



**Universidade de  
Aveiro**

Departamento de Electrónica,  
Telecomunicações e Informática

**2014**

**PEDRO FILIPE DOS  
SANTOS FRANCO**

**SOLUÇÕES PARA SMART PARKING COM  
BASE EM TECNOLOGIAS SEM FIOS**





**Universidade de Aveiro**

**2014**

Departamento de Electrónica,  
Telecomunicações e  
Informática

**PEDRO FILIPE DOS SANTOS FRANCO**     **SOLUÇÕES PARA SMART PARKING  
COM BASE EM TECNOLOGIAS SEM FIOS**

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





Dedico o trabalho desenvolvido aos meus pais, familiares e amigos que me apoiaram ao longo deste percurso.

## **o júri**

Presidente

Prof. Dr. António Luís Jesus Teixeira  
professor associado com agregação da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Mário Jorge de Andrade Ferreira Alves  
professor coordenador do Instituto Politécnico do Porto

Prof. Dr. José Alberto Gouveia Fonseca  
professor associado da Universidade de Aveiro



**agradecimentos**

A todos aqueles que contribuíram para os meus conhecimentos o meu muito obrigado.





**palavras-chave**

estacionamento inteligente, comunicação sem fios, *Bluetooth Low Energy*, baixo consumo, redes de sensores sem fios, aplicação móvel, pagamento.

## **resumo**

Com o trabalho apresentado pretende analisar-se o mercado dos parques de estacionamento inteligentes, propondo soluções alternativas passíveis de aplicar em ambientes *indoor* e *outdoor* minimizando os custos de aplicação e facilitando o seu uso por parte do cliente e da entidade que possui a tecnologia.

Tendo em conta os produtos presentes no mercado e as tecnologias de comunicação sem fios de baixo consumo disponíveis, serão propostos vários casos de aplicação, descrevendo os pontos fortes de cada um.

**keywords**

smart parking, wireless communications, low power, *Bluetooth Low Energy*, wireless sensor networks, mobile application, mobile payment.

**abstract**

The purpose of this document is to study the smart parking ecosystem, presenting alternative solutions that could be applied to indoor and outdoor environments, minimizing the application costs and making an easy to use product.

Knowing the available products in the market and the wireless technologies applied, some application cases will be presented, describing the strengths and weaknesses of each one.



# Índice

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação .....	1
1.2 Objectivos .....	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	2
<b>2. Análise de mercado .....</b>	<b>4</b>
2.1 Descrição do produto a comercializar .....	4
2.2 Oportunidade de mercado .....	6
2.3 Estratégia de negócio .....	6
2.4 Descrição do público-alvo.....	7
2.5 Perspectiva dos intervenientes .....	8
2.5.1 Utilizador do parque .....	8
2.5.2 Estabelecimento comercial .....	8
2.5.3 Gestor de mobilidade urbana .....	9
2.5.4 Controlador de pagamentos .....	9
2.5.5 Técnico de apoio ao sistema .....	9
<b>3. Estado de arte .....</b>	<b>11</b>
3.1 Introdução .....	11
3.2 Detectores de veículo .....	11
3.2.1 Soluções académicas e comerciais.....	11
3.2.2 Análise comparativa .....	15
3.3 Tecnologias de comunicação.....	17
3.3.1 IEEE 802.15.4 .....	17

