudo na área que mais me agrada. Por me terem sempre incentivado a ser boa pessoa e um bom estudante, fatores estes que me permitiram atingir grandes objetivos no meio académico e pessoal. Mãe e Pai, espero que no futuro consiga manter-vos orgulhosos.

À minha namorada que esteve sempre ao meu lado e me aturou nas fases de muito trabalho.

Aos meus colegas e amigos que sempre me incentivaram e apoiaram durante todo o percurso académico.

Por último, gostaria de agradecer à FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, pela oportunidade e todo o apoio que me deu com o projeto DHT-Mesh.



**palavras-chave**

Protocolo, camada protocolar, microcontrolador, comunicação sem fios, rede, IEEE802.15.4, sensor, baixo consumo energético.

**resumo**

Os sistemas de orientação de veículos em parques de estacionamento são uma boa solução para diminuir os gastos energéticos desses veículos de forma eficaz.

Encontrar um lugar vago pode ser uma tarefa demorada em grandes parques de estacionamento. Existem atualmente sistemas que auxiliam os condutores, encaminhando-os diretamente para zonas em que há certeza de existência de lugares livres.

Este trabalho descreve a implementação de uma rede de sensores sem fios (WSN) para integrar esses sistemas, permitindo o desenvolvimento de soluções de baixo custo, devido à simplicidade de instalação quando comparada com redes cabladas. Foi utilizado o protocolo IEEE 802.15.4 para as comunicações sem fios (camada MAC e PHY) e as restantes camadas do modelo OSI foram desenvolvidas especificamente para esta solução. Para a deteção de veículos foi utilizado um sensor magnético, o qual permite a instalação em qualquer ambiente (sensor estanque).

Dos testes realizados em laboratório e no teste piloto que se encontra a decorrer em lugares de cargas e descargas em Lisboa têm sido obtidos bons resultados. Os sensores continuam operacionais ao fim de mais de um mês e a comunicação tem sido mantida com muito elevada disponibilidade.

Com este trabalho verificou-se que as redes de sensores sem fios são uma boa solução alternativa aos sistemas cablados, podendo ter bastante longevidade (pelo menos 5 anos), mesmo dependendo apenas de uma bateria não recarregável.



**keywords**

Protocol, protocol layer, microcontroller, wireless communication, network, IEEE802.15.4, sensor, low power.

**abstract**

Parking lot guidance systems are an excellent way to effectively reduce the energetic needs of automobiles that are looking for a free parking spot.

Finding a free parking spot can be a challenging task in large parking facilities. Nowadays there are systems that improve the parking experience by conducting the driver directly to free spots, thus reducing both search time and distance.

This thesis describes the implementation of one of such systems using a wireless sensor network (WSN), which enables the reduction of installation costs when compared to similar wired systems. This is possible due to installation simplicity. The IEEE 802.15.4 protocol (PHY and MAC layers) was used as the foundation of this project. All the other layers were developed specifically for this application. Magnetic sensors were used to detect vehicle presence, which allows outdoor operation since these sensors can be placed on a watertight box.

Laboratory tests were conducted and there is an ongoing pilot test still being deployed in Lisbon. All tests have given positive feedback about the system so far. The sensors remain operational after more than a month and the communications maintain a high availability rate.

This project shows that wireless sensor networks are a good alternative to wired systems as they are much more flexible, cheaper to install and may last up to 5 years without maintenance and on battery power.



# Índice

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação .....	2
1.2 Requisitos .....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Estrutura da dissertação .....	4
<b>2. Estado da Arte .....</b>	<b>5</b>
2.1 Introdução .....	5
2.2 Soluções Académicas e Comerciais.....	5
2.3 Análise comercial das soluções existentes .....	10
<b>3. Arquitetura do sistema - Wi-Park .....</b>	<b>13</b>
3.1 Funcionalidades.....	13
3.2 Funcionamento global.....	14
3.3 Arquitetura.....	16
3.3.1 Elementos do sistema.....	17
3.4 Operação .....	18
3.4.1 Modelo de comunicação.....	18
3.4.2 Tipos de tramas .....	18
3.4.3 Endereçamento .....	20
3.4.1 Instalação .....	22
3.4.2 Modos de funcionamento .....	22
<b>4. Desenvolvimento.....</b>	<b>27</b>
4.1 Ponto de partida.....	27
4.2 Software .....	28
4.2.1 Programa de teste e demonstração .....	29
4.2.2 Ferramenta de Configuração/ <i>Debug</i> .....	31
4.2.3 Firmware.....	32
4.3 Hardware .....	32
4.3.1 Detetor de Veículo.....	32
4.3.2 Sinalizador de disponibilidade .....	34

4.3.3 <i>Datasink / Gateway</i> .....	36
4.4 Protocolos de comunicação.....	37
4.4.1 Servidor <-> Gateway sobre RS-485 .....	38
4.4.2 Rede de sensores sobre IEEE 802.15.4 .....	41
4.4.3 <i>Datasink</i> -> Info display sobre RS-232 .....	43
<b>5. Ensaio experimentais e seleção de bateria .....</b>	<b>47</b>
5.1 Consumo energético.....	47
5.1.1 Seleção da bateria.....	49
5.2 Ensaio de alcance da rede .....	51
5.3 Teste Piloto .....	52
<b>6. Conclusão e trabalho futuro .....</b>	<b>55</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>57</b>



# Lista de Figuras

Figura 1 - Aplicação de uma rede de sensores sem fios num parque de estacionamento .....	1
Figura 2 - Sensor de ultrassons da Intelimotion [2].....	6
Figura 3 - Sensor sem fios da Intelligent Devices [9] .....	6
Figura 4 - Estrutura hierárquica da rede da Siemens [13].....	7
Figura 5 - Sensor com câmara da ParkAssist [14].....	8
Figura 6 - Rede de Sensores do Sistema PGS [11].....	8
Figura 7 - Demonstrador SPARK [12] .....	9
Figura 8 - Colocação do sensor e do sinalizador.....	14
Figura 9 - Arquitetura de rede .....	16
Figura 10 - Endereçamento dos Datasinks / Gateways .....	20
Figura 11 - Endereçamento dos Detetores de veículo / Sinalizadores.....	21
Figura 12 - Mapeamento da rede (exemplo).....	21
Figura 13 - Diagrama temporal (janelas de escuta do detetor de veículo) .....	23
Figura 14 - Funcionamento em modo ativo (Detetor de Veículo) .....	24
Figura 15 - Funcionamento em modo <i>doze</i> (Detetor de Veículo) .....	25
Figura 16 - Protótipo de detetor de veículo (V1.0) .....	27
Figura 17 - Microchip MPLABX logo .....	28
Figura 18 - Dados dos sensores .....	29
Figura 19 - Simulador .....	30
Figura 20 - Ferramenta de configuração/ <i>debug</i> .....	31
Figura 21 - Placa genérica de 802.15.4 – uMRFs.....	31
Figura 22 - Eixos do sensor magnético .....	33
Figura 23 - Nova versão do detetor de veículo.....	33
Figura 24 - Diagrama de Blocos do Detetor de Veículo .....	34
Figura 25 – Sinalizador de disponibilidade .....	34
Figura 26 - Diagrama de blocos do sinalizador .....	35
Figura 27 - <i>Datasink / Gateway</i> .....	36
Figura 28 - Diagrama de blocos do Datasink / Gateway.....	37
Figura 29 - Estrutura da trama do protocolo sobre RS-485.....	40
Figura 30 - Trama de dados genérica .....	41
Figura 31 - Display de contagem de lugares livres .....	45
Figura 32 - Gráfico do consumo de corrente do sensor .....	48
Figura 33 - Tensão/temperatura em função da corrente a meia carga (SAFT LS 26500) [23] .....	50

Figura 34 - Perfil de funcionamento da bateria (SAFT LS 26500) [23].....	51
Figura 35 – <i>Hotspots</i> em posição estática numa zona habitacional.....	52
Figura 36 - <i>Datasink</i> Solar .....	53
Figura 37 – Detetor de veículo .....	53

# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparativo dos sistemas de orientação em parques de estacionamento .....	9
Tabela 2 - Exemplo de encaminhamento de mensagens .....	22
Tabela 3 - Regra de envio de dados sobre RS-485 .....	41
Tabela 4 - Tramas do protocolo sobre IEEE 802.15.4 .....	42
Tabela 5 - Estrutura das tramas dos painéis .....	44



# Abreviaturas e acrónimos

AMR	-	<i>Anisotropic magnetoresistance</i>
BAT	-	<i>Battery</i>
bps	-	<i>Bits per second</i>
CSMA/CA	-	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
CSV	-	<i>Comma-separated values</i>
DHCP	-	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
EEPROM	-	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EOF	-	<i>End Of Frame</i>
EMEL	-	<i>Empresa Pública Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa</i>
GND	-	<i>Ground</i>
GPRS	-	<i>General Packet Radio Service</i>
ICD	-	<i>In-Circuit Debugger</i>
IDE	-	<i>Integrated Development Environment</i>
IEEE	-	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
I/O	-	<i>Input / Output</i>
ISM band	-	<i>Industrial, Scientific and Medical radio band</i>
Kbps	-	<i>Kilobits per second</i>
KHz	-	<i>Kilo Hertz</i>
LAN	-	<i>Local Area Network</i>
LNA	-	<i>Low Noise Amplifier</i>
MAC	-	<i>Medium Access Control</i>
MHz	-	<i>Mega Hertz</i>
MIPS	-	<i>Millions of Instructions Per Second</i>
MRF	-	<i>Abreviatura para o módulo MRF24J40</i>
ms	-	<i>Milissegundo</i>
P2P	-	<i>Peer-To-Peer</i>
PA	-	<i>Power Amplifier</i>
PC	-	<i>Personal Computer</i>
PCB	-	<i>Printed Circuit Board</i>
PIC	-	<i>Programmable Interface Controller</i>
PLC	-	<i>Programmable Logic Controller</i>
RAM	-	<i>Random Access Memory</i>
RISC	-	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
ROM	-	<i>Read-Only Memory</i>
RS232	-	<i>Recommended Standard 232</i>
RSI	-	<i>Rotina de Serviço à Interrupção</i>

SPI	-	<i>Serial Peripheral Interface</i>
seg	-	<i>Segundos</i>
TTL	-	<i>Time To Live</i>
UART	-	<i>Universal Asynchronous Receiver and Transmitter</i>
UPS	-	<i>Uninterruptable Power Supply</i>
us	-	<i>Microsegundo</i>
WLAN	-	<i>Wireless Local Area Network</i>
WPAN	-	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WSN	-	<i>Wireless Sensor Network</i>







# 1. Introdução

Nas últimas décadas têm surgido bastantes tecnologias de comunicação sem fios e de baixo consumo que têm dado origem à criação de soluções inovadoras que permitem tornar processos que envolvem gestão energética mais eficientes.

Alguns dos meios de infraestrutura que têm sido usados para este fim são sensores e as redes de sensores sem fios (WSN), os quais permitem de forma bastante flexível monitorizar e atuar sobre diversas aplicações, como é o caso de sistemas de domótica, controlo de processos industriais, eletrónica de consumo, entre outros.

Este trabalho tem como objetivo a criação de uma rede de sensores sem fios (a nível de protocolos de comunicações e plataformas de hardware) que permita monitorizar e orientar veículos em parques de estacionamento.

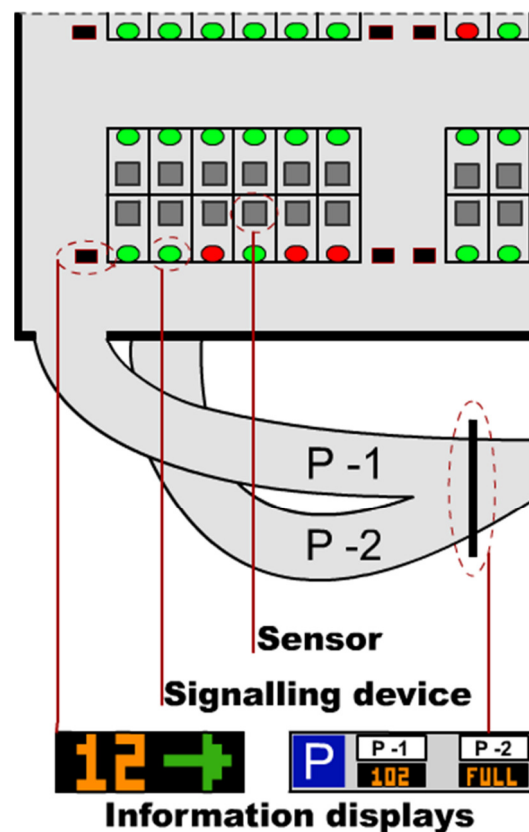


Figura 1 - Aplicação de uma rede de sensores sem fios num parque de estacionamento

# 1.1 Motivação

Nos dias que correm o carro é o meio de transporte de eleição para percorrer curtas e médias distâncias. É também um dos maiores responsáveis pela emissão de gases poluentes (sobretudo de efeito de estufa) para a atmosfera. Como tal é importante criar alternativas ou melhorar o rendimento na utilização dos automóveis por forma a reduzir a marca negra que criam no ar que respiramos.

Quando nos deslocamos a algum centro comercial ou centro de alguma grande cidade geralmente é necessário recorrer a algum parque de estacionamento. Estes costumam ser bastante grandes e têm bastante afluência, pelo que pode ser complicado encontrar um lugar de estacionamento disponível. É comum percorrer vários corredores até se encontrar um lugar disponível. Isto acontece porque todos nós começamos por procurar no mesmo sítio, junto da saída pedonal do parque de estacionamento (acessos ao edifício no caso dos centros comerciais).

Como tal, é possível reduzir tanto o tempo como a distância percorrida num parque de estacionamento com um sistema inteligente de orientação. Desta forma é possível reduzir o impacto ambiental dos automóveis (tornando mais eficiente a deslocação por este meio).

Além dos benefícios ambientais existem também vantagens para quem incorpora um destes sistemas nas suas instalações, tornando este projeto comercialmente viável. Estas vantagens são:

- Redução do desgaste das vias
- Redução energética (menor uso de extratores de ar)
- Potencial aumento de afluência (mais simples de aceder ao complexo comercial)
- Output de dados estatísticos (permite determinar padrões de afluência)

Apesar de já haver soluções idênticas no mercado, as existentes são proprietárias. Estas não são capazes de responder às necessidades do mercado (custo e quantidade devido à procura – as empresas existentes não têm capacidade de responder a todas as encomendas). Como tal, há espaço no mercado para uma nova solução que consiga combater as concorrentes.

O mercado brasileiro, com acelerado crescimento económico, é um dos maiores mercados com procura desta tecnologia. Até 2011 já tinham sido inaugurados 430 centros comerciais e a previsão aponta a inauguração de mais 44 centros comerciais em 2012 de acordo com o *Portal dos Shoppings* [1]. Só nos 430 shoppings já inaugurados há 673582 lugares de estacionamento. As relações entre Portugal e o Brasil são uma mais valia que beneficia comercialmente este produto no mercado brasileiro.

# 1.2 Requisitos

Os requisitos do sistema são determinados sobretudo pela implementação do sensor (detetor de veículo), o qual terá de resistir a condições ambientais adversas (frio, calor extremo e

ou chuva), assim como a um ambiente de trabalho bastante exigente (suportar veículos apoiados no dispositivo e pancadas fortes):

- **Durabilidade dos detetores de veículo superior a 5 anos**

Os detetores de veículo têm de ter autonomia suficiente que permita funcionamento contínuo durante 5 anos sem qualquer tipo de manutenção. O fator mais limitativo é a autonomia da bateria.

- **Funcionamento numa gama de temperaturas elevada (-40°C a 85°C)**

Os detetores de veículo podem ter de ser instalados em locais que atingem temperaturas extremamente elevadas (alcatrão exposto ao sol em locais quentes) ou extremamente baixas, como é o caso de países nórdicos.

- **Escalabilidade: Possibilidade de expansão futura da rede (em termos geográficos e de quantidade de detetores de veículo)**

Um parque de estacionamento pode eventualmente ter necessidade de ser aumentado e como tal terá de aumentar o número de detetores de veículo. O sistema tem de permitir de forma simples a adição de novos detetores de veículo e sinalizadores de disponibilidade.

- **Minimização do uso de fios**

Como a instalação de cablagem é um dos fatores que mais pesa no orçamento da instalação destes sistemas, é necessário minimizar o uso de fios recorrendo sempre que possível a redes de comunicação sem fios.

- **Taxa de atualização do estado dos detetores de veículo inferior a 1 minuto**

Para que o sistema possa ser usado para taxar estacionamento os detetores de veículo têm de ser capazes de enviar informação sobre ocupação ou libertação de um lugar com atraso máximo de um minuto.

- **Redundância nas comunicações e alimentação**

Para que o sistema possa ser instalado em parques pagos tem de oferecer garantias de bom funcionamento. O canal de comunicação pode ter interferência ou pode haver alguma falha no fornecimento de energia. Como tal, o sistema tem de permitir o funcionamento mesmo com estas situações de falha.

## 1.3 Objetivos

O trabalho descrito nesta dissertação teve como objetivo a criação, teste e demonstração de funcionamento de um sistema completo de rede de sensores e sinalizadores com potencial de exploração comercial que cumpra todos os requisitos definidos.

O trabalho foi realizado no âmbito de colaboração entre as empresas Intelimotion [2] e Micro-I/O [3], as quais demonstraram interesse em desenvolver uma solução de baixo custo e que permitisse a sua exploração comercial, tendo em conta a grande procura que existe atualmente desta tecnologia.

Neste trabalho são especificados os protocolos de comunicação implementados, dando especial ênfase ao protocolo de comunicações sobre IEEE 802.15.4 [4]. Este permite com baixo consumo energético ler os dados dos detetores de veículo e atualizar dados de sinalizadores de disponibilidade. São também descritas detalhadamente todas as plataformas de hardware e software criadas para responder às especificações do sistema.

## 1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação é dividida em cinco capítulos. Este seu primeiro capítulo faz uma breve introdução do trabalho, demonstrando o que motivou o desenvolvimento. Especifica também os objetivos do projeto.

No segundo capítulo é feito um estudo sobre tecnologias já disponíveis para este fim, assim como de sistemas equivalentes desenvolvidos por outras empresas. É também descrito o ponto de partida para este trabalho, visto já existirem algumas soluções desenvolvidas pela Micro-I/O [3], as quais, de certa forma, influenciaram a escolha de algumas tecnologias.

Mais à frente, o terceiro capítulo descreve os serviços disponibilizados pelo sistema desenvolvido. É também descrito o modelo de comunicações utilizado nesta rede de sensores.