3.3.2	<i>Bluetooth Low Energy</i> .....	19
3.3.3	IEEE 802.11-g (Wi-Fi) .....	21
3.3.4	Comparação de tecnologias .....	21
3.4	Sistemas de pagamento .....	30
3.4.1	Comparação dos sistemas disponíveis no mercado .....	30
<b>4.</b>	<b>Casos de aplicação</b> .....	<b>34</b>
4.1.1	Com detector de lugar .....	34
4.1.2	Sem detector de lugar .....	34
<b>5.</b>	<b>Arquitectura do sistema</b> .....	<b>35</b>
5.1	Elementos do sistema.....	35
5.1.1	Telemóvel do utilizador.....	35
5.1.2	Detector de veículo .....	35
5.1.3	Datasink.....	36
5.1.4	Gateway.....	37
5.1.5	Servidor e base de dados .....	37
5.2	Estrutura da rede.....	38
5.3	Modo de funcionamento.....	39
5.3.1	Modelo de comunicação.....	39
5.3.2	Modelo de tramas .....	41
5.3.3	Interfaces de ligação .....	43
5.4	Fluxograma .....	44
5.5	Funcionalidades do sistema .....	45
5.5.1	Infra-estrutura .....	45
5.5.2	Aplicação móvel .....	45
<b>6.</b>	<b>Aspectos de implementação do sistema</b> .....	<b>47</b>



6.1	Hardware .....	47
6.1.1	Telemóvel .....	47
6.1.2	Detector de veículo .....	47
6.1.3	Módulo de comunicações sem fios .....	48
6.1.4	Gateway.....	48
6.1.5	Modem GPRS.....	49
6.1.6	Servidor remoto de acesso à base de dados.....	49
6.2	Software.....	50
6.2.1	Ferramentas de desenvolvimento .....	50
6.2.2	Software desenvolvido .....	52
<b>7.</b>	<b>Avaliação experimental .....</b>	<b>55</b>
7.1	Alcance.....	55
7.1.1	Em linha de vista .....	55
7.1.2	Com obstáculos .....	56
7.2	Robustez .....	58
<b>8.</b>	<b>Conclusões e Trabalho futuro .....</b>	<b>59</b>
8.1	Conclusões.....	59
8.2	Trabalho futuro.....	59
<b>9.</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>61</b>

# Lista de figuras

Figura 3.1 - Malha indutora (Exemplo de aplicação) [2] .....	12
Figura 3.2 - Exemplo de aplicação de sensor de estacionamento com ultra-sons [5].....	13
Figura 3.3 - Topologia de estrela.....	17
Figura 3.4 - Topologia de árvore .....	17
Figura 3.5 - Topologia de malha.....	18
Figura 3.6 - Trama de dados do <i>Bluetooth Low Energy</i> . .....	22
Figura 3.7 - Tramas de dados do protocolo 802.15.4. ....	23
Figura 3.8 - Formato de trama do Wi-Fi [16] .....	24
Figura 3.9 - Modo de operação do mecanismo <i>Adaptive Frequency Hopping</i> [24]. ....	27
Figura 3.10 - Modulação de sinal usando DSSS [25] .....	28
Figura 5.1 - Detector de veículo [30].....	36
Figura 5.2 - Estrutura da rede .....	38
Figura 5.3 - Modelo OSI do BLE [31].....	39
Figura 5.4 - Estados possíveis da camada de ligação do BLE [32] .....	39
Figura 5.5 - Interfaces de ligação .....	43
Figura 5.6 - Funcionamento global do sistema .....	44
Figura 6.1 - Telemóvel equipado com <i>Bluetooth Low Energy</i> (Nexus 5) [34].....	47
Figura 6.2 - HMC1022 [35] .....	47
Figura 6.3 - Módulo de <i>Bluetooth Low Energy</i> [36] e Arduino Uno [37] .....	48
Figura 6.4 - Ambiente de desenvolvimento de aplicações móveis (Android Studio) .....	50
Figura 6.5 - Arduino 1.0.5 (IDE) [39].....	51
Figura 6.6 - MPLAB X [40].....	51

Figura 6.7 - NetBeans 8.0 [41].....	52
Figura 6.8 - Base de dados .....	54
Figura 7.1 - Teste em linha de vista.....	55
Figura 7.2 - Alcance do sistema em linha de vista .....	56
Figura 7.3 - Teste de obstáculos com carros.....	56
Figura 7.4 - Teste de alcance em espaço aberto.....	57
Figura 7.5 - Teste de alcance em espaço urbano.....	57
Figura 7.6 - Alcance do sistema com obstáculos .....	58

Tabela 3.1 - Comparação entre sistemas de pagamento ..... 33

# 1. INTRODUÇÃO

Com a constante evolução da tecnologia e com a miniaturização dos componentes electrónicos nos últimos anos, surgem novas possibilidades em diversas áreas de engenharia, sendo possível criar produtos com melhor desempenho e menor consumo.