O quarto capítulo descreve o trabalho especificamente realizado pelo autor. São definidas as soluções de software e hardware criadas por forma a implementar o protocolo de comunicações e permitir o funcionamento e teste do sistema.

A seguir, no quinto capítulo, são apresentados resultados experimentais provenientes de ensaios em laboratório e do teste piloto que se encontra a decorrer em Lisboa para a EMEL [5].

Por fim, no sexto e último capítulo, conclui-se com uma reflexão sobre o trabalho desenvolvido, o seu estado atual de maturação e uma perspetiva dos melhoramentos a introduzir no futuro.

# 2. Estado da Arte

## 2.1 Introdução

Atualmente existem algumas soluções no mercado com a mesma função do sistema especificado nesta dissertação, algumas delas com tecnologia idêntica à selecionada para este trabalho e que se apresentam como boas opções, respondendo aos requisitos da aplicação. No estado da arte são descritas algumas das soluções desenvolvidas por outras empresas e alguns estudos académicos destes sistemas.

A vertente comercial é um fator bastante importante, pois sem este fator o sistema nunca poderia ser disponibilizado nem seria economicamente proveitoso para quem o desenvolve. Os motivos que tornam este produto apelativo são descritos com algum detalhe no ponto 2.3.

Este sistema reutilizou bastante tecnologia que já havia sido desenvolvida dentro da Micro-I/O, como forma de o tornar ainda mais competitivo (redução do tempo de desenvolvimento). No ponto 4.1 é especificado o que já havia sido desenvolvido e que condicionou algumas escolhas no projeto do sistema.

## 2.2 Soluções Académicas e Comerciais

Já existem algumas soluções no mercado que permitem monitorizar e orientar automóveis em parques de estacionamento. Todos estes sistemas apresentam vantagens e desvantagens entre eles. Dependendo da aplicação concreta (parque cobertos ou ao ar livre, infraestrutura de comunicações pré-instalada ou não) uns podem ser mais vantajosos que outros. Embora não exista muita documentação em relação a estes sistemas (usam protocolos e hardware fechados por forma a proteger a vantagem comercial das empresas), é possível retirar bastante informação relevante da documentação comercial disponibilizada. Algumas das empresas com maior impacto neste mercado são a *Intelimotion* [2] (empresa portuguesa parceira neste projeto), a *ParkHelp* [6] e a *Circontrol* [7] (empresas sediadas em Espanha), a *ParkAssist* [8] e a *Intelligent Devices* [9] (empresas sediadas nos Estados Unidos da América) e a *Siemens* [10] (empresa sediada da Alemanha).

Existe também algum trabalho académico nesta área, embora com uma dimensão bastante mais reduzida, como é o caso dos sistemas *PGS* [11] da *Information and Communications University* de Daejong, Korea e o sistema *SPARK* [12] do *Centre for Development of Advanced Computing* da Índia.

## Intelimotion e Circontrol

Ambas as empresas possuem um sistema baseado numa rede de RS-485 e sensores de ultrassons. Instalam um sensor de ultrassons e um dispositivo indicador luminoso em cada lugar de estacionamento. Em todos os corredores têm concentradores de dados, que permitem simplificar o controlo da rede.



Figura 2 - Sensor de ultrassons da Intelimotion [2]

## Intelligent Devices

A Intelligent devices tem um sistema híbrido com e sem fios denominado de Intelligent Parking. Utilizam uma rede de IEEE 802.15.4 (com o uso de módulos X-BEE) e sensores magnéticos em instalações exteriores. Em zonas de parques interiores usam barramento cablado e sensores de ultrassons.



Figura 3 - Sensor sem fios da Intelligent Devices [9]

## ParkHelp

A Parkhelp possui uma implementação deste sistema semelhante ao que foi desenvolvido no âmbito desta tese. Os sensores verificam a presença de veículo recorrendo à informação de um sensor magnético e transmitem os dados através de uma rede sem fios.

## Siemens

O grande grupo alemão tem um sistema denominado de SiPark. Utiliza sensores de ultrassons para determinar a presença de veículos estacionados. O sistema de comunicações deste é implementado com uma rede hierárquica de profibus na camada de controlo e AS-interface bus na camada de sensores e atuadores (sistemas de comunicação geralmente usados em sistemas industriais – entre PLCs).

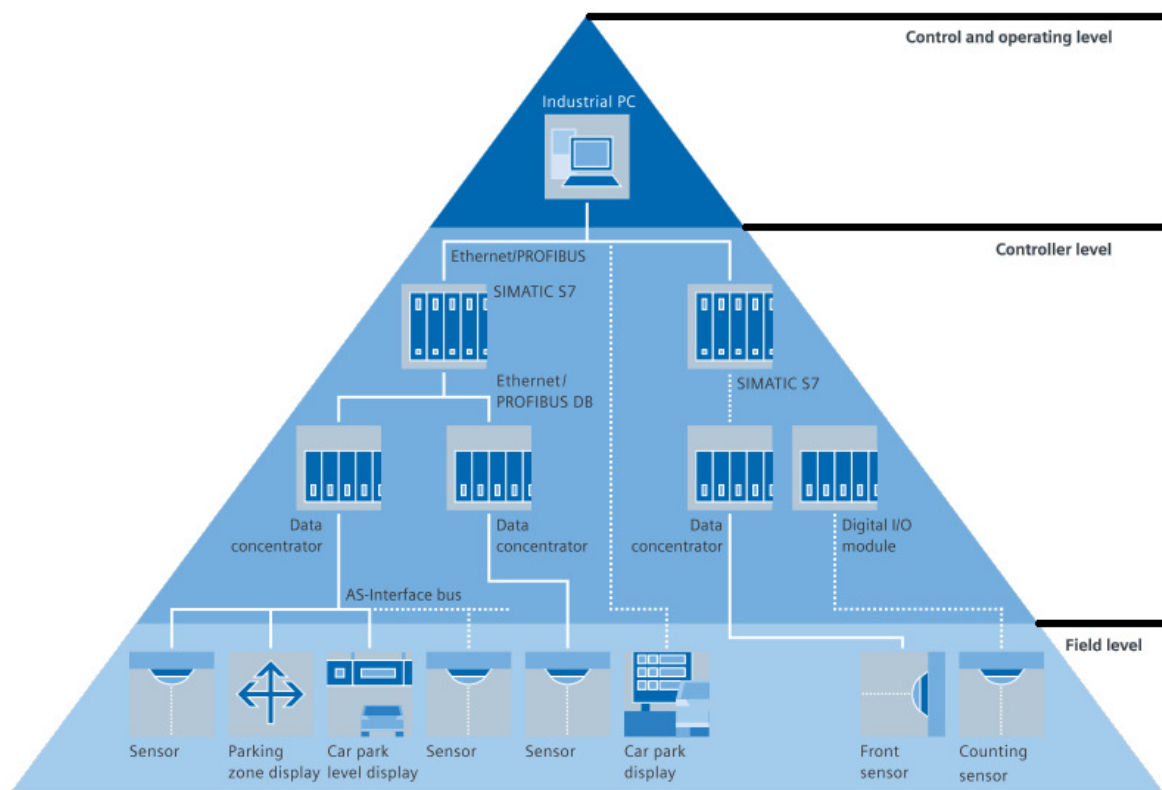


Figura 4 - Estrutura hierárquica da rede da Siemens [13]

## ParkAssist

Esta empresa tem uma das soluções mais complexas do mercado e permite funcionalidades mais avançadas, como é o caso da possibilidade de se encontrar o carro introduzindo a matrícula num dos terminais disponíveis. Este sistema usa uma câmara de filmar por lugar de estacionamento. As câmaras são ligadas com um barramento cablado até um servidor (provavelmente câmaras sobre IP ligadas a um barramento ethernet). O servidor tem como função processar as várias matrículas dos veículos estacionados.



Figura 5 - Sensor com câmara da ParkAssist [14]

## Sistemas académicos

O sistema *PGS* desenvolvido pela *Information and Communications University* de Daejong, Korea foi o sistema mais próximo de uma implementação real com condições de utilização. Este sistema recorre a sensores magnéticos de 3 eixos e ao protocolo IEEE 802.15.4 para comunicar. A topologia de rede é em árvore, tendo alguma similaridade com o sistema desenvolvido no âmbito desta tese. Este foi o sistema académico encontrado com a implementação prática mais próxima de um sistema comercial.

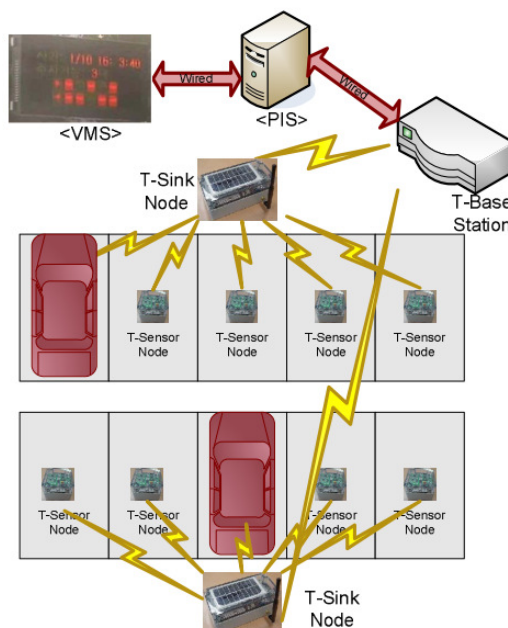


Figura 6 - Rede de Sensores do Sistema PGS [11]

O sistema *SPARK* do *Centre for Development of Advanced Computing* da Índia é um sistema que pretende demonstrar o conceito de uma rede de sensores sem fios (WiFi/Bluetooth/RF) nesta área de aplicação. Para o efeito construíram um demonstrador onde utilizaram sensores de luz para a deteção de veículos e comunicações RF (não especificadas).





Parking Layout



Entrance Display

Figura 7 - Demonstrador SPARK [12]

## Comparação entre sistemas

Abaixo é apresentada uma tabela comparativa das tecnologias (de comunicação e de sensores) utilizadas nos vários sistemas já existentes.

Tabela 1 - Comparativo dos sistemas de orientação em parques de estacionamento

	Comunicações		Sensores		
	Cabladas	Sem Fios	Ultrassons	Magnético	Ótico
Intelimotion	X		X		
Circontrol	X		X		
Intelligent Devices	X	X	X	X	
ParkHelp		X		X	
Siemens SiPark	X		X		
Parkassist	X				X
PGS		X		X	
SPARK		X			X

## Discussão

Estes sistemas podem ser divididos consoante a tecnologia usada para deteção de veículos assim como consoante a tecnologia utilizada no sistema de comunicações.

Os sensores mais usuais para a implementação destes sistemas são ultrassons ou sensores magnéticos. No entanto existem outras implementações, como é o caso do sistema com câmaras e deteção de matrículas da ParkAssist. As soluções baseadas em sensores de ultrassons e magnéticos são boas em termos de custo e simplicidade de implementação. Os sensores magnéticos têm apenas aparecido no mercado mais recentemente e têm como grande vantagem em relação aos sensores de ultrassons a possibilidade de serem colocados no chão numa caixa estanque, o que permite a sua utilização em ambiente exterior. No entanto são mais sensíveis a ruído eletromagnético (pode haver problemas caso, por exemplo, haja uma linha de alta tensão por perto). Os sistemas baseados em câmaras têm como vantagem a possibilidade de integração de serviços complexos (deteção de veículo ou pagamento de estacionamento com base na matrícula). No entanto são muito mais complexos de implementar (necessitam de processamento de imagem) e necessitam de maior manutenção (limpeza regular do vidro protetor da câmara, devido aos gases libertados pelos automóveis). Também têm problemas relativos à privacidade dos utentes, fator este muito sensível em certos países tais como os do norte da Europa.

Quanto aos sistemas de comunicações são divididos sobretudo em sistemas cablados e sistemas sem fios. Apesar de os sistemas cablados se apresentarem como bastante robustos são caros e complicados de instalar. Estes são praticamente impossíveis de instalar em parques exteriores (no caso de implementação em interior a cablagem é colocada em calhas perto do teto do edifício). Os sistemas sem fios permitem uma redução de custos na instalação, assim como viabilizam a utilização em parques exteriores.

O protocolo de camada física de eleição usado em redes cabladas é o RS-485, pela fiabilidade que tem a grandes distâncias. Este barramento pode prolongar-se sem repetidores até 1200m com cabos de baixo custo (ou até mais, dependendo da taxa de transmissão). Existem também soluções de IP sobre ethernet, embora esta necessite de switches em parques grandes, pois a maior distância que um barramento destes pode ter é de apenas 100m (segundo a norma). No entanto simplificam a instalação destes sistemas em termos de configuração (endereços podem ser atribuídos por DHCP).

## 2.3 Análise comercial das soluções existentes

Os sistemas de orientação e monitorização de parques de estacionamento têm aparecido cada vez mais frequentemente. Os grandes clientes destes sistemas são centros comerciais, grandes parques de estacionamento no centro das cidades e parques de estacionamento de aeroportos. São muito procurados pois trazem um conjunto de vantagens a quem os possui:

- **Redução de consumo energético:**

O sistema permite fazer melhor gestão do parque de estacionamento. Permite fechar ou abrir secções do parque de estacionamento dependendo da afluência, permitindo desligar a iluminação em algumas zonas do parque.

Com a redução das deslocações dos veículos dentro do parque há menos emissões de gases tóxicos, o que permite ligar por menores períodos de tempo os extratores de ar.

- **Redução da manutenção:**

Com percursos mais curtos e mais distribuídos pelo parque de estacionamento o desgaste da via é minimizado.

- **Aumento da afluência:**

Com este sistema torna-se mais cómodo e mais rápido encontrar lugar vago e estacionar em grandes parques de estacionamento. Isto faz com que os utilizadores do parque tenham maior vontade de se descolar a estes locais.

Desta forma zonas comerciais que possuam um parque de estacionamento próximo com um destes sistemas encontram-se em vantagem competitiva. Com estes sistemas ainda é possível fiscalizar com maior eficácia parques pagos exteriores onde se usam parquímetros (onde costuma haver bastante fraude), aumentando a receita nesses locais.

Ainda é possível adicionar serviços de reserva de lugar ou mesmo saber se existem lugares de estacionamento vago em determinadas zonas a partir da internet. Restaurantes em zonas muito movimentadas poderiam orientar os clientes para zonas de estacionamento próximas onde sabem, a partir da informação disponibilizada remotamente pelo sistema, que existem lugares livres.



# 3. Arquitetura do sistema - Wi-Park

No capítulo anterior foram apresentadas soluções tecnológicas de sistemas de gestão de parques de estacionamento desenvolvidos por outras empresas, onde foi possível filtrar o melhor e o pior de cada solução. Esta escolha de quais as melhores tecnologias tem de ser feita com base na aplicação específica, ou seja, dependendo do tipo de utilização e serviços que se pretenda oferecer com o sistema.

Abaixo é descrito todo o protocolo de comunicações criado especificamente para esta aplicação o qual permite uma integração do sistema com um conjunto de serviços.

## 3.1 Funcionalidades

Existem três atores que interagem com o sistema, os quais têm necessidades diferentes, pelo que é necessário que estas se reflitam no protocolo de comunicações. Este tem de permitir o transporte de informação que sirva as necessidades dos três participantes. Interagem com o sistema:

- Utilizador
- Instalador
- Analista de dados

O utilizador é o ator / *player* mais importante do sistema, visto ser quem mais vai usufruir do mesmo. Para que se oriente num parque de estacionamento são oferecidos os seguintes serviços:

- Disponibilização de informação visual atualizada em tempo real sobre o número de lugares disponíveis por zona;
- Informação visual atualizada sobre o estado de ocupação de cada lugar de estacionamento (sinalizador luminoso).

O instalador é responsável pela instalação, configuração e manutenção do sistema, assim como pelo projeto de instalação específico para cada local. Como tal, o sistema tem de oferecer ao instalador serviços simples que lhe permitam:

- Identificar os dispositivos;
- Configurar os dispositivos;
- Prever as necessidades de cobertura de uma instalação;
- Detetar de forma simples falhas de funcionamento do sistema.

Um analista de dados é alguém responsável por fazer estatísticas de dados. Estes geralmente são armazenados numa base de dados e processados posteriormente por forma a se realizarem estudos de marketing e necessidades de eventual aumento de área útil do parque de estacionamento. Para que se permita este estudo o sistema tem de disponibilizar o seguinte serviço:

- Envio em tempo real do estado de todos os lugares de estacionamento para uma base de dados.

## 3.2 Funcionamento global

Por forma a tornar mais claro o funcionamento do sistema, abaixo estão descritos alguns estudos de caso, assim como um esquema da colocação dos detetores de veículo e dos sinalizadores de disponibilidade:

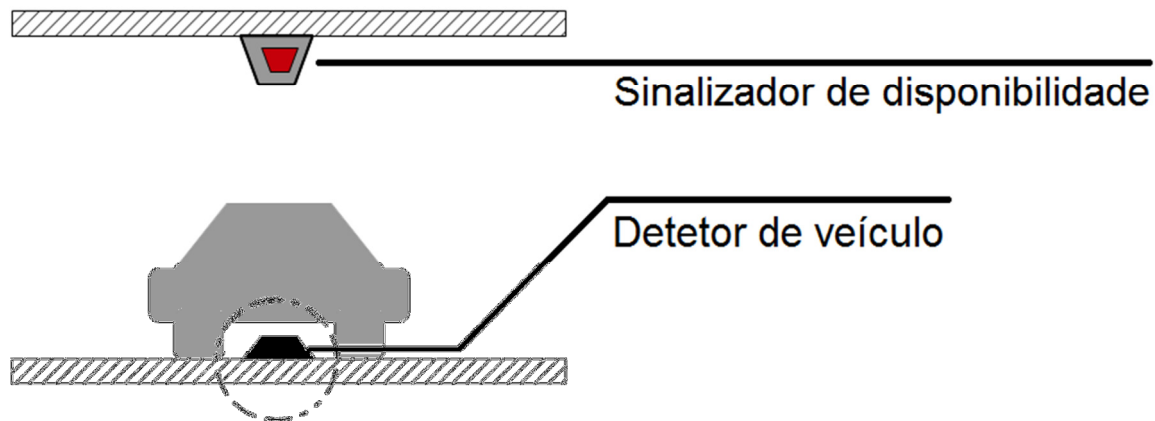


Figura 8 - Colocação do sensor e do sinalizador

### Exemplo 1 (Estacionamento de um veículo)

Assim que um automóvel estaciona num lugar de estacionamento com detetores de veículo, pode ser detetado. O detetores de veículo verifica em intervalos regulares e curtos de

tempo (na ordem dos segundos) a existência ou ausência de veículo. Após detecção do mesmo envia uma mensagem ao coletor de dados (*datasink*) mais próximo, o qual irá redirecionar estes dados até um servidor. No fim desta mensagem ser devidamente processada, o servidor envia uma segunda mensagem direcionada ao sinalizador de disponibilidade do mesmo local, informando-o que este se encontra ocupado. A mensagem é direcionada até ao *datasink* mais próximo do sinalizador de disponibilidade do lugar de estacionamento. Quando esta chega ao destino, o sinalizador de disponibilidade comuta de luz verde ou azul (sinalização de lugar livre), para vermelho (sinalização de lugar ocupado).

## Exemplo 2 (Fim de estacionamento de um veículo)

Após estacionamento do veículo, o detetor de veículo que se encontra por baixo deste continua a efetuar medições periódicas a fim de detetar alteração do estado ocupado para livre. Quando o veículo abandona o lugar de estacionamento, o sensor informa o servidor desta alteração de estado o que, de forma equivalente ao exemplo 1, comuta a luz do sinalizador de disponibilidade de vermelho (sinalização de lugar ocupado) para verde (sinalização de lugar livre).

## Exemplo 3 (Estado do lugar mantém-se)

Os detetores de veículo verificam a ausência ou não de um veículo na sua proximidade em intervalos regulares. Perante a não alteração de estado não enviam qualquer mensagem. No entanto enviam periodicamente (em intervalos de tempo bastante superiores ao período entre medições) uma mensagem a dizer que se encontram operacionais (mensagem de "*I'm alive*"). Esta mensagem é encaminhada até ao servidor através da rede de *datasinks/gateway* instalada e serve para detecção de falhas do sistema, nomeadamente verificação da operacionalidade do sensor.

## Exemplo 4 (Falha de funcionamento de um detetor de veículo)

No caso de haver falha de comunicação por parte de um detetor de veículo (situação anómala), o sistema deteta a situação e atualiza os displays e o sinalizador de disponibilidade com essa informação. O sinalizador de disponibilidade é capaz de enviar sinais de erro, sinais estes que podem ser:

- Sinalizador desligado
- Sinalizador intermitente
- Sinalizador intermitente com as luzes intercaladas
- Sinalizador vermelho intermitente
- Sinalizador verde intermitente

A decisão do sinal a enviar após detecção de falha de equipamento é feita por parte do servidor. Os displays informativos apenas mostram o número de lugares livres que se tenha a certeza que se encontrem nesse estado. Desta forma os lugares em que os detetores de veículo não se encontrem funcionais não entram nestas contagens.

### 3.3 Arquitetura

Dado o conjunto de requisitos foi possível verificar que não existe nenhum protocolo genérico de comunicações sem fios aberto (camada de rede) que permita obter um rácio elevado entre dados úteis e informação adicional para routing por forma a minimizar o tempo de operação dos detetores de veículo. Protocolos como ZigBee [15], MiWi [16] ou 6LoWPAN [17] implicam o envio de uma quantidade relativamente grande de pacotes. Isto deve-se ao facto de suportarem *routing* e *handshaking* nas comunicações, o que os torna bastante flexíveis para aplicações genéricas. Tanto o protocolo de rede como a rede em si tiveram de ser desenhados especificamente para esta aplicação.

Por forma a minimizar o consumo energético nos *endpoints* detetores de veículo (alimentados por bateria), foi criada uma solução que permite manter o módulo de RF desligado a maior parte do tempo. Esta solução também permite instalar o sistema de forma simples, não sendo necessário configurar quase nada na rede.

A topologia de rede escolhida foi do tipo *cluster-tree*, na qual cada detetor de veículo / sinalizador de disponibilidade é um *endpoint* e os *datasinks* são nós. Por fim o *gateway* é a raiz da rede local e tem como função o reencaminhamento de dados para outra rede.

A rede permite alguma expansibilidade geográfica, a partir da extensão dos braços desta. É possível por cada rede estendê-la até 8 braços, cada qual com até 5 saltos. Este aumento de área de cobertura não necessita de cabos para comunicação.

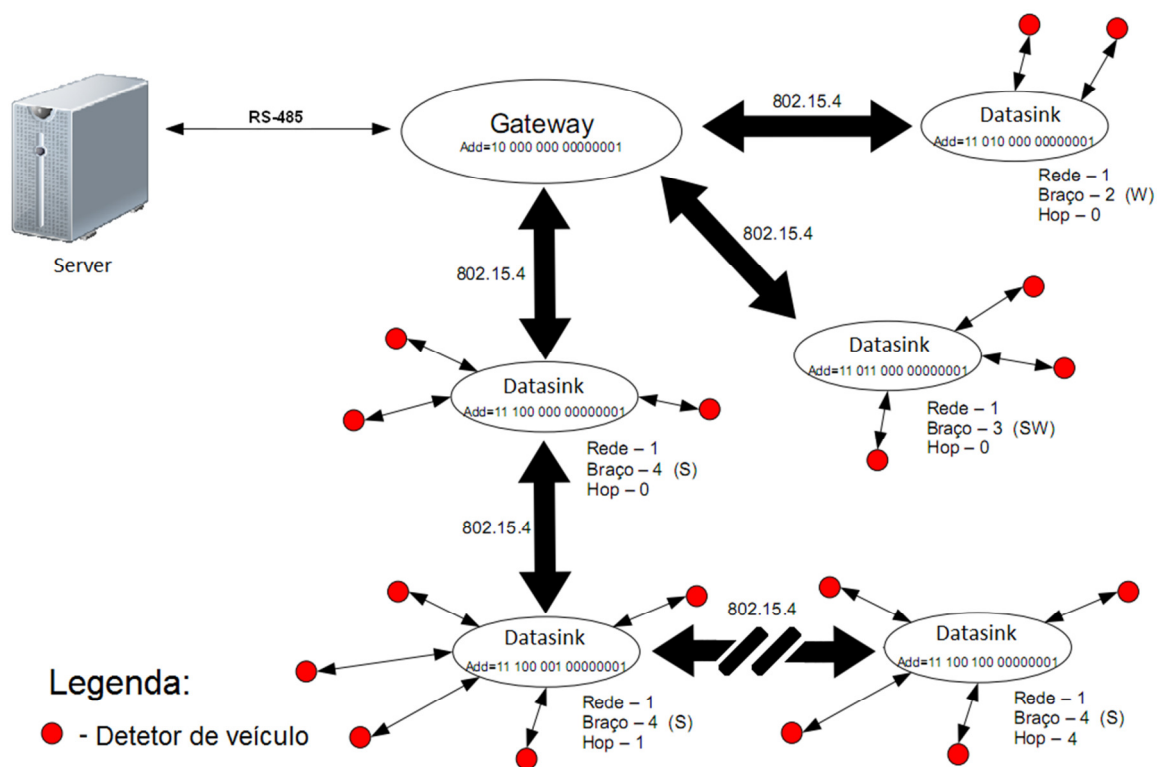


Figura 9 - Arquitetura de rede



### 3.3.1 Elementos do sistema

O sistema de orientação e monitorização de parques de estacionamento sem fios é um sistema modular. Pode ser utilizado em cenários *indoor* e *outdoor*. Em ambas as situações são utilizados módulos de deteção de veículos (sensores), *datasinks*, *gateways* e sinalizadores de disponibilidade (este último em aplicações *indoor* e algumas *outdoor*).

Por defeito a rede comunica com um servidor por RS-485, embora possa ser adicionado um módulo de GPRS aos *gateways*. Isto torna o sistema extremamente versátil em instalações no exterior.

#### Detetor de veículo

Os detetores de veículo são dispositivos de baixo custo, autónomos, cuja durabilidade deverá ser igual ou superior a 5 anos (duração mínima da bateria sem necessidade de recarregar). São providos de comunicações padrão IEEE 802.15.4. Cada lugar de estacionamento terá um destes detetores que irá verificar e comunicar a existência ou ausência de viatura.

#### *Datasink*

Os *datasinks* são usados para expandir a área geográfica de cobertura da rede, minimizando desta forma o uso de módulos com GPRS ou o uso de cabos. Os *datasinks* redirecionam todos os dados coletados dos detetores de veículo até ao *gateway* da sua zona utilizando comunicações baseadas em IEEE 802.15.4. Esta abordagem permite reduzir os custos do sistema tanto a nível de módulos GPRS (no caso de um sistema *outdoor*), como em instalação de cablagem (na solução *indoor*). Estes módulos são alimentados externamente.

#### *Gateway*

Os *gateways* têm como função direcionar os dados da rede de sensores para uma rede IP. Este envio pode ser feito através de GPRS (no caso de um sistema *outdoor*), ou mesmo com o uso de uma interface RS485 para um servidor local (para sistemas *indoor*). Estes módulos recebem os dados de todos os *datasinks* da zona onde se encontram. Serão alimentados externamente.

#### Sinalizador de disponibilidade

Os sinalizadores de disponibilidade indicam, por via luminosa, a presença ou ausência de uma viatura no lugar de estacionamento imediatamente abaixo do mesmo. Estes módulos recebem alimentação exterior e comunicam sem fios com os *datasinks* do sistema.

## 3.4 Operação

Dependendo da função dos dispositivos na rede, estes têm um comportamento diferente no envio de pacotes. Os detetores de veículo (*endpoints*) enviam dados em *broadcast* para os *datasinks* mais próximos (simplifica o processo de instalação da rede e melhora o tempo de resposta de confirmação dos *datasinks* para os sensores). Estes dados são enviados periodicamente ou quando o detetor de veículo verifica alteração de estado (modelo híbrido entre *time-triggered* e *event-triggered*). [18]

Os *datasinks*, por sua vez, fazem transmissões apenas quando recebem dados (*event-triggered*). Fazem *buffering* de todas as mensagens recebidas dos sensores e reenviam-nas assim que possível para o *datasink* que se encontre na posição de rede mais abaixo (reencaminhamento *multi-hop*).

O Gateway é um elemento que faz *switching* na rede, encaminhando mensagens da interface RS-485 para o braço da rede correspondente. Adicionalmente encaminha os dados que recebe dos vários braços da rede sem fios, para a interface RS-485, para que possam chegar ao servidor.

### 3.4.1 Modelo de comunicação

Os protocolos de comunicação foram desenvolvidos com o intuito de minimizar os dados que circulam na rede e facilitar a instalação do sistema.

Ao reduzir a quantidade de dados necessários para o sistema funcionar é possível reduzir o consumo dos elementos do sistema, visto que as comunicações sem fios representam uma fatia elevada do consumo dos dispositivos. Esta redução vem de dois fatores. Há menor número de colisões de mensagens no caso das interfaces sem fios (pelo que haverá menos reenvios de mensagens), assim como, ao ter tramas mais pequenas e não tão regulares, o tempo de envio dos módulos RF é minimizado.

Foi também tida em consideração a memória disponível para fazer *buffering* de mensagens nos *datasinks*, visto ser limitada nos microcontroladores. Quanto menores forem as mensagens, mais podem ser armazenadas no mesmo espaço, aumentando assim a capacidade disponível nos vários nós da rede. Assim, caso haja falta de disponibilidade do meio para o reenvio de mensagens (por exemplo devido a atividade elevada dos detetores de veículo ou interferência pontual sistemas que operem na mesma gama de frequências) diminui-se a possibilidade de perda de mensagens, aumentando desta forma a robustez do sistema. Utilizou-se assim um buffer circular o qual tem como função reter as mensagens que não possam ser de imediato enviadas para o meio de transmissão.

### 3.4.2 Tipos de tramas

A junção dos protocolos de comunicação tem de permitir a interação entre todos os elementos do sistema, por forma a proporcionar os serviços descritos acima. Tem de prever também reconfiguração remota dos elementos já ligados na rede. Por algum motivo pode ser necessário alterar os parâmetros de configuração dos dispositivos (canais de comunicação IEEE

802.15.4, número de retransmissões das mensagens, *threshold* dos sensores, pedido de calibração remota, pedido de desmagnetização do sensor, ...).

As tramas usadas no protocolo sem fios sobre IEEE 802.15.4 são divididas em seis grupos, tendo em conta o caminho que fazem:

- **Detetor de veículo -> *Datasink*:**
  - Mensagens de estado dos detetores de veículo (lugar livre/ocupado, estado da bateria e temperatura) – também servem de “*I’m Alive*”;
  - *Acknowledgements* de configuração do detetor de veículo;
- ***Datasink*-> Detetor de veículo:**
  - Trama de configuração de detetor de veículo;
  - Trama de *acknowledgment* de receção de mensagem de estado (serve também de configuração do modo de funcionamento);
- **Sinalizador de disponibilidade -> *Datasink***
  - Mensagem de “*I’m Alive*”, com confirmação do estado atual;
- ***Datasink*-> Sinalizador disponibilidade**
  - Trama de estado do sinalizador de disponibilidade;
- ***Datasink*-> Gateway**
  - *Acknowledgement* de configuração de detetores de veículo;
  - Mensagem de estado do detetor de veículo encapsulada;
  - “*I’m Alive*” do sinalizador de disponibilidade encapsulado;
  - *Acknowledgement* de atualização dos painéis informativos;
- **Gateway-> *Datasink*:**
  - Mensagem de modo de funcionamento do sistema;
  - Trama de configuração do detetor de veículo encapsulada;
  - Trama de atualização de lugares livres para painéis informativos
  - Trama de estado de sinalizador de disponibilidade encapsulada;

Com este conjunto de mensagens também é possível detetar falhas de elementos na rede, fazendo o processamento adequado dos dados recebidos no servidor.

Estas tramas permitem a ligação entre os vários dispositivos da rede e o servidor. Existem outros protocolos para o envio das mensagens dos *datasinks* para os *displays* informativos via RS-232 e para comunicação entre o *gateway* e o servidor sobre RS-485 ou GPRS.

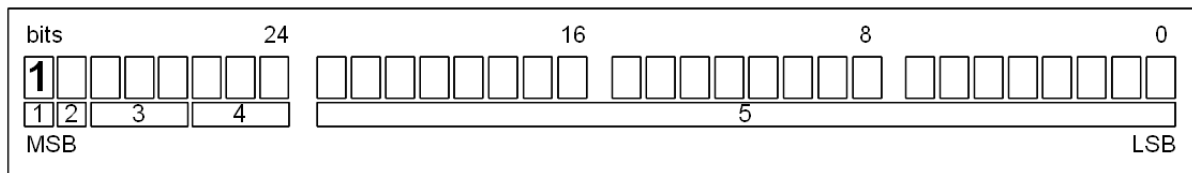
### 3.4.3 Endereçamento

O sistema de endereçamento foi desenvolvido a pensar em simplificar ao máximo a instalação e permitir uma fácil deteção de erros na rede.

O endereço de rede de um elemento do sistema indica qual o tipo de dispositivo e a sua localização na rede (no caso de *datasinks* e *gateways*). Nunca é necessário configurar qualquer endereço de destino das mensagens. Os *datasinks* e *gateways* sabem pelo próprio endereço para onde reencaminhar os pacotes e os sensores transmitem em *broadcast* para os *datasinks*.

Todos os dispositivos têm um endereço MAC de 64bits, embora apenas sejam relevantes para o funcionamento da rede os 32bits menos significativos. Nesta aplicação os 32 bits mais significativos são colocados todos a zero. Isto é feito por dois motivos. Para se poder usar encriptação os endereços têm de ter 64bits, mas isto obrigaria a mais processamento e memória para fazer buffering de mensagens, pelo que internamente só são usados 32bits. Permite também no futuro adicionar novos elementos com novas funcionalidades com a gama de endereços não utilizada.

Os 32 bits menos significativos, no caso dos *datasinks* ou *gateways*, descrevem a sua localização na rede, como é demonstrado na figura abaixo.



- 1 – Identificador de dispositivo I  
(1-Datasink/Gateway; 0-Sensor/Sinalizador)
- 2 – Identificador de dispositivo II  
(1-Datasink; 0-Gateway)
- 3 – Braço da rede (\*)  
(0-N; 1-NW; 2-W; 3-SW; 4-S; 5-SE; 6-E; 7-NE)
- 4 – Hop da rede (\*)
- 5 – Endereço do datasync/gateway

(\*) - Bits reservados para uso futuro nos Gateways (Colocados a '0')

**Figura 10 - Endereçamento dos Datasinks / Gateways**

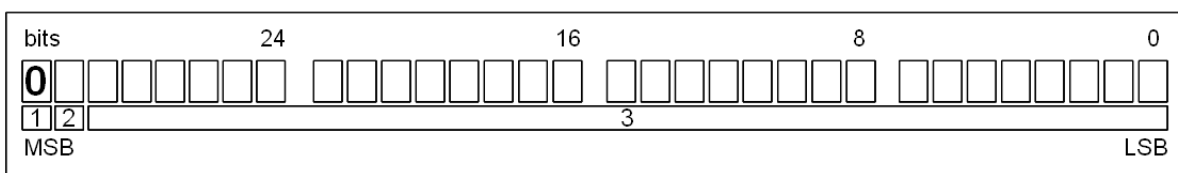
No caso dos *Gateways* ou *Datasinks* os 24 bits menos significativos servem para diferenciar múltiplas redes, caso haja. Como tal, permite criar mais de 16 milhões de redes diferentes. Um parque de estacionamento poderá necessitar de mais de uma rede de sensores, dependendo das necessidades de cobertura. Cada rede tem um e só um *Gateway* e vários *Datasinks*.

Este sistema de endereçamento permite calcular facilmente o endereço de *hop* seguinte com base no endereço do *datasink* que se encontra a enviar dados, como é demonstrado no exemplo indicado abaixo.

A nomenclatura utilizada para descrever os vários braços do sistema (pontos cardeais) foi escolhida meramente como forma de simplificar a identificação destes na via pública, onde muitas vezes as ruas definem a existência dos vários braços.

O endereçamento dos detetores de veículo e sinalizadores de disponibilidade é bastante mais simples. Baseia-se em apenas duas *flags* que indicam o tipo de dispositivo e um endereço de 30 bits, o qual é o número de série do dispositivo. Isto permite a produção de mais de 1000 milhões de sensores e sinalizadores com endereços únicos.

Como os detetores de veículo comunicam em *broadcast* com a rede e pelo facto de terem de raiz um endereço único, não necessitam de ser configurados com qualquer informação de endereçamento, o que simplifica a instalação do sistema.