Isto tem particular importância porque são pequenas coisas que fazem a diferença e tendo a possibilidade de utilizar um vasto leque de dispositivos em miniatura, podemos transformar o nosso dia-a-dia, utilizando os recursos de forma mais eficiente.

No entanto, não basta utilizar as mais recentes tecnologias para ter sucesso na realização de um produto ou projecto, é também necessário garantir que este corresponde às expectativas do utilizador, seja inovador, cumpra os objectivos propostos e seja utilizado por um grande número de pessoas.

Uma vez que este trabalho é direccionado para a área da electrónica e das telecomunicações e tem como propósito desenvolver soluções alternativas para parques de estacionamento inteligentes, pretende realizar-se um estudo acerca dos produtos e tecnologias de comunicação sem fios presentes no mercado, para que se possa fazer uma análise detalhada dos mesmos e apresentar novas soluções.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Durante o decorrer do curso, desenvolvi vários projectos na área de sistemas embebidos, que despertaram o meu interesse, devido ao reduzido tamanho dos sistemas, à sua capacidade de processamento e às inúmeras possibilidades que teria ao dispor, graças a um simples micro controlador.

No entanto, tinha a sensação de que faltava algo que pudesse tornar este tipo de projectos mais atractivos e interessantes. Durante o meu percurso académico, optei por descobrir um pouco mais sobre os sistemas operativos utilizados nos *smartphones*, tendo adquirido conhecimentos sobre os mesmos, nomeadamente ao nível de desenvolvimento de aplicações.

O conhecimento adquirido nessa área, permitiu juntar o útil ao agradável, tendo agora a possibilidade de monitorizar e controlar um projecto de forma interactiva e remota a partir de um *smartphone*.

Ao abordar o tema com o Prof. Dr. José Alberto Fonseca, surgiu a possibilidade de realizar um projecto que tirasse partido das áreas referidas com aplicação na área de parques de estacionamento inteligentes (*smart parking*), este trabalho de dissertação.

## 1.2 OBJECTIVOS

Com a realização deste trabalho, pretende desenvolver-se um sistema de pagamento inteligente em parceria com a empresa Micro I/O - Sistemas Electrónicos [1], que permita ao utilizador realizar o pagamento de serviços utilizando para o efeito um telemóvel e a tecnologia *Bluetooth Low Energy*.

O trabalho a desenvolver terá como base uma rede de sensores sem fios (WSN em inglês), criada e desenvolvida pela Micro I/O, responsável por fazer a monitorização dos lugares ocupados em ambientes *indoor* ou *outdoor*, que será adaptada para suportar um sistema de pagamentos multi-modal, capaz de:

- Minimizar os custos de aplicação
- Maximizar a eficiência energética
- Facilitar a interacção utilizador - sistema de pagamento
- Disponibilizar uma solução alternativa aos sistemas de pagamento já existentes

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta tese encontra-se dividida em oito capítulos, que são os seguintes: introdução, sumário executivo, estado de arte, casos de aplicação, arquitectura do sistema, desenvolvimento, resultados, conclusão e trabalho futuro.

O primeiro capítulo descreve e destaca a importância de sistemas autónomos no dia-a-dia, a necessidade de criar e desenvolver um novo sistema de pagamento e ainda os objectivos que se pretendem atingir com a realização deste projecto.

De seguida, é apresentado um sumário executivo, que tem como objectivo captar o interesse do leitor, descrevendo o produto a ser comercializado, analisando o mercado e propondo uma estratégia de negócio, por forma a atingir os objectivos estabelecidos.