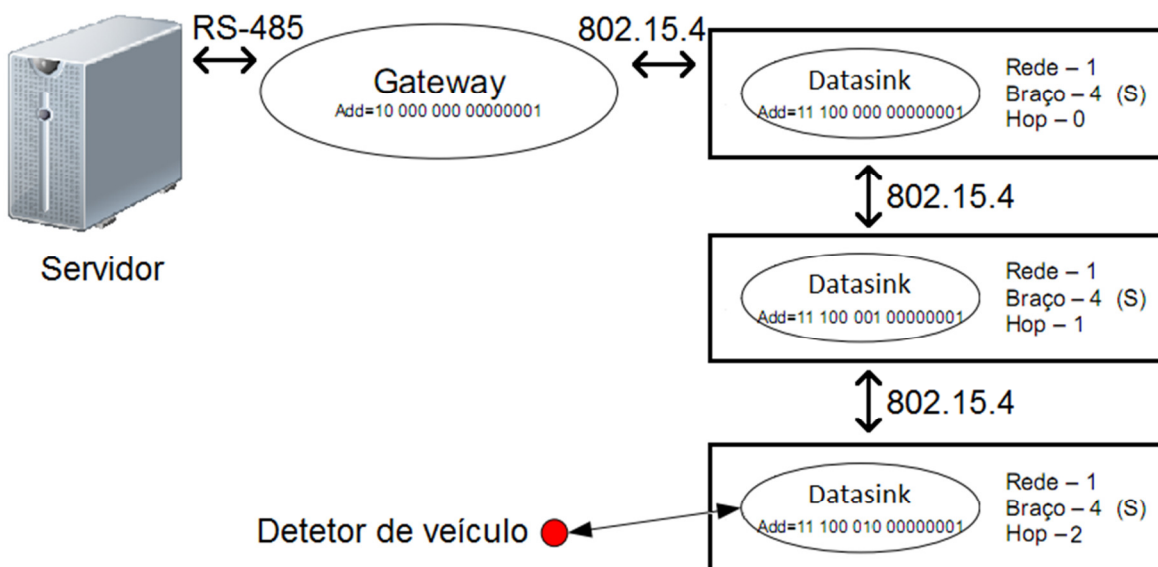


- 1 – Identificador de dispositivo I  
(1-Datasink/Gateway; 0-Sensor/Sinalizador)
- 2 – Identificador de dispositivo II  
(1-Sinalizador; 0-Sensor)
- 3 – Endereço do dispositivo (30 bits)

**Figura 11 - Endereçamento dos Detetores de veículo / Sinalizadores**

## Exemplo:

O *Datasink* com endereço 11 100 010 000...0001 recebe uma mensagem de estado de um detetor de veículo e tenta reencaminhá-lo até ao *Gateway*(raiz da rede):



**Figura 12 - Mapeamento da rede (exemplo)**

Este *Datasink* encontra-se no braço sul (100) da rede, no *hop* 2 (010). Pertence à sub-rede 1. Como tal tem de fazer com que a mensagem chegue ao *Gateway* com o endereço 10 000 000 000...0001. Primeiro tem de enviar a mensagem para o *datasink* com o endereço de *hop* inferior, ou seja, com *hop* 1. Este *Datasink* tem o endereço 11 100 001 000...0001. Por sua vez o *Datasink* que se encontra no *hop* 1 tem de voltar a enviar a mensagem para o *Datasink* com *hop* 0, ou seja, o *Datasink* com o endereço 11 100 000 000...0001. Este como se encontra no *hop* 0, encaminha a mensagem para o *Gateway*, o qual tem o endereço 10 000 000 000...0001. Após este encaminhamento o *Gateway* envia a mensagem para a rede de *backbone* (RS-485 ou GPRS).

**Tabela 2 - Exemplo de encaminhamento de mensagens**

Passo	Source ID	Destination ID	Descrição do source
1	11 100 010 000 ... 0001	11 100 001 000 ... 0001	<i>Datasink</i> , Hop 2; Sul; Rede 1
2	11 100 001 000 ... 0001	11 100 000 000 ... 0001	<i>Datasink</i> , Hop 1; Sul; Rede 1
3	11 100 000 000 ... 0001	11 000 000 000 ... 0001	<i>Datasink</i> , Hop 0; Sul; Rede 1
4	11 000 000 000 ... 0001	<i>Server</i>	<i>Gateway</i> da rede 1

### 3.4.1 Instalação

Juntamente com o sistema de endereçamento, esta rede é simples de instalar mesmo não tendo *routing* dinâmico. Os detetores de veículo e sinalizadores de disponibilidade comunicam por *broadcast* com os *datasinks*, o que simplifica muito o processo de instalação. Por forma a instalar estes elementos apenas é necessário registar e associar os números de série ao lugar de estacionamento, não havendo necessidade de se reprogramar qualquer parâmetro dos dispositivos.

Para se instalar os *datasinks* e *gateways* apenas é necessário configurar o endereço, para que possam reencaminhar as mensagens corretamente. Para isto bastará o uso de um simples terminal que se irá conectar com ou sem fios a estes dispositivos.

Qualquer alteração de configuração que se pretenda realizar poderá ser feita a partir do servidor, logo após a instalação da mesma.

### 3.4.2 Modos de funcionamento

O sistema possui dois modos de funcionamento, o Modo Ativo e o Modo *Doze*, os quais representam duas máquinas de estados do detetor de veículo. Quando o sensor se encontra no primeiro modo efetua medições periódicas do sensor magnético e transmite informação para a rede sempre que haja alteração do estado (lugar de estacionamento livre ou ocupado).

O Modo *Doze* é um meio de reduzir o consumo energético dos detetores de veículo quando não é necessário verificar se os lugares de estacionamento se encontram livres ou ocupados. Alguns exemplos destes momentos são:

- Períodos em que não se efetuam cobranças em parques exteriores;
- Após hora de fecho de parques interiores.

Este último, ao reduzir o consumo energético, permite maximizar o tempo de vida da bateria, ou seja, maximizar o tempo de vida dos detetores de veículo.

A comutação entre estes dois modos pode ser feita remotamente. No entanto para forçar a alteração do modo *Doze* (com menor número de eventos de comunicações) para o modo Ativo é necessário enviar esta informação com alguma antecedência. O detetor de veículo apenas é capaz de receber dados nos 8ms após uma transmissão de dados (janela de escuta). A latência máxima desta comutação pode atingir o tempo entre mensagens de "*I'm Alive*" dos detetores de veículo, tempo este parametrizável na ordem dos minutos (valor por defeito: 4 minutos).

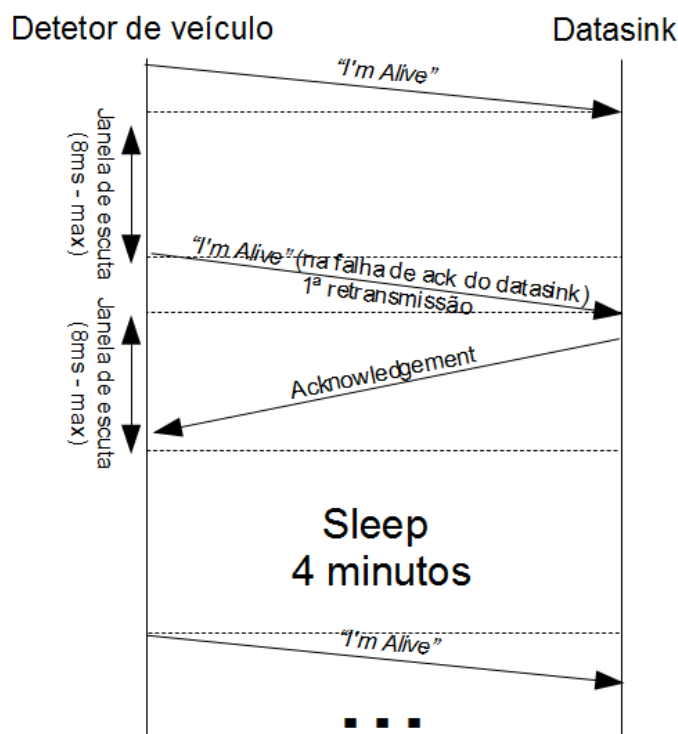
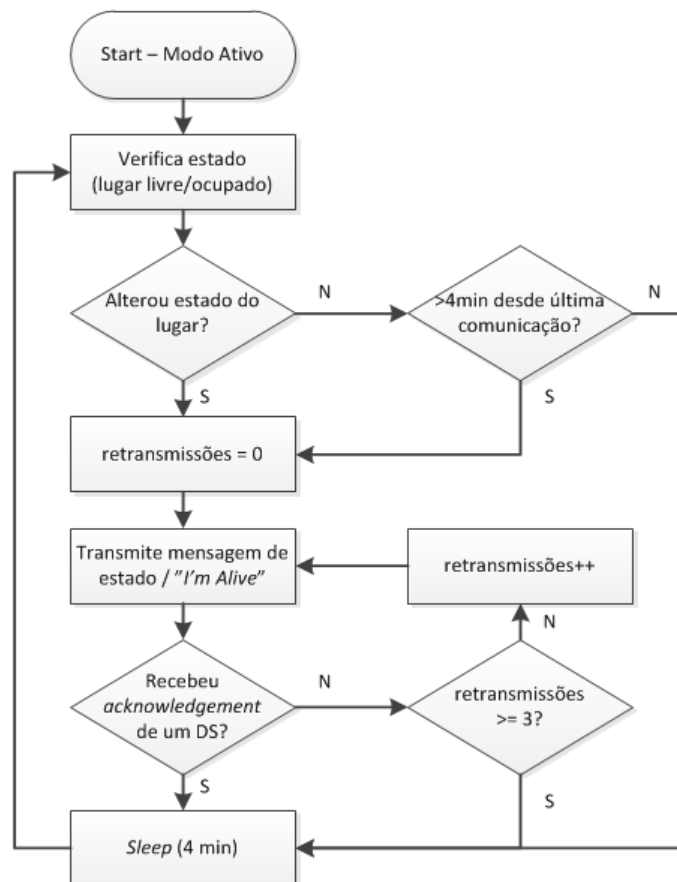


Figura 13 - Diagrama temporal (janelas de escuta do detetor de veículo)

## Modo Ativo

Este modo corresponde à operação normal dos detetores de veículo. Quando se encontram neste modo, os detetores de veículo fazem medições periódicas e, dependendo de haver alteração de estado do lugar de estacionamento (livre para ocupado ou ocupado para livre) ou esgotamento de um contador (*timeout*), enviam uma trama com informação.

A verificação do detetor de veículo é feita num período relativamente curto de tempo (valor na ordem dos segundos – valor típico: 4 segundos). Caso exista alguma alteração de estado, o sensor envia uma trama com o novo estado e aguarda durante um curto período de tempo por uma mensagem de confirmação de receção (valor que pode atingir os 8ms), enviada pelo *datasink* que responda mais rapidamente. No entanto o detetor de veículo também envia o seu estado num período superior ao da verificação de estado. Esta transmissão é feita a cada 4 minutos (valor por defeito - parametrizável) após a última transmissão. Isto permite verificar se o detetor de veículo se encontra operacional, assim como alterar o seu modo ou configuração. A alteração de configuração é permitida pelo facto de o detetor de veículo gerar uma janela de escuta após o envio de todas as mensagens de estado.



**Figura 14 - Funcionamento em modo ativo (Detetor de Veículo)**

A alteração de modo é feita pela mensagem de confirmação de receção por parte dos *datasinks*, ou seja, é possível alterar o modo de funcionamento sempre que haja envio de uma mensagem por parte do detetor de veículo.



## Modo *Doze*

Este é o modo de baixo consumo para os detetores de veículo. Quando se encontram neste modo não verificam o estado do lugar de estacionamento (deixam de ligar o sensor magnético para fazer medições periódicas). Os detetores de veículo comunicam periodicamente com o *datasink* mais próximo (com um período superior ou igual ao tempo entre "*I'm Alive*"s em modo ativo) a pedir informações sobre a atual configuração do sistema (modo de funcionamento e canais a ser usados). Caso se queiram repor os detetores de veículo no modo ativo, basta o servidor enviar uma mensagem de configuração global aos *datasinks* do modo em que a rede tem de funcionar nesse momento. O tempo máximo de resposta a este pedido será idêntico ao tempo entre comunicações dos detetores de veículo (valor parametrizável – 4 minutos por defeito).

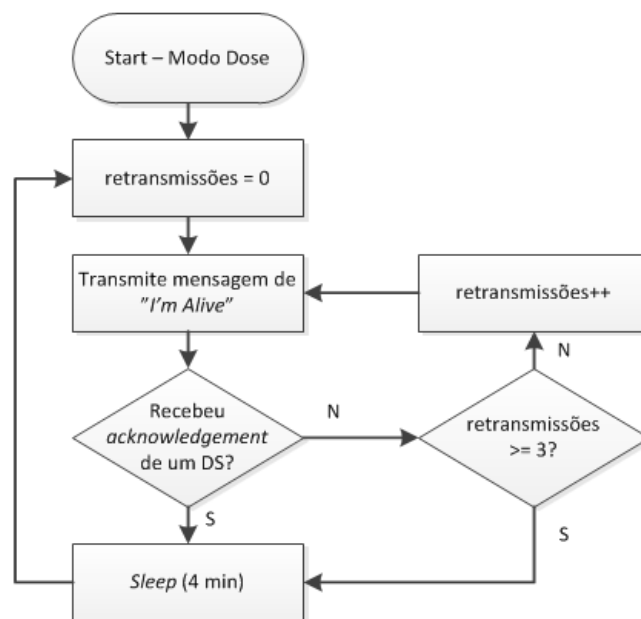


Figura 15 - Funcionamento em modo *doze* (Detetor de Veículo)



# 4. Desenvolvimento

## 4.1 Ponto de partida

As tecnologias base a usar neste projeto já tinham sido determinadas antes do início do trabalho feito no âmbito desta dissertação. Foi utilizado o protocolo IEEE 802.15.4 visto já existir todo um conjunto de *device drivers* já desenvolvidos dentro da Micro I/O para os módulos MRF24J40 da Microchip. Além disso já tinham sido desenvolvidos protótipos de detetores de veículo (um pela Intelimotion e um segundo pela Micro I/O), nos quais já se tinha optado pelo uso de um sensor magnético.

Esta escolha de tecnologias foi feita pelo baixo consumo conseguido com os transceivers de IEEE 802.15.4 e por permitir o uso deste equipamento em ambiente exterior.

No seguimento do trabalho continuou-se a verificar que estes dois objetivos foram cumpridos com o uso das tecnologias escolhidas. A operação dos detetores de veículo no estado *sleep* (estado em que se encontra a maior parte do tempo - representado nos diagramas de estado - Figura 14 e Figura 15), no protótipo da Micro I/O tem como consumo médio de referência 60 $\mu$ A a 3,3V.

Como seguimento de trabalho ainda faltava criar todo o software, hardware, firmware e protocolo de comunicação que iria servir de infraestrutura a este sistema, visto apenas existir nesta fase inicial protótipos de detetores de veículo.

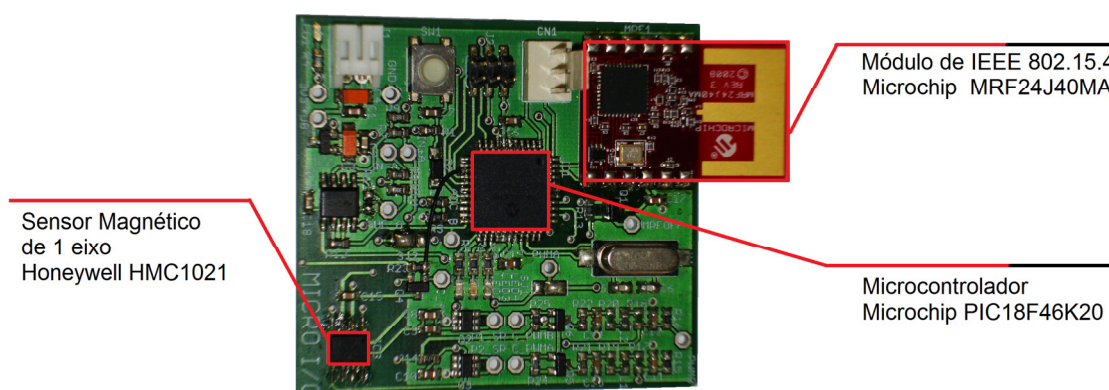


Figura 16 - Protótipo de detetores de veículo (V1.0)

## 4.2 Software

O software desenvolvido para este projeto divide-se em duas partes; firmware para os microcontroladores utilizados nas placas construídas especificamente, onde estão implementados os protocolos de comunicação, assim como todo o sistema de controlo de aquisição de dados dos sensores e atuação sobre leds ou painéis informativos; e por fim algum software para PC que foi criado como ferramenta de teste e demonstração das etapas iniciais de desenvolvimento do projeto.

Para o desenvolvimento do firmware optou-se pelo uso do MPLABX [19] da Microchip como IDE e a versão *lite* do Microchip C18 como compilador.



**Figura 17 - Microchip MPLABX logo**

Os programas de teste foram inicialmente desenvolvidos em Java6 e posteriormente em C# (sobre .NET Framework 4.0). Esta alteração foi feita por forma a simplificar no futuro a ligação deste mesmo software à base de dados (sobre Microsoft SQL).

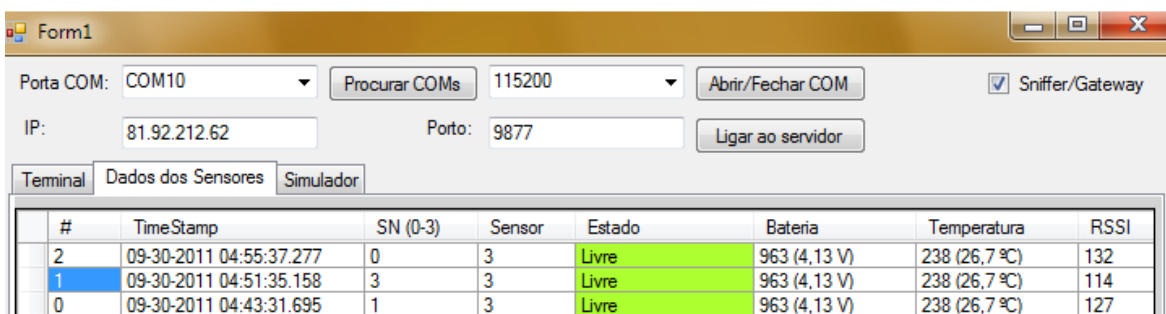
Para o teste piloto foi criada uma base de dados em Microsoft SQL Server, a qual é atualizada com dados provenientes da rede que se encontra em teste permanente numa exploração comercial ao serviço da EMEL – Empresa Pública Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa. Esta rede envia dados via TCP sobre GPRS e, no servidor, foi posto operacional um serviço que tem como função receber os pacotes da rede (servidor TCP), processá-los e colocá-los na base de dados.

## 4.2.1 Programa de teste e demonstração

Por forma a testar o sistema foi desenvolvida uma aplicação que foi aumentando o número de funcionalidades à medida que o projeto foi evoluindo. Inicialmente esta aplicação comunicava com o sistema via RS-232 (era utilizado um conversor de RS-232 para RS-485 para comunicar com os *gateways*). Mais à frente foi adicionada a funcionalidade de comunicar a partir de um *socket* TCP, funcionando esta aplicação como *client*.

Os dois modos de funcionamento (ligação via TCP ou ligação RS-232) permitem fazer *debug* do sistema, estando este ligado por GPRS ou RS-485 respetivamente.

Esta aplicação recebe e converte os dados enviados pelos sensores em informação útil, isto é, converte os valores das ADCs da temperatura e bateria em °C e volts respetivamente, e converte a *flag* de estado do lugar de estacionamento numa etiqueta "Livre" ou "Ocupado" como pode ser visto na figura abaixo:



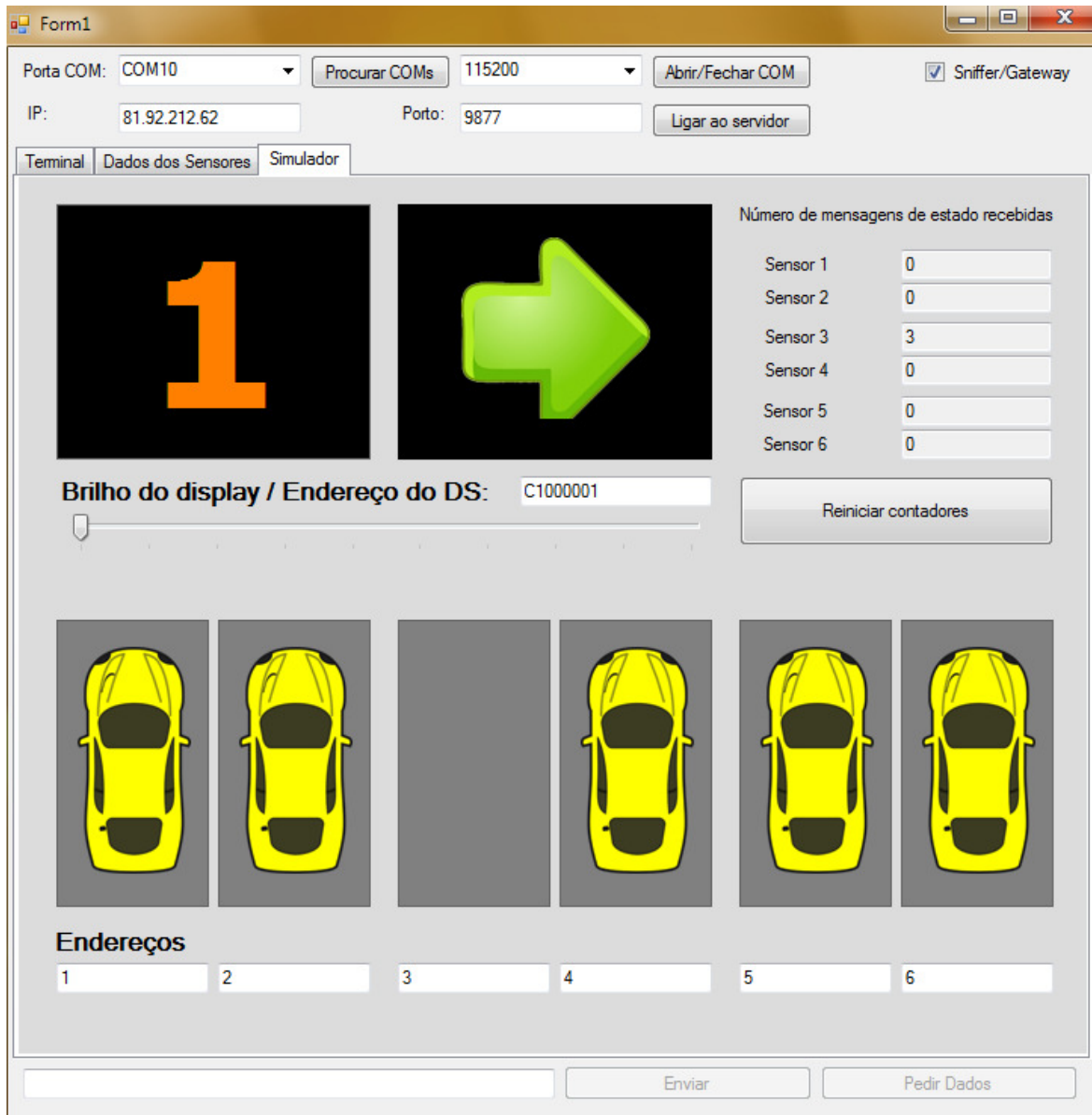
#	TimeStamp	SN (0-3)	Sensor	Estado	Bateria	Temperatura	RSSI
2	09-30-2011 04:55:37.277	0	3	Livre	963 (4,13 V)	238 (26,7 °C)	132
1	09-30-2011 04:51:35.158	3	3	Livre	963 (4,13 V)	238 (26,7 °C)	114
0	09-30-2011 04:43:31.695	1	3	Livre	963 (4,13 V)	238 (26,7 °C)	127

Figura 18 - Dados dos sensores

As colunas da tabela têm o seguinte significado:

- **'#'** – Número de sequência da mensagem no terminal
- **'TimeStamp'** – Hora de chegada da mensagem ao terminal
- **'SN (0-3)'** – Número de sequência gerado pelo detetor de veículo (valor de 2 bits)
- **'Sensor'** – Endereço do detetor de veículo
- **'Estado'** – Estado do lugar de estacionamento
- **'Bateria'** – Tensão da bateria do detetor de veículo
- **'Temperatura'** – Temperatura na caixa do detetor de veículo
- **'RSSI'** – Potência de sinal do ponto de vista do *datasink* que recebeu a mensagem (valor de 8 bits)

Para efeitos de demonstração foi adicionado ainda um simulador, o qual apresenta os dados de até seis detetores de veículo à escolha de uma forma mais apelativa.



**Figura 19 - Simulador**

O simulador, além de apresentar a informação de uma forma mais *user friendly*, permite ajustar os parâmetros de um painel informativo (para efeitos de teste). É possível enviar para um painel que esteja ligado a um *datasink* específico, assim como ajustar a luminosidade deste.

## 4.2.2 Ferramenta de Configuração/*Debug*

Por forma a calibrar o sensor remotamente, ajustar parâmetros (como é o caso do valor de limiar de deteção de carro) e ler os valores obtidos pelo detetor de veículo em tempo real foi desenvolvida uma ferramenta. Esta permite ajustar os detetores de veículo individualmente e detetar eventuais problemas que possam existir, sem a necessidade de abrir a caixa em que este se encontra. Permite ainda ajustar parâmetros de rede.

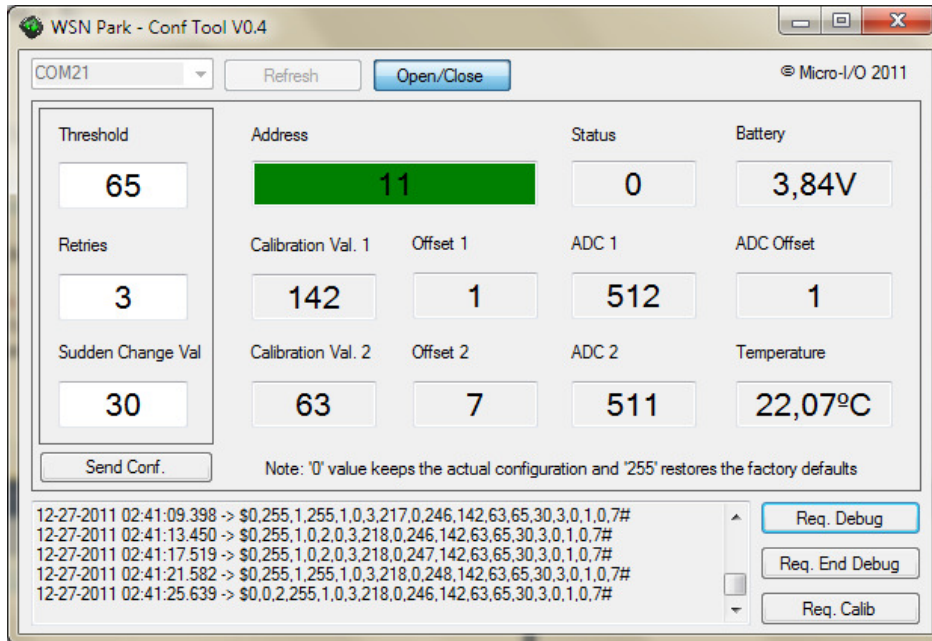


Figura 20 - Ferramenta de configuração/*debug*

Esta aplicação liga-se a uma placa uMRFs com um firmware desenvolvido baseado no firmware do *gateway*. É também utilizado o botão genérico presente nesta placa para calibrar o detetor de veículo mais próximo da mesma.

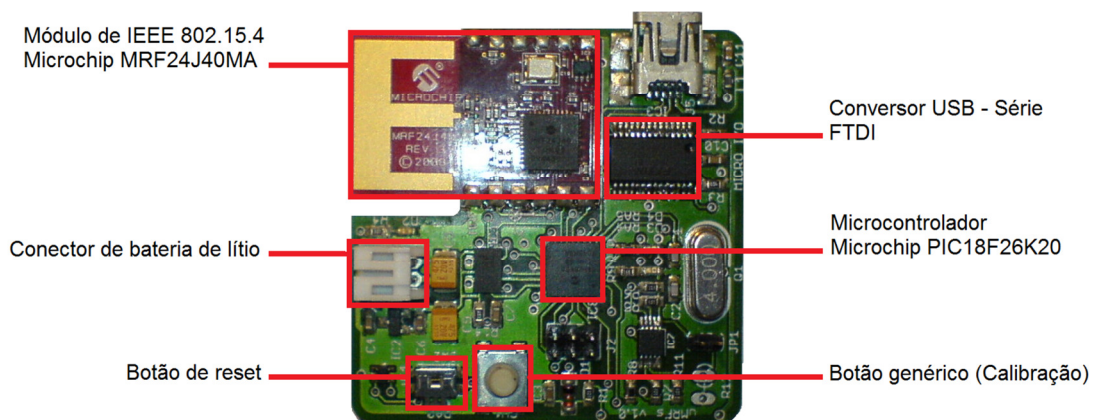


Figura 21 - Placa genérica de 802.15.4 – uMRFs

A calibração dos detetores de veículo pode ser feita com esta placa sem o uso de qualquer PC, devido à possibilidade de a alimentar com uma bateria. Para que o botão genérico funcione basta que a placa tenha alimentação.

### 4.2.3 Firmware

O firmware desenvolvido foi dividido em duas *releases*, uma para o detetor de veículo e outra para os *datasink* e *gateway*. Estas foram escritas em C, tendo o cuidado de minimizar o número de saltos entre funções do programa, para que este tivesse tempos de execução muito curtos. Ao reduzir o tempo de execução das tarefas (leitura do sensor magnético, escrita de um pacote no módulo de RF, ...) é reduzido o tempo em que o detetor de veículo se encontra ativo. Assim consegue-se poupar bastante energia, visto que este vai permanecer em *sleep* durante longos períodos de tempo, como é demonstrado no capítulo 5.

Todos os parâmetros de configuração foram guardados na EEPROM (endereços de rede, tempos entre medições, canais RF, ...) por forma a simplificar a programação e instalação destes. O firmware a carregar é igual para todos os dispositivos do mesmo tipo. Apenas é necessário escrever na EEPROM esses parâmetros.

Os *gateways* ou *datasinks* sabem que função desempenham na rede a partir do endereço que lhes é configurado no momento de instalação. Visto que se trata sempre da mesma placa, torna-se muito mais eficiente a instalação visto não ser necessário criar stock de um elemento específico nem reprogramar firmware.

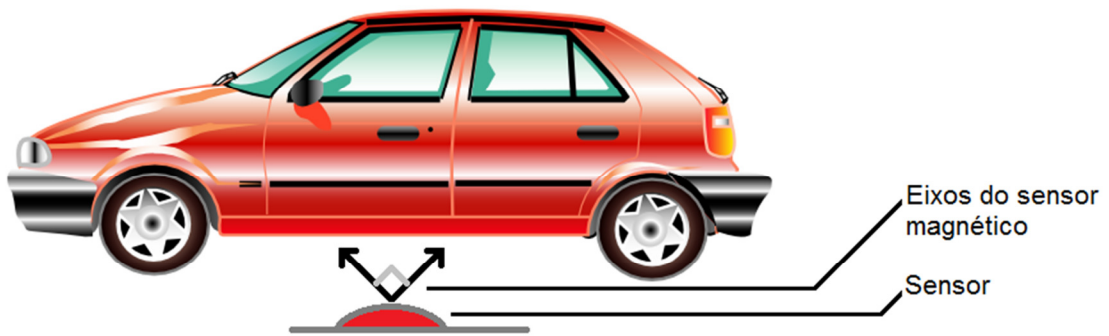
## 4.3 Hardware

O hardware foi desenvolvido com base na primeira versão do protótipo assim como no trabalho realizado pela Intelimotion a qual foi responsável pelo estudo da aquisição da informação proveniente do sensor magnético.

### 4.3.1 Detetor de Veículo

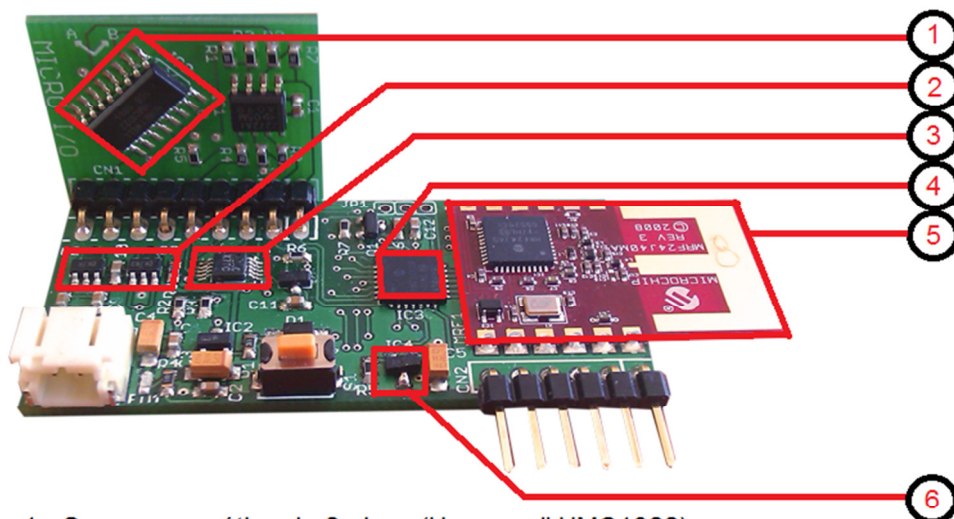
O dispositivo inicialmente desenvolvido utilizava um sensor magnético de apenas um eixo da Honeywell [20]. Após testes iniciais chegou-se à conclusão de que poderiam ser obtidos melhores resultados com o uso de dois eixos ortogonais. Isto permitiria também detetar a presença de uma alteração no sensor devido a uma forte perturbação do campo magnético. Caso isto aconteça (e.g. com a passagem de um íman potente perto do sensor) pode ser detetado e após isto poderá ser feita uma desmagnetização do sensor imediatamente, tornando-o novamente operacional sem ter de esperar que o sensor seja desmagnetizado por si (pode chegar a algumas horas).





**Figura 22 - Eixos do sensor magnético**

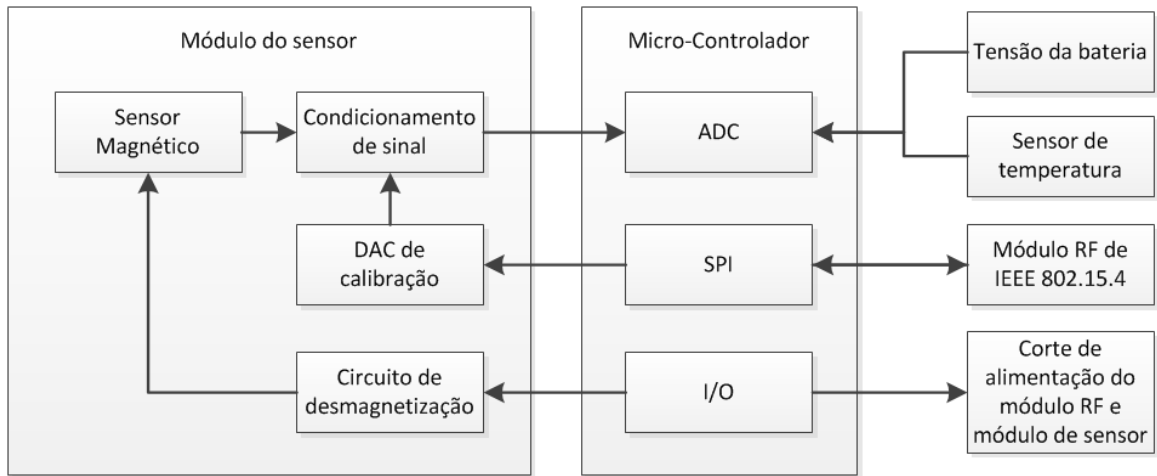
Outra vantagem do uso de dois eixos é o aumento de sensibilidade do detetor de veículo. Os eixos são apontados para duas zonas do veículo, aumentando desta forma a probabilidade de apanhar pelo menos uma zona ferromagnética que altere ligeiramente as linhas de campo na presença de um veículo. Usualmente o motor ou as longarinas, no caso de existirem, afetam de uma forma razoável as linhas do campo magnético da Terra.



- 1 - Sensor magnético de 2 eixos (Honeywell HMC1022)
- 2 - Circuito de desmagnetização do sensor magnético
- 3 - DAC de calibração do sensor (National DAC084S085)
- 4 - Microcontrolador (Microchip PIC18F26K20)
- 5 - Módulo de IEEE 802.15.4 (Microchip MRF24J40MA)
- 6 - Sensor de temperatura (Microchip MCP9700A)

**Figura 23 - Nova versão do detetor de veículo**

Também foi feita uma melhoria significativa no tempo de calibração do sensor. No protótipo inicial esta calibração era feita por uma tensão de offset que era gerada por PWM e um filtro passa-baixo. Este circuito foi substituído por uma DAC resistiva com interface SPI, componente este que apresenta muito baixo consumo energético. Isto permite ter um tempo de estabilização da tensão de offset muito baixo, reduzindo assim o tempo em que o sensor tem de estar ligado.