No terceiro capítulo, realiza-se uma análise de mercado para identificar soluções equivalentes, com o objectivo de estudar as tecnologias utilizadas, as funcionalidades que apresentam, o custo de instalação e manutenção e os locais em que estão instalados. Isto permite criar um novo produto que terá como base os pontos fortes dos actuais sistemas, tendo ainda a possibilidade de adicionar novas funcionalidades e melhorar as já existentes no mercado.

São ainda descritas e analisadas as tecnologias de comunicação identificadas nos produtos referidos, sendo feita uma comparação entre todas, utilizando para o efeito vários critérios de interesse.

O quarto capítulo, "Casos de aplicação", consiste na descrição e abordagem de vários casos de interesse em que o sistema pode ser aplicado.

No quinto capítulo, o tema abordado é arquitectura do sistema, onde são descritos os elementos do sistema, o modo de funcionamento e as funcionalidades do mesmo.

O sexto capítulo, "Desenvolvimento", consiste na descrição do projecto tendo em conta a vertente prática, abordando o trabalho realizado em termos de *software* e *hardware*.

No sétimo capítulo, "Resultados", pretendem-se demonstrar e analisar os resultados obtidos com a realização do projecto e tirar conclusões sobre os mesmos.

Por fim, no oitavo e último capítulo, "Conclusões e Trabalho futuro", pretende-se analisar de forma crítica o trabalho realizado como um todo e sugerir propostas de trabalho futuro, que permitam dar continuidade ao trabalho desenvolvido.

## 2. ANÁLISE DE MERCADO

### 2.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO A COMERCIALIZAR

O trabalho a desenvolver tem em vista a criação de um produto comercial, que consiste no desenvolvimento de um sistema de pagamento que possa ser baseado numa rede de sensores de estacionamento modular. Para o efeito, pretendem-se utilizar as mais recentes tecnologias de comunicação, garantindo fiabilidade, flexibilidade e ainda um baixo consumo.

A concepção deste produto, tem como objectivo otimizar e facilitar a gestão de lugares de estacionamento, fornecendo ao utilizador a melhor experiência possível.

A detecção de lugares ocupados, traz vantagens tanto para o utilizador, como para a entidade que gere o parque de estacionamento, pois passa a ser possível encontrar um lugar vago em muito menos tempo e ainda realizar um melhor planeamento e gestão do espaço.

A descrição de rede de sensores como modular, resulta no facto de cada módulo (detector de veículo) ser equipado com comunicações sem fios, o que permite expandir a rede de forma fácil e com um tempo e custo de instalação bastante reduzidos.

Tal como os módulos de estacionamento, o sistema será também dotado de comunicações sem fios, para poder comunicar com o utilizador.

A tecnologia que se pretende utilizar, o *Bluetooth Low Energy*, está presente na maioria dos *smartphones*, pelo que o utilizador só necessita de descarregar a aplicação móvel da plataforma, para o poder utilizar. Isto elimina a necessidade de adquirir equipamento extra e permite reduzir o tempo de adaptação, uma vez que este já se encontra familiarizado com a tecnologia, resultando numa melhor experiência de utilização.

Tirando partido de uma comunicação directa com o utilizador, é possível disponibilizar vários serviços como: pagamento remoto, registo de entrada/saída de estacionamento, entrada/saída no parque (para parques *indoor*), monitorização e controlo de lugares, controlo de pagamentos, entre outros.

Graças à arquitectura da plataforma, é possível implementar este sistema em ambientes *indoor* (parques de estacionamento cobertos) ou *outdoor* (parques de estacionamento exteriores ou vias públicas) sem ser necessária a existência de sensores de estacionamento para cada lugar. Esta e outras propostas de aplicação, encontram-se descritas de forma mais detalhada no capítulo 4 - Casos de aplicação.