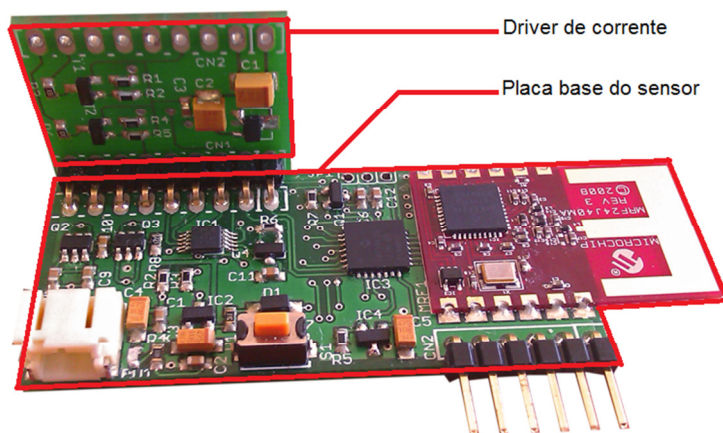


**Figura 24 - Diagrama de Blocos do Detetor de Veículo**

Foi ainda adicionado um sensor de temperatura. Este permite recolher elementos para avaliar o funcionamento correto das baterias já que estas são dispositivos críticos no sistema, extremamente sensíveis à temperatura, e apresentam longevidades que são garantidas pelos fabricantes mas são difíceis de verificar por outras vias. Os dados de temperatura provenientes dos vários detetores de veículo serão armazenados numa base de dados, a qual poderá ser consultada por forma a verificar que nunca foram ultrapassados os limites de temperatura especificados pelo fabricante das baterias.

### 4.3.2 Sinalizador de disponibilidade

O sinalizador de disponibilidade é muito idêntico ao detetor de veículo. Foi utilizada a mesma placa base, alterando-se apenas a placa perpendicular, que integra o sensor magnético. Esta foi substituída por um driver de corrente, por forma a ser possível controlar os leds.



**Figura 25 – Sinalizador de disponibilidade**

Este tipo de abordagem permitiu uma redução do tempo de desenvolvimento. Parte do hardware já estava desenvolvida, assim como praticamente todo o firmware.

A placa de expansão possui ainda um pré-regulador de tensão linear. Desta forma é possível alimentar o sinalizador com os 12V distribuídos nos parques de estacionamento cobertos.

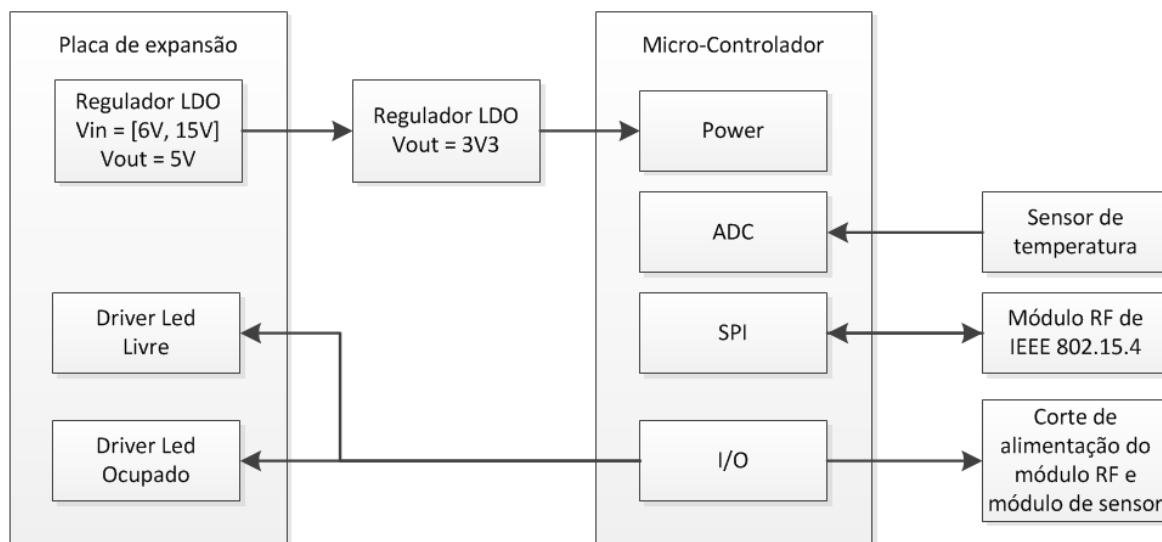
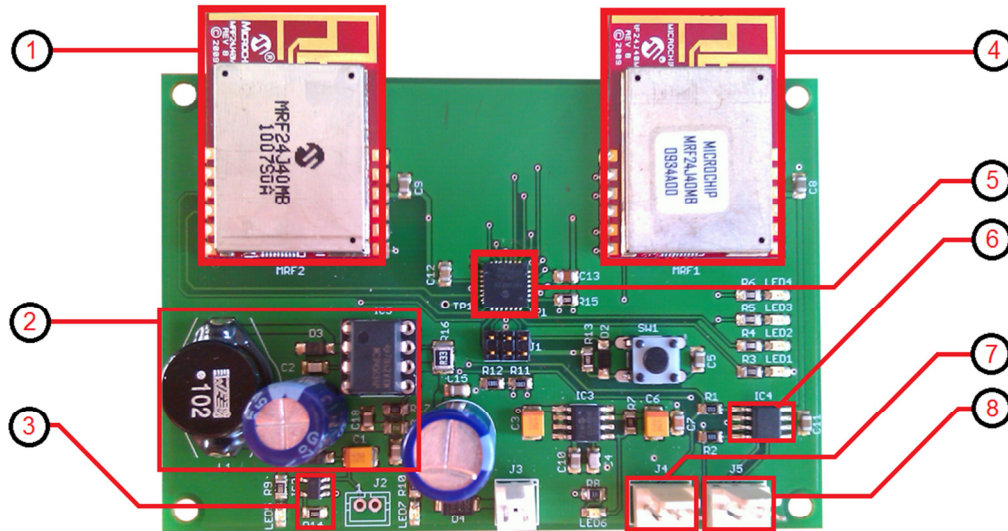


Figura 26 - Diagrama de blocos do sinalizador

### 4.3.3 Datasink / Gateway

Estes dois dispositivos são construídos com base no mesmo hardware, diferindo apenas no modo de funcionamento. São também os mais complexos, tendo redundância tanto nos canais de comunicação como na alimentação.



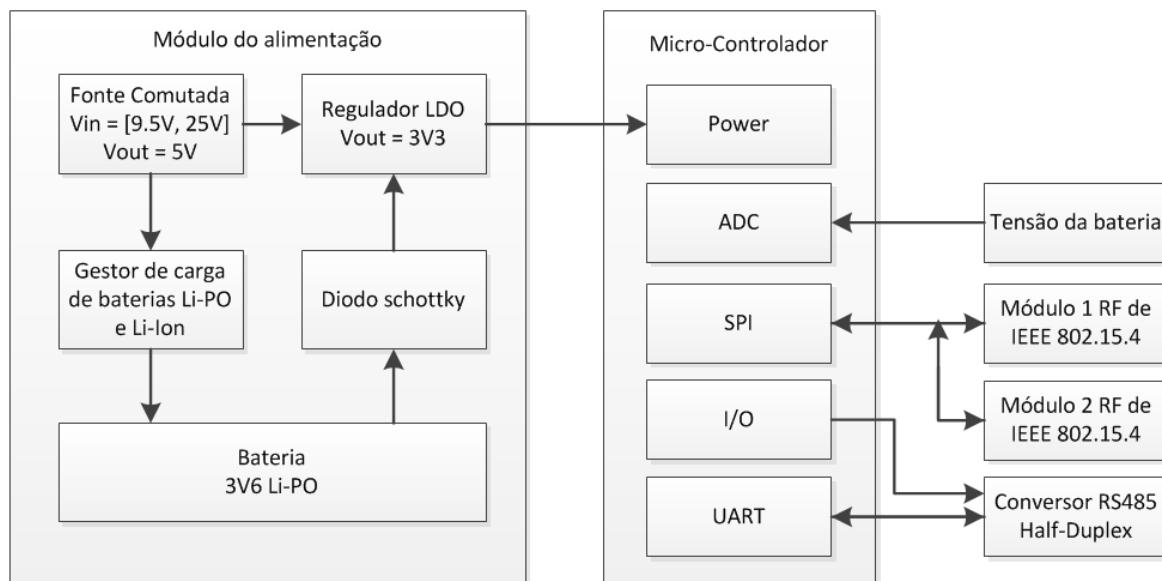
- 1 - Módulo 1 de IEEE 802.15.4 com LNA e PA (Microchip MRF24J40MB)
- 2 - Fonte comutada ( $V_{in} = [9.5V, 25V]$ ;  $V_{out} = 5V$ ) - (MC34063)
- 3 - Gestor de carga de baterias Li-PO e Li-Ion (Microchip MCP73831)
- 4 - Módulo 2 de IEEE 802.15.4 com LNA e PA (Microchip MRF24J40MB)
- 5 - Microcontrolador (Microchip PIC18F26K20)
- 6 - Conversor RS-232 para RS-485 half-duplex (Analog Devices ADM3495)
- 7 - Porto RS-232
- 8 - Porto RS-485 Half-Duplex

Figura 27 - Datasink / Gateway<sup>1</sup>

Esta placa possui uma fonte comutada como fonte principal com uma gama alargada de tensão de entrada, visto não ser certo o método de alimentação. Esta poderá receber 12Vdc, assim como 24Vdc, dependendo do local a instalar. Além disso, como a alimentação é distribuída por longos cabos (podendo chegar a vários quilómetros), poderá muito bem ter uma queda de tensão na própria linha, pelo que esta tem de funcionar abaixo dos 12Vdc.

No caso de falha da alimentação principal pode ainda ser ligada uma bateria Li-PO ou Li-Ion de 3.6V à placa. Esta é carregada caso haja alimentação e, no caso de corte da linha, permanece operacional sem qualquer período de falha (sistema UPS). Isto é conseguido com o recurso a um gestor de carga de baterias de Li-PO/Li-Ion e um diodo com uma queda de tensão muito baixa (diodo de *schottky*) que liga a bateria ao regulador linear low drop out a que a fonte comutada está ligada. Assim a bateria só alimenta o sistema mesmo quando a tensão de saída da fonte comutada é inferior à tensão da bateria, ou seja, havendo corte de alimentação.

<sup>1</sup> LNA – Low Noise Amplifier  
PA – Power Amplifier



**Figura 28 - Diagrama de blocos do Datasink / Gateway**

Diferindo das outras placas, esta possui dois módulos de comunicações de IEEE 802.15.4, assim como estes têm mais potência devido ao *Power Amplifier* (PA) presente nos módulos. Isto permite aumentar a distância de comunicação entre datasinks (essencial em meio urbano). Têm também maior sensibilidade devido a um *Low Noise Amplifier* (LNA) também presente nestas mini placas, aumentando também o alcance das comunicações entre *datasinks* e detetores de veículo. O uso de dois módulos permite comunicar em simultâneo em dois canais, criando desta forma um canal redundante permanente.

Por forma a comunicar com o servidor a placa possui também um conversor RS-232 para RS-485 *half-duplex*. Este é usado porque o protocolo RS-485 permite comunicações com cabos de comprimento bastante grande (até 1,2Km a 115200bps, podendo atingir maiores distâncias com *baud rates* inferiores e cabos de melhor qualidade). Isto é possibilitado pelo facto do sinal enviado ser um sinal diferencial. O sinal enviado é afetado em teoria da mesma forma nas duas componentes. Assim ao subtrair o sinal diferencial positivo do negativo é obtido um sinal praticamente limpo.

Como nas placas descritas anteriormente, esta também possui um microcontrolador da Microchip, um PIC18F26K20. Este tem 4Kbytes de RAM e 128Kbytes de ROM. Nesta placa opera a 16Mips, a velocidade máxima, visto não haver limitações energéticas e por forma a conseguir responder o mais rapidamente possível às mensagens de estado dos detetores de veículo.

## 4.4 Protocolos de comunicação

No sistema desenvolvido são utilizados três protocolos de comunicação, cada um deles destinado ao envio de dados num meio diferente. São enviados dados sobre RS-485 para comunicações a longa distância sobre cabo, é utilizado IEEE 802.15.4 para todas as comunicações sem fios e por fim RS-232 para comunicações a curta distância, como é o caso das comunicações entre os *datasinks* e os painéis informativos.

## 4.4.1 Servidor <-> Gateway sobre RS-485

Este protocolo tem como função a troca de informação entre o servidor e o *gateway*. Tem de ser capaz de enviar para o *gateway* a informação sobre o estado dos sinalizadores de disponibilidade e painéis de contagem de lugares livres, assim como de enviar no sentido oposto, do *gateway* para o servidor, os *acknowledgements* respetivos e as mensagens de estado dos detetores de veículo.

Optou-se por RS-485 *half-duplex*, visto ser uma solução bastante robusta para comunicações a longas distâncias, necessitar de poucos cabos e ser bastante utilizada em sistemas de comunicações em ambientes industriais. Esta também era a opção já efetuada para as soluções da geração anterior.

As mensagens enviadas dos *gateways* para o servidor são as seguintes:

- **Estado de um detetor de veículo**

Estas mensagens são geradas pelos detetores de veículo e armazenadas no *gateway* até que este as possa enviar para o servidor. Contêm o endereço do detetor de veículo, estado de bateria, temperatura e uma *flag* a reportar se houve ou não alteração de estado, assim como o estado em que o detetor de veículo se encontra (livre/ocupado).

- **"I'm Alive" de um sinalizador de disponibilidade**

Como as mensagens anteriores, estas também são armazenadas nos *gateways* até estes receberem um pedido de envio de dados por parte do servidor. São geradas sempre que um sinalizador de disponibilidade altere o seu estado ou periodicamente (intervalo na ordem dos minutos – 4 minutos por defeito) como forma de reportar que se encontra operacional. Esta mensagem contém o endereço do sinalizador de disponibilidade e uma *flag* com o estado em que se encontra o sinalizador.

- **Acknowledgement dos painéis informativos de lugares livres**

Estas mensagens são geradas pelos painéis informativos de lugares livres sempre que estes recebem uma trama de atualização. Estas contêm o endereço do *datasink* ao qual o painel se encontra conectado, o brilho do painel, a contagem de lugares livres e o endereço local do painel.

- **Acknowledgement de configuração de um detetor de veículo**

Esta mensagem é enviada como confirmação da correta configuração de um detetor de veículo. Apenas contém o endereço deste.

As mensagens enviadas do servidor para o *gateways* são as seguintes:

- **Estado de um sinalizador de disponibilidade**

Sempre que um lugar de estacionamento altere o seu estado é necessário enviar esta informação para o sinalizador de disponibilidade correspondente. Esta mensagem é composta pelo endereço do *datasink* ao qual o sinalizador se encontra associado, o endereço do sinalizador, o estado (livre/ocupado) e o modo de operação definido para cada situação pela Intelimotion (pisca-pisca, verde e vermelho ligados, desligado, ...)

- **Contagem de lugares livres para um display**

Sempre que haja necessidade de alterar uma contagem de lugares livres após alteração do estado de um ou mais detetores de veículo, é enviada esta mensagem. Esta é composta pelo endereço do *datasink* ao qual o painel se encontra conectado, o brilho do painel, a contagem de lugares livres, o endereço local do painel e pelo TTL (Tempo de vida).

- **Configuração global do sistema**

Caso seja necessário alterar o canal alternativo de comunicações (por motivo de interferência) e/ou colocar o sistema em modo *Doze* (modo de baixo consumo quando uma secção ou o parque por completo é desativado) esta mensagem é enviada para o *gateway*. Esta contém o canal alternativo de comunicação RF, o modo de funcionamento (normal ou *doze*) e o endereço do *datasink* em que queremos alterar a configuração (permite configuração total ou parcial).

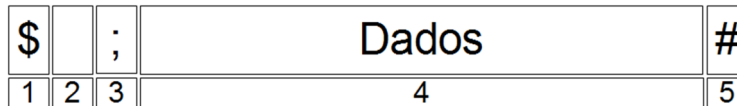
- **Configuração remota de um detetor de veículo**

Esta será a mensagem menos utilizada no sistema. Apenas caso seja detetada alguma falha específica é que terá de ser utilizada. Permite a reconfiguração de um qualquer detetor de veículo a partir do servidor. Contém todos os parâmetros configuráveis deste.

- **Pedido de dados ao *gateway***

Como se está a trabalhar sobre um barramento *half-duplex* é necessário criar alguma ordem no envio de dados por parte dos *gateways*. Estes apenas o poderão fazer após pedido específico por parte do servidor com o uso desta mensagem. Esta contém o endereço do *gateway* (0-255).

Estas mensagens são compostas por uma gama de caracteres restrita pelo facto de ser mais robusto e facilmente se detetar problemas na conexão. As tramas geradas têm o seguinte formato:



- 1 – Carácter Iniciador (\$)
- 2 – Tipo de trama
- 3 – Carácter Separador (;)
- 4 – Dados (campos separados pelo carácter separador)
- 5 – Carácter Terminador (#)

Nota: Cada bloco representa 1 byte (exceto o bloco 4)

**Figura 29 - Estrutura da trama do protocolo sobre RS-485**

Visto que apenas são enviados dados em ASCII optou-se por enviar valores numéricos em base 32 em vez da comum base 10. O envio de dados em ASCII permite fazer *debug* do sistema de uma forma muito mais simples (os dados que passam no barramento são legíveis por humanos, o que não aconteceria com os dados em binário), e adiciona robustez ao sistema, visto que apenas palavras que contenham a gama de caracteres definida são válidas.

O uso de valores numéricos em base 32 permite manter o uso da gama restrita de caracteres, assim como a legibilidade dos dados. Tem a vantagem de ser mais eficiente no envio de informação. Um exemplo disto é o envio de um valor de 10bits. Para se enviar o valor '1023' são necessários 4 bytes com o uso de base 10, enquanto que são necessários apenas 2 bytes com o uso de base 32 – 'vv' o que corresponde a uma redução de 50% dos dados. No entanto para o valor '3' não existe qualquer aumento de eficiência, visto este ter a mesma representação nas duas bases.

Esta base numérica melhora a eficiência na maior parte dos casos. No pior caso a eficiência no envio de dados é equivalente nas duas bases.