De acordo as funcionalidades apresentadas, mostra-se que a utilização desta plataforma é vantajosa não só para os utilizadores, mas como também para gestores de parques de estacionamento, uma vez que permite agilizar o processo de estacionamento e a gestão a si



associada, aumentando o conforto e acessibilidade, indo ao encontro dos benefícios esperados num sistema de estacionamento inteligente.

## 2.2 OPORTUNIDADE DE MERCADO

Actualmente, verifica-se que os sistemas de pagamento presentes nos parques de estacionamento localizados em Portugal Continental funcionam à base de *tickets*, que são utilizados de duas maneiras distintas:

- **Tickets de tempo fixo** - o utilizador define o período de utilização assim que pretende iniciar o estacionamento e efectua o pagamento do mesmo.
- **Tickets de tempo indeterminado** - o período de utilização do lugar de estacionamento é indefinido à partida, uma vez que durante a emissão do *ticket* apenas é registada a hora de entrada, sendo a duração de utilização definida pela saída do utilizador.

Esta metodologia de pagamento, apesar de simples, tem algumas desvantagens, quando comparada com sistemas de pagamento inteligentes, uma vez que:

- É impossível determinar o número de lugares livres/ocupados (ambientes *outdoor*)
- É necessário um *ticket*
- A perda do *ticket* implica o pagamento de uma coima
- *Tickets* de tempo fixo são inflexíveis (caso se pretenda prolongar o tempo estacionamento é necessário obter um novo *ticket*)
- O utilizador pode estar sujeito a uma fila de espera na hora de realizar o pagamento
- Existe pouco controlo por parte do utilizador

De acordo com os pontos descritos, surge assim a oportunidade de desenvolver um produto que tire partido das novas tecnologias, resolva os problemas dos sistemas de pagamento actuais e implemente novas funcionalidades que tornem o sistema mais prático, flexível, eficiente e fácil de utilizar.

## 2.3 ESTRATÉGIA DE NEGÓCIO

Uma vez que este produto ainda se encontra numa fase de desenvolvimento, pretende realizar-se um protótipo funcional, que permitirá implementar as funcionalidades apresentadas de forma gradual, por forma a atingir os seguintes requisitos: baixo consumo, bom desempenho, robustez e flexibilidade.

Assim que as funcionalidades base cumpram todos os requisitos, pretende-se realizar parcerias com operadoras de telecomunicações, por forma a divulgar o produto em massa,

possibilitar pagamentos a partir de SMS e obter patrocínios que ajudem a financiar o projecto.

O desenvolvimento de um produto por si só não é financeiramente viável, pelo que, é de interesse aplicar esta plataforma no maior número de vias/parques de estacionamento por forma a maximizar as receitas. Desta forma, será também necessário entrar em contacto com as entidades responsáveis pela gestão e controlo de locais de estacionamento.

Apesar de ser possível implementar este sistema de pagamento em ambientes *indoor* e *outdoor*, deve ser dado um particular destaque aos últimos, uma vez que se prevê que não haja sistemas de pagamento inteligentes concorrentes, pelo será economicamente mais viável.

## 2.4 DESCRIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO

De acordo com as características do produto, pode segmentar-se o mercado utilizando uma estratégia de *marketing* diferenciada (dado que o produto final depende do ambiente de utilização - *indoor* ou *outdoor*), com vista a maximizar o número de clientes em cada segmento.

Uma vez que o produto em questão consiste na disponibilização de serviços, isto implica necessariamente que existam dois intervenientes: o prestador do serviço e o cliente.

Como prestadores de serviço, podem ser considerados gestores de parques de estacionamento e fiscais de estacionamento. Relativamente aos clientes, devem ser considerados todos aqueles que irão utilizar o serviço. De uma forma mais detalhada:

- **Prestadores de serviços**

Toda a entidade que pretenda gerir e rentabilizar lugares de estacionamento deve ser considerada como um prestador de serviços.