O set de caracteres de base 32 é o seguinte:

{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o,p,q,r,s,t,u,v}

É também implementado um método que impede que um *gateway* se apodere da linha. Isto poderia acontecer caso o *buffer* deste, numa determinada altura, estivesse a crescer ao mesmo ritmo da rede de RS-485. Poderiam outros *gateways* ligados ao mesmo barramento ficar com os *buffers* cheios muito mais rapidamente e desta forma perder-se-iam pacotes. Os *gateways* descarregam os *buffers* após pedido do servidor com as seguintes regras e ordem:



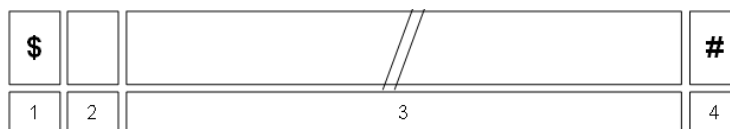
**Tabela 3 - Regra de envio de dados sobre RS-485**

Ordem	Trama	Tipo de trama	Nº máximo de mensagens
1	0	Estado de um detetor de veículo	5
2	1	" <i>I'm Alive</i> " de um sinalizador de disponibilidade	5
3	2	<i>Acknowledgement</i> de atualização de painel informativo de lugares livres	5
4	3	<i>Acknowledgement</i> de configuração de um detetor de veículo	1
5	4	Fim de Envio de dados	1

No fim deste procedimento o servidor pode enviar novo pedido de dados (caso não haja alterações) ou enviar atualizações de estado para o sistema.

## 4.4.2 Rede de sensores sobre IEEE 802.15.4

Ao contrário dos protocolos sobre rede cablada, as tramas deste protocolo não necessitam de caracteres numa gama restrita, para que se conheça o início, fim ou mesmo elementos distintos dentro de uma trama. Existe um conceito de pacote, o qual apenas transporta uma trama. O módulo de IEEE 802.15.4 trata de fazer o processamento dos dados recebidos apenas sendo necessário processar uma trama da qual se conhece a estrutura e a qual pode ser processada byte a byte. No entanto foram colocados dois caracteres na trama que não variam, por forma a verificar se foi bem descriptada, no caso de se encriptar a mensagem. Estes são um iniciador e um terminador.



- 1 – Carácter Iniciador
- 2 – Identificador de mensagem
- 3 – Dados (Tamanho variável)
- 6 – Carácter terminador

**Nota:** Cada bloco representa 1 byte

**Figura 30 - Trama de dados genérica**

As tramas enviadas são as seguintes:

**Tabela 4 - Tramas do protocolo sobre IEEE 802.15.4**

Trama	Tipo de Trama	Percurso
1	Trama de estado dos detetores de veículo	Detetor de veículo -> <i>Datasink</i>
2	Trama de <i>acknowledgement</i> após configuração do detetor de veículo	Detetor de veículo -> <i>Datasink</i>
3	Trama de <i>acknowledgement</i> / <i>"I'm Alive"</i> do sinalizador	Sinalizador -> <i>Datasink</i>
11	Trama de configuração do detetor de veículo	<i>Datasink</i> -> Detetor de veículo
12	Trama de <i>acknowledgement</i> /configuração global	<i>Datasink</i> -> Detetor de veículo
13	Trama de estado do sinalizador de disponibilidade	<i>Datasink</i> -> Sinalizador de disponibilidade
21	<i>Acknowledgement</i> da trama de configuração dos detetores de veículo	<i>Datasink</i> -> Gateway
22	Trama de estado dos detetores de veículo (encapsulada)	<i>Datasink</i> -> Gateway
23	<i>"I'm Alive"</i> do sinalizador de disponibilidade (encapsulada)	<i>Datasink</i> -> Gateway
24	<i>Acknowledgement</i> de configuração dos painéis informativos	<i>Datasink</i> -> Gateway
31	Trama de configuração global	Gateway-> <i>Datasink</i>
32	Trama de configuração dos detetores de veículo (encapsulada)	Gateway-> <i>Datasink</i>
33	Trama de entrada na tabela de <i>datasink</i>	Gateway-> <i>Datasink</i>
34	Trama de número de lugares livres para painel informativo	Gateway-> <i>Datasink</i>
35	Trama de estado do sinalizador de disponibilidade (encapsulada)	Gateway-> <i>Datasink</i>

Estas mensagens encontram-se descritas no capítulo 3.4.2. Os dados são distribuídos aproveitando ao máximo todos os bits dos bytes enviados. Isto permite enviar dados de forma eficiente, embora necessite de algum poder de processamento para empacotar e desempacotar. As vantagens são a redução do tempo de envio (o detetor de veículo não necessita de ter o módulo de RF tanto tempo ligado, assim como, havendo menos dados no ar, há menos probabilidade de colisões). Outra grande vantagem é que os *buffers* de mensagens nos *datasinks* e *gateways* podem ser muito mais reduzidos para a mesma quantidade de informação.

Os pacotes a serem reencaminhados (mensagens encapsuladas) são exatamente iguais aos pacotes originais sendo apenas adicionado um *header* com alguma informação relevante para o processamento dos dados no servidor (endereço do detetor de veículo no caso de uma mensagem de estado de um detetor de veículo), assim como alguma informação com relevância local (números de sequência locais, por forma a evitar a multiplicação de pacotes). Como os *datasinks* enviam os dados de um hop superior para um inferior em dois canais em simultâneo (canal principal e canal redundante), vão ser recebidas duas mensagens idênticas no hop inferior por cada mensagem enviada pelo hop superior. É necessário descartar uma das duas mensagens, para que estas não se multipliquem. Esta filtragem é feita com base no número de sequência

colocado localmente por um *datasink* como header em todas as tramas. Caso cheguem duas tramas consecutivas com o mesmo número de sequência, pode-se concluir que são idênticas.

### 4.4.3 *Datasink* -> Info display sobre RS-232

Este protocolo tem como função a atualização dos displays de contagem de lugares livres. Este é utilizado na comunicação entre os *datasinks* e os painéis de contagem. Trata-se de um protocolo *master-slave* sobre RS-232. Redireciona os dados recebidos pelo *datasink* via IEEE 802.15.4 para o painel com os dados reestruturados.

O protocolo permite o envio de até 32 contagens, embora apenas sejam usadas até 8 na maior parte dos casos. Uma trama possui a seguinte informação:

- **Tempo de vida (TTL)**

Este valor é o número de minutos ao fim do qual o painel deteta que há uma falha de comunicação com o *datasink*. Após este período o painel mostra traços, por forma a não enganar o utilizador. Este valor é utilizado por todas as contagens da trama.

- **Brilho**

É um valor de 0 a 9 que determina a luminosidade de todas as contagens enviadas.

- **Contagem**

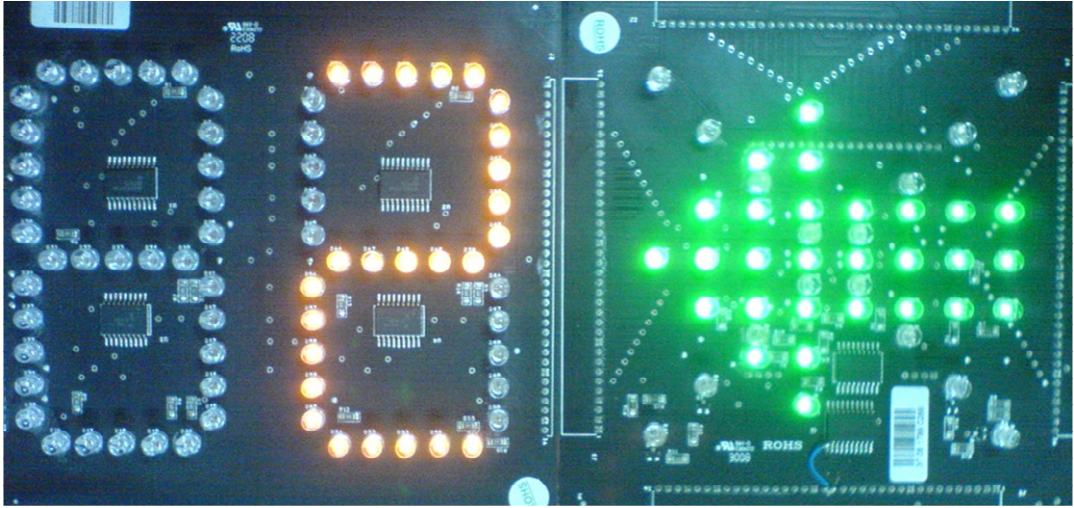
Número de lugares livres a ser mostrado por um determinado contador.

Todos os dados são enviados em ASCII. Estes dados são estruturados da seguinte maneira:

**Tabela 5 - Estrutura das tramas dos painéis**

<b>Dados</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Tamanho</b>
0x02	<i>Header</i> (Iniciador de trama)	1 Byte
ASCII	Endereço de destino	2 Bytes
ASCII	Endereço de origem	2 Bytes
ASCII	Tipo de mensagem	1 Byte
0x1F	Separador	1 Byte
ASCII	Tamanho do campo de dados (dados a cinza)	1 – 3 Bytes
0x1F	Separador	1 Byte
ASCII	Tempo de vida (TTL)	1 Byte
0x1F	Separador	1 Byte
ASCII	Brilho 1	1 Byte
ASCII	Contagem 1	1 – 4 Bytes
0x1F	Separador	1 Byte
ASCII	Brilho 2	1 Byte
ASCII	Contagem 2	1 – 4 Bytes
...	...	...
0x1F	Separador	1 Byte
ASCII	Brilho n	1 Byte
ASCII	Contagem n	1 – 4 Bytes
0x1F	Separador	1 Byte
ASCII	<i>Checksum</i> (soma de todos os bytes dos campos a cinza)	1 – 6 Bytes
0x03	<i>Footer</i> (EOF – Fim de trama)	1 Byte

Este protocolo foi desenvolvido em parceria com a Intelimotion, visto que o display a usar já tinha sido anteriormente desenvolvido por essa empresa.



**Figura 31 - Display de contagem de lugares livres**



# 5. Ensaios experimentais e seleção de bateria

Este capítulo descreve os procedimentos experimentais assim como os resultados obtidos. Foi realizado um teste de consumo energético aos detetores de veículo, por forma a determinar as necessidades energéticas para um funcionamento contínuo mínimo de 5 anos sem qualquer necessidade de intervenção humana. Um segundo teste foi realizado por forma a determinar o alcance da rede em parques de estacionamento cobertos.

Também são descritos alguns dos dados obtidos provenientes do teste piloto que se encontra a decorrer em Lisboa para a EMEL (Serviço de controlo de tempo de cargas e descargas).

## 5.1 Consumo energético

Este estudo foi feito após otimização do firmware (permitiu tempos de operação mais curtos) e do hardware (conduziu a uma redução significativa do consumo mesmo quando o sistema se encontra em *sleep*). Os valores são dados em amperes para uma tensão constante de alimentação de 3.3V. Torna mais simples a análise, visto que a capacidade de baterias é medida geralmente em mAh e a queda de tensão da bateria para os 3.3V é feita com um regulador linear, pelo que esta energia não é aproveitada.

O estudo dividiu-se em duas componentes. A verificação do consumo energético nos períodos em que o sensor não realiza qualquer tarefa (*sleep*) e o estudo do consumo durante o período de leitura do sensor magnético e transmissão de dados. Estes dois momentos são bastante distintos. O primeiro é praticamente constante durante toda a sua duração, visto não haver qualquer tipo de alteração de estado ou tarefa. O segundo, leitura do sensor e transmissão de dados sem fios, tem bastantes variações ao longo de todo o período em que decorre. Obrigou assim a uma análise muito mais detalhada, podendo ser atribuído cada momento a uma tarefa por parte do sensor. Os estudos iniciais conduzidos por este mesmo processo permitiram uma grande otimização do firmware do sensor.

A medição do consumo em *sleep* foi feita com um multímetro de alta precisão. Na primeira versão do sensor era possível obter um valor inferior a 60 $\mu$ A. Na última versão o consumo em *sleep* baixou para 29 $\mu$ A. Isto foi conseguido ao substituir-se o microcontrolador por uma versão mais pequena (do PIC18F46K20 para o PIC18F26K20), o qual tem menos portos e com a minimização do tamanho da placa. Isto permitiu reduzir as correntes de fuga no circuito.

A energia necessária para alimentar o circuito nos momentos em que se encontra em *sleep* durante os 5 anos de funcionamento é a seguinte (como o circuito se encontra

praticamente durante todo o tempo neste estado, podemos assumir como estimativa de pior caso o seguinte):

$$5 \text{ anos} = 24 \text{ (horas/dia)} \cdot 365 \text{ (dias/ano)} \cdot 5 \text{ (anos)} = 43800 \text{ horas}$$

$$C1 = 29\mu\text{A} \cdot 43800\text{horas} = 1270\text{mAh}$$

A medição do consumo do período de leitura do sensor e transmissão de dados sem fios foi realizada com o uso de um osciloscópio digital e uma resistência de *sensing* de  $10\Omega$  (resistência de precisão que não influencia a performance do sistema, visto que a queda de tensão verificada nesta resistência apenas dissipa energia que iria em situação normal ser dissipada pelo regulador linear). Foram também colocados alguns pinos a comutar o estado por forma a averiguar o que representavam as várias formas de onda obtidas por uma medição (a medição final é feita sem os pinos a comutar por forma a não alterar a performance do circuito).

Abaixo encontra-se o gráfico gerado a partir do ficheiro CSV extraído do osciloscópio, o qual representa a forma de onda para uma leitura do sensor e envio de dados da última versão do detetor de veículo (firmware e hardware).

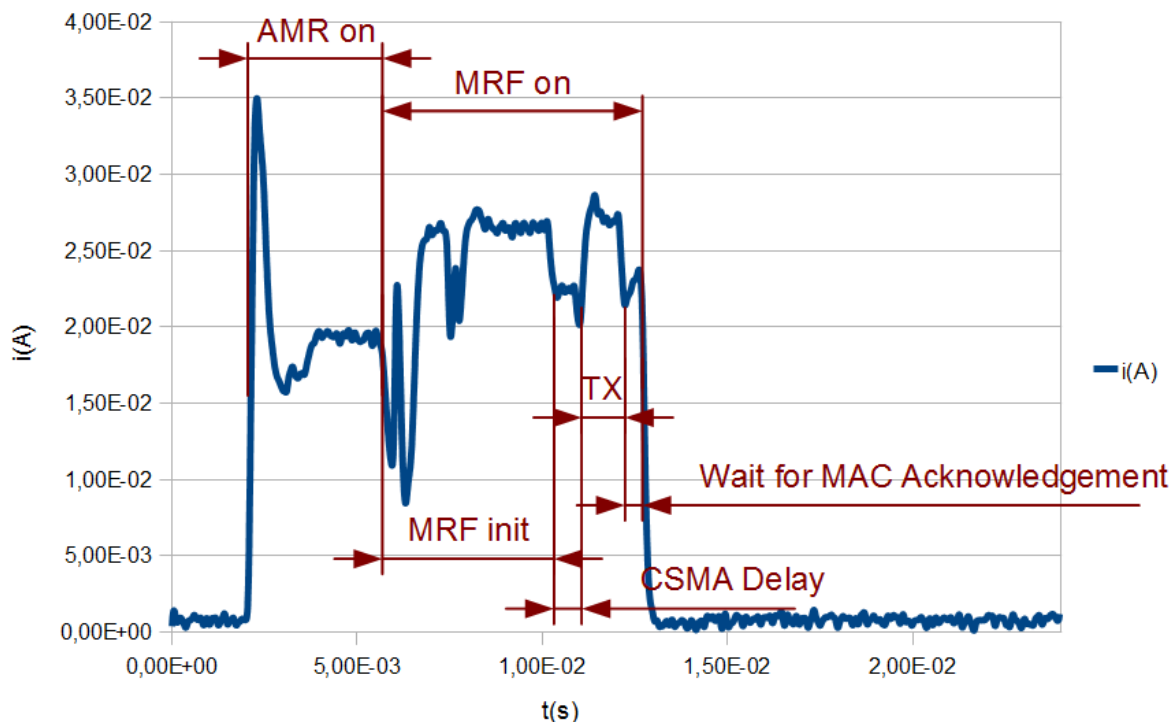


Figura 32 - Gráfico do consumo de corrente do sensor

O gráfico divide-se em duas partes principais, momento de medição do sensor (AMR on) e o momento de envio de dados (MRF on).

A primeira parte tem um pico de arranque do sensor magnético (devido a capacidades deste mesmo sensor). O período de medição é de 4ms e após este mesmo período é cortada a alimentação do mesmo.



A segunda parte tem um período de inicialização de 4ms (MRF *init*). Sempre que se pretende usar o *transceiver* é necessário inicializá-lo. Enquanto não se encontra em operação o *transceiver* não tem qualquer alimentação, pelo que todas as configurações são perdidas após corte de energia. Após isto é feito o envio dos dados. Este tem um compasso de espera aleatório (valor médio no gráfico), vindo do atraso gerado pelo CSMA e só depois é que envia os dados (TX) e por fim aguardo por *acknowledgement* de baixo nível. Por fim é cortada a alimentação do módulo RF e o PIC entra em *sleep*.

O tempo total de operação (medição do sensor e envio de dados) é de 11ms por cada evento destes. Este tem um consumo médio de 23mA. Este valor foi obtido com base em várias amostras recolhidas pelo método indicado acima. Os ficheiros CSV gerados pelo osciloscópio foram importados no *matlab* e foi feita a média do valor de corrente.

Como tal cada evento destes tem o seguinte consumo médio:

$$C_{\text{medição}} = 23\text{mA} \cdot 11\text{ms} = 70\text{nAh}$$

Este evento ocorre a cada 4 segundos (estimativa de pior caso). Como tal o consumo energético do detetor de veículo devido à entrada neste modo ao longo de 5 anos será:

$$\text{eventos}(5 \text{ anos}) = 5 \text{ anos} \cdot 365 \text{ dias} \cdot 24 \text{ horas} \cdot 900 \text{ medições/hora} = 39420000 \text{ medições}$$

$$C_2 = \text{eventos}(5 \text{ anos}) \cdot C_{\text{medição}} = 2760\text{mAh}$$

Com os valores obtidos podemos concluir que a capacidade mínima (de pior caso) de uma bateria para garantir a operação do detetor de veículo ao longo dos 5 anos será de:

$$C = C_1 + C_2 = 1270\text{mAh} + 2760\text{mAh} = 4030\text{mAh}$$

No entanto, para a escolha da bateria é necessário conhecer a sua característica de auto-descarga (a qual também terá um impacto razoável na autonomia do sistema). Apenas após tomar este valor em consideração, se pode obter o valor de capacidade necessária da bateria.

## 5.1.1 Seleção da bateria

Sendo o detetor de veículo um dos elementos mais cruciais do sistema, foi dada especial atenção à seleção da bateria a ser usada no sistema. Esta teria de responder aos seguintes requisitos:

- **Alta densidade energética**

A bateria não poderá exceder o tamanho de uma bateria do tipo C.

- **Baixo desgaste por auto-descarga**

O desgaste da bateria por si tem de ser residual quando comparado com o consumo do detetor de veículo.

- **Característica da tensão em função da carga constante**

Para que o detetor de veículo se encontre operacional a bateria tem de fornecer pelo menos 3.4V.

- **Gama de temperatura alargada (-40°C a 85°C)**

A bateria tem de resistir ao ambiente em que o detetor de veículo vai ser colocado. A caixa do detetor de veículo poderá estar sob exposição solar direta ou mesmo coberta de neve.

Perante estes requisitos optou-se por baterias de Li-SOCl<sub>2</sub>, as quais cumprem todos estes requisitos. Apenas têm uma auto-descarga inferior a 1% ao ano quando num ambiente a 20°C. Baterias idênticas são usadas nos dispositivos da Via-Verde [21] por este mesmo motivo. São sistemas que, devido ao seu baixo *duty-cycle* (apenas operam das poucas vezes que se passa por um pórtico), deixariam de funcionar com uma bateria comum não pelo consumo do sistema, mas sim pelo envelhecimento natural da bateria.

Optou-se pela bateria SAFT [22] LS 26500 [23], a qual se trata de uma bateria de 3.6V com capacidade de 7700mAh com formato idêntico às baterias do tipo C.

Podemos verificar que a energia perdida devido à auto-descarga da bateria (pior caso) é a seguinte:

$$Cad = 376mAh$$

$$Tolerância = (C + Cad) \cdot \frac{100}{7700mAh} = 43\%$$

A tolerância obtida com esta bateria permite no futuro oferecer outros serviços, assim como é uma margem confortável, tendo em conta que é difícil de saber o estado das baterias quando vêm da fábrica (podem já se encontrar em stock há algum tempo).

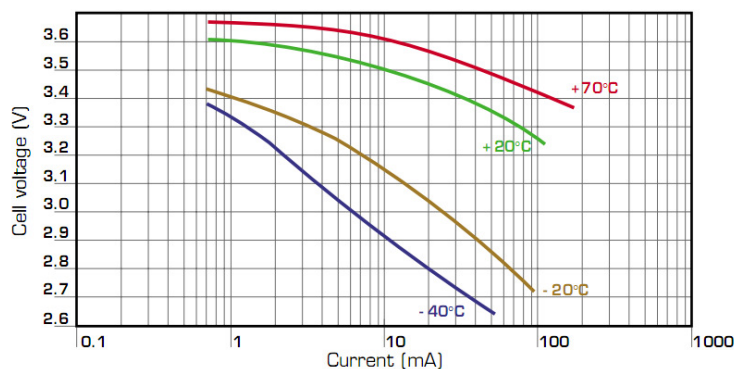


Figura 33 - Tensão/temperatura em função da corrente a meia carga (SAFT LS 26500) [23]

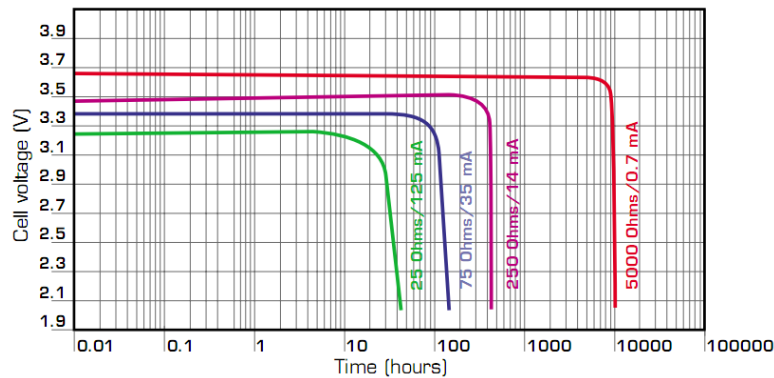


Figura 34 - Perfil de funcionamento da bateria (SAFT LS 26500) [23]

## 5.2 Ensaios de alcance da rede

Foram realizados testes em parques cobertos por forma a identificar eventuais problemas neste tipo de edificações. Estes apresentam dificuldade acrescida no que diz respeito à propagação de ondas eletromagnéticas, visto haver muitas estruturas (e.g. paredes de betão armado, suportes estruturais, ...) que refletem e/ou atenuam os sinais de RF. Como consequência o alcance entre dispositivos é frequentemente diminuído.

Por vezes também é impossível obter linha de vista entre todos os dispositivos, fator que limita bastante o alcance da rede. Isto acontece visto que a densidade de estacionamento em parques cobertos é muito superior à densidade de estacionamento na via pública. No entanto também se trata de uma vantagem, pois um *datasink* poderá cobrir um maior número de lugares.

Dos testes realizados verificou-se que muitas vezes o sinal recebido entre dispositivos era tudo menos previsível. Em algumas situações obteve-se melhor sinal entre dispositivos que se encontravam a uma distância superior do que outros que se encontravam mais perto. Isto deveu-se às reflexões de sinal dentro do parque. Devido a esta razão, o sistema de encaminhamento de mensagens foi ligeiramente alterado. Seria complicado de prever qual o *datasink* que iria receber melhor sinal de um detetor de veículo. Por forma a simplificar a instalação do equipamento (não haver preocupação de qual o melhor *datasink* ao qual parrear o detetor de veículo), os detetores de veículo foram alterados para enviar mensagens em *broadcast*. Assim a instalação da rede passou a ser equivalente à instalação de uma rede Wi-Fi, no sentido em que os *endpoints* do sistema ligam-se automaticamente ao nó que considerarem melhor em termos de potência de sinal e ou disponibilidade de resposta.

Outro problema que foi detetado foi a atenuação brusca de sinal quando as antenas dos *datasinks* se encontram a uma distância na ordem do comprimento de onda do sinal (2,4GHz -> 12,5cm) de uma parede de betão armado. Há que haver o cuidado de afastar estes elementos destas estruturas para que o sistema opere corretamente.

O sistema também foi testado em parques exteriores. Neste caso a maior preocupação seria a existência de interferências da imensidão de *hotspots* Wi-Fi que existem nas grandes cidades, visto estas redes operarem na mesma gama de frequências. Por forma a minimizar as colisões o sistema opera na gama equivalente ao canal 14 de Wi-Fi, o qual não pode ser usado na

união europeia. No entanto nada impede que o filtro de alguns APs seja de qualidade inferior e devido a isto emitirem algum sinal nessa gama de frequências.

O sistema foi testado em Lisboa na avenida Guerra Junqueiro. No centro dessa mesma rua após 5 minutos na mesma posição foram detetados 102 *hotspots* como pode ser confirmado na imagem abaixo. Apesar disto não foi detetada qualquer perda de pacotes devido a interferência destas redes. Foi utilizado o programa InSSIDer [24] para verificar os APs existentes nas proximidades.

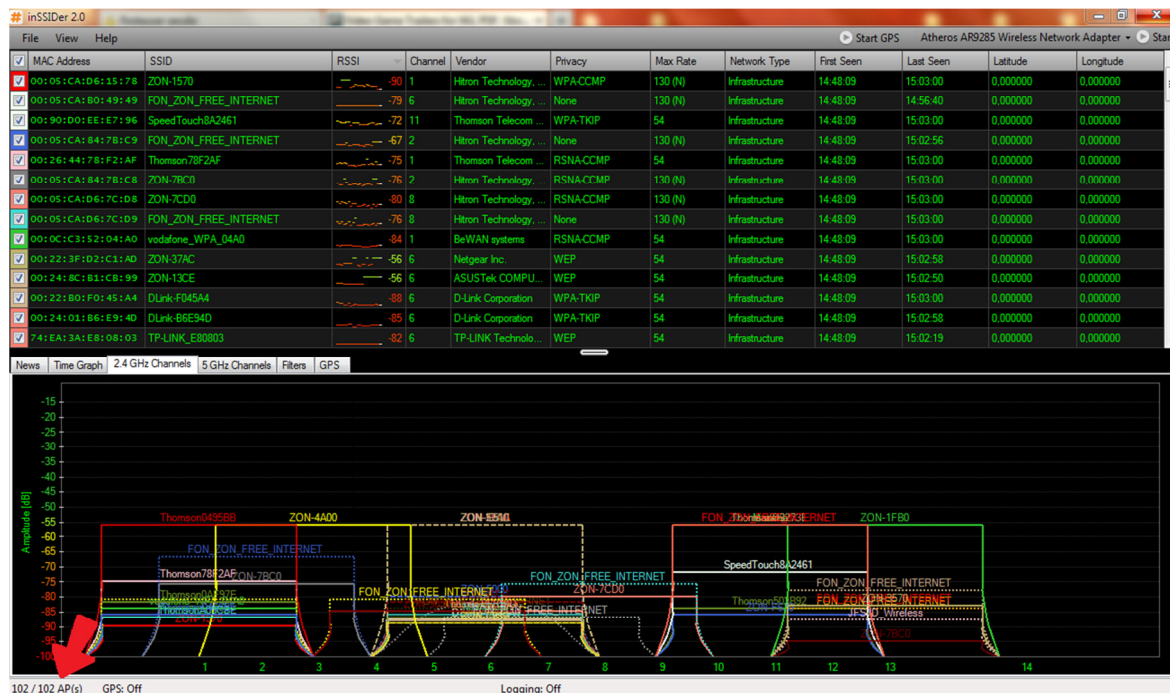


Figura 35 – *Hotspots* em posição estática numa zona habitacional

## 5.3 Teste Piloto

Como primeira abordagem real do sistema na via pública, foram instalados detetores de veículo em 9 lugares de cargas e descargas numa rua movimentada de Lisboa (Avenida Guerra Junqueiro). Estes foram lá colocados ao serviço da EMEL [5] como forma de verificação de tempo de ocupação destes lugares. Por forma a tornar mais eficiente o serviço de cargas e descargas nestes lugares, o tempo de paragem está limitado a 30 minutos. Caso alguém exceda este tempo um fiscal irá deslocar-se até este lugar e aplicar uma coima sobre o veículo que se encontra em infração.

O teste consistiu na colocação de detetores de veículo no chão (os quais foram colados com cola Epoxi), 2 *datasinks* em postes de iluminação e um *gateway/datasink* (dispositivo misto) ligado a um modem GSM. Os *datasinks*, *gateway* e modem GSM são alimentados por pequenos painéis solares, como pode ser visto nas imagens abaixo.

Esta instalação permite verificar e corrigir eventuais parâmetros que, em ambiente de laboratório, passam despercebidos. Um exemplo é o facto de um veículo com o motor ligado ter uma influência no campo magnético diferente de quando se encontra com o motor desligado.

Este teste piloto decorre desde 15 de Setembro de 2011 e até 8 de Fevereiro de 2012 já recolheu mais de 400000 leituras dos detetores de veículo. Os dados recebidos são os seguintes:

- Tensão da bateria dos detetores de veículo
- Temperatura dos detetores de veículo
- Potência de sinal da receção das mensagens de estado do detetor de veículo por parte dos *datasinks*
- Número de sequência das mensagens dos detetores de veículo
- Estado do detetor de veículo
- Valores de tensão da medição do sensor magnético
- Hora de chegada das mensagens

Os dados são enviados via GPRS para um servidor onde se encontra a correr um serviço (servidor TCP) responsável por aceitar ligações do sistema e colocar os dados numa base de dados Microsoft SQL a correr também na mesma máquina.



Figura 36 - *Datasink* Solar



Figura 37 – Detetor de veículo



# 6. Conclusão e trabalho futuro

As tecnologias da informação têm-se mostrado como meio de reduzir o impacto humano no ambiente. Tem-se procurado encontrar soluções que tornem as nossas tarefas e as nossas máquinas (fontes de poluição) mais eficientes.

Esta dissertação enquadra-se no desenvolvimento de uma tecnologia verde, a qual tem como objetivo aumentar a eficiência dos automóveis, por meio indireto. Permite que a utilização de parques de estacionamento seja mais eficiente (redução do tempo de procura por um lugar livre), reduzindo assim a emissão de gases tóxicos para a atmosfera. O sistema também permite reduzir consumo energético na iluminação dos parques, ao ter informação sobre a necessidade de uso de sectores de um parque.

O projeto é dirigido a centros comerciais ou gestores de grandes parques de estacionamento (e.g. BragaParques). Permite-lhes uma redução de consumos em iluminação, redução do desgaste das vias e aumento de afluência.

Permite também a implementação em ambiente exterior para controlo mais eficaz de fraude de pagamento de estacionamento na via pública.

Foram desenvolvidos protocolos e todo o hardware necessário para a instalação de um destes sistemas. Este sistema diferencia-se pela sua simplicidade de instalação promovendo a redução do uso de cabos, pela sua robustez que possibilita a sua instalação em ambiente exterior e pela sua flexibilidade conferida pela possibilidade de, em qualquer altura, poderem ser adicionados novos elementos no sistema.

A dissertação especifica todos os protocolos e hardware desenvolvidos, assim como testes realizados com o sistema. O sistema encontra-se implementado na íntegra, tendo sido testado em ambiente de laboratório e no campo da aplicação, encontrando-se em teste em Lisboa ao serviço de uma parceria entre as empresas EMEL e Intelimotion.

## Trabalho Futuro

Como foi referido na conclusão, encontra-se um teste piloto a decorrer em Lisboa. Este irá permitir determinar eventuais problemas devido a colisões ou mesmo desgaste anormal das baterias. A análise destes dados será algo que mostrará quais os problemas que o sistema possa ainda ter.

Faltou ainda um piloto em parques cobertos com o uso de sinalizadores, os quais não foram instalados no teste em curso em Lisboa. Este teste irá ser realizado um futuro próximo.





# Bibliografia

- [1] Portal do Shopping. (2012, Janeiro) Portal do Shopping - Estatísticas de shoppings no Brasil. [Online]. <http://www.portaldoshopping.com.br/sobreosetor.asp?codAreaMae=10&codArea=49&codConteudo=3>
- [2] Intelimotion. (2011, Dezembro) Intelimotion - Tecnologia avançada para parques de estacionamento. [Online]. [www.intelimotion.com](http://www.intelimotion.com)
- [3] Micro I/O. (2011, Dezembro) Micro I/O - Serviços de Electrónica, Lda. [Online]. <http://www.microio.pt/>
- [4] IEEE. (2011, Dezembro) IEEE 802.15.4-2003 Standard. [Online]. <http://www.cs.jhu.edu/~cliang4/public/datasheets/802.15.4-2003.pdf>
- [5] EMEL. (2011, Dezembro) EMEL - Página Inicial. [Online]. <http://www.emel.pt/pt/>
- [6] ParkHelp. (2011, Dezembro) ParkHelp - Mobility & Sustainability Solutions. [Online]. <http://www.parkhelp.com/sistemas-parking/>
- [7] Circontrol. (2011, Dezembro) Circontrol - Mobility and Security. [Online]. <http://cirpark.circontrol.com/>
- [8] Parkassist. (2011, Dezembro) Parkassist - Sensing Success. [Online]. <http://www.parkassist.com/index.php/home/>
- [9] Intelligent Devices. (2011, Dezembro) Intelligent Devices - Parking Guidance Systems. [Online]. <http://intelligentdevicesinc.com/solutions/parking-guidance-systems/>
- [10] Siemens. (2011, Dezembro) Parking Guidance System. [Online]. [http://www.itssiemens.com/en/t\\_nav132.html](http://www.itssiemens.com/en/t_nav132.html)
- [11] Poh Kit Chong, Taehong Kim, Jonggu Kang, Daeyoung Kim Seong-eun Yoo, "PGS: Parking Guidance System based on Wireless Sensor Network", vol. 978-1-4244-1653-0/08, no. ISWPC 2008, 2008.
- [12] Srikanth S. V. et al., "Design and Implementation of a prototype Smart PARKing (SPARK) System using Wireless Sensor Networks" in *2009 International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, India, 2009, pp. 23-32.
- [13] Siemens. (2011, Dezembro) SiPark SSD car park guidance system - Brochure. [Online]. <https://www1.vtrenz.net/imarkownerfiles/ownerassets/1111/sipark.pdf>
- [14] Parkassist, "Guided Tour" *Intertraffic World*, vol. Annual Showcase 2011, p. 123, 2011.
- [15] Zigbee Alliance. (2011, Dezembro) Zigbee Alliance - Home. [Online]. <http://www.zigbee.org/>
- [16] Microchip. (2011, Fevereiro) Microchip - Application Notes. [Online]. [http://www.microchip.com/stellent/idcplg?ldcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=1824&appnote=en536181](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?ldcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appnote=en536181)
- [17] 6lowpan Working Group. (2011, Dezembro) IPv6 over Low Power WPAN (6LowPAN). [Online]. <http://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/charter/>
- [18] Hermann Kopetz, *Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications*, 2nd ed. Wien, Austria: Springer, 2011.
- [19] Microchip. (2010, Março) Microchip MPLAB X IDE. [Online]. [http://www1.microchip.com/downloads/mplab/X\\_Beta/index.html](http://www1.microchip.com/downloads/mplab/X_Beta/index.html)

- [20] Honeywell. (2011, Dezembro) Honeywell International. [Online]. <http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>
- [21] Via Verde. (2011, Dezembro) Via Verde. [Online]. <http://www.viaverde.pt/Website/>
- [22] Saft. (2011, Dezembro) Saft Batteries. [Online]. <http://www.saftbatteries.com/>
- [23] Saft. (2011, Dezembro) Saft LS26500 Datasheet. [Online]. [http://www.saftbatteries.com/doc/Documents/primary/Cube655/LS26500\\_0510.45639c68-11ea-4d97-8a55-aaaa8be04354.pdf](http://www.saftbatteries.com/doc/Documents/primary/Cube655/LS26500_0510.45639c68-11ea-4d97-8a55-aaaa8be04354.pdf)
- [24] Metageek. (2011, Dezembro) Metageek - inSSIDer. [Online]. <http://www.metageek.net/products/inssider/>
- [25] Microchip. (2010, Fevereiro) Microchip - Wireless and Wired Solutions. [Online]. [http://www.microchip.com/stellent/idcplq?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=2664&param=en520414](http://www.microchip.com/stellent/idcplq?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2664&param=en520414)
- [26] Microchip. (2011, Dezembro) Home page. [Online]. <http://www.microchip.com/>
- [27] Yuan Zheng, Jiannong Cao Vanessa W.S. Tang, "An Intelligent Car Park Management System based on Wireless Sensor Networks" in *2006 1st International Symposium on Pervasive Computing and Applications*, P.R.China, 2006, pp. 65 - 70.
- [28] Shin Kato, Naoko Minobe, Sadayuki Tsugawa Naohisa Hashimoto, "Automated Vehicle Mobile Guidance System for Parking Assistance" in *2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Istambul, Turkey, 2007, pp. 630 - 635.
- [29] Yoon-Bong Yoo Jae-Jeung Rho Jung-Wook Lee, "An Enhanced Parking Lot Service Model Using Wireless Sensor Network" in *The IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN 2008)*, Daejeon, Korea, 2008, pp. 349 - 354.