São disso exemplos as entidades responsáveis pela cobrança e/ou gestão de lugares de estacionamento em ambientes públicos e empresas que pretendam criar um parque de estacionamento inteligente ou que pretendam actualizar o seu sistema de detecção e pagamento.

- **Clientes**

Como clientes, devem ser englobados todas as pessoas que utilizem parques de estacionamento pagos e que possuam carta de condução, um telemóvel com as tecnologias *Bluetooth Smart*<sup>®</sup> e GPS.

Estas são necessárias para efectuar o pagamento do estacionamento a partir do telemóvel e para guiar o utilizador até um parque de estacionamento, respectivamente.

## 2.5 PERSPECTIVA DOS INTERVENIENTES

Nesta secção serão abordadas as entidades intervenientes num ecossistema de parques de estacionamento, descrevendo o papel de cada uma.

### 2.5.1 UTILIZADOR DO PARQUE

Utilizador é a entidade principal de um parque de estacionamento, uma vez que é a entidade em torno da qual o parque deve ser criado, fornecendo serviços que o permitam usar de forma eficiente e prática para o utilizador.

Dado que se pretende descrever a visão de um utilizador ao usar um serviço de estacionamento (*indoor* ou *outdoor*), devem considerar-se duas situações: a entrada e a saída do mesmo.

- a) Assim que o utilizador entra num parque de estacionamento, pretende encontrar um lugar vago no menor tempo possível, sendo a sua satisfação proporcional a esta condição.
- b) Quando o utilizador pretende abandonar o estacionamento, é necessário efectuar o pagamento do mesmo, o que, por norma, requer a sua deslocação ao local de pagamento, podendo estar sujeito a filas de espera.

Relativamente a a), uma solução que permita atingir os objectivos propostos consiste na disponibilização de um serviço que permita guiar o utilizador ou de um serviço de pré-reserva de lugares.

A pré-reserva de lugar permite ao utilizador garantir um lugar pré-definido, eliminando o tempo de espera e procura, mediante um custo que pode variar de acordo com o local e lugar reservado.

Relativamente a b), o utilizador espera que haja uma maneira de realizar o pagamento de forma rápida e prática, sem ter de esperar ou de se deslocar. Um serviço que cumpra estes requisitos, permite atrair novos clientes, satisfazer os actuais e contribuir para a divulgação do parque e sistema de pagamento.

### 2.5.2 ESTABELECIMENTO COMERCIAL

Estabelecimento comercial é uma entidade que exerce actividades de comércio, que pode ter ou não, lugares reservados para o acesso ao estabelecimento, quer por clientes, quer por fornecedores, para realizar cargas e descargas de mercadoria.

Caso os lugares adjacentes ao estabelecimento comercial utilizem este sistema de estacionamento e pagamento, o responsável pelo mesmo, pode encarregar-se dos custos de estacionamento, por forma a atrair mais clientes e facilitar o acesso ao estabelecimento.

---

### 2.5.3 GESTOR DE MOBILIDADE URBANA

Gestor de mobilidade urbana é a entidade responsável por explorar, organizar e controlar áreas de estacionamento num contexto urbano.

Na parte de controlo, é suposto verificar se os lugares se encontram devidamente ocupados e cumprem as normas definidas (estacionamento adequado, tempo de ocupação e pagamento) pelo parque de estacionamento em questão.

Relativamente à parte de exploração, pretende estudar-se áreas urbanas não exploradas, por forma a organizar os lugares de estacionamento em termos de preço (definindo-o de acordo com a zona e utilização) ou tipo (definindo se é um lugar normal, reservado ou exclusivo para moradores/serviços públicos).

Do ponto de vista do controlo, é esperado que, por parte do sistema, haja ferramentas disponíveis que permitam auxiliar o trabalho de monitorização, sendo possível verificar o estado de cada sensor individualmente.

---

### 2.5.4 CONTROLADOR DE PAGAMENTOS

Controlador de pagamentos é a entidade responsável por garantir que os pagamentos de estacionamento são efectuados com sucesso, permitindo que estes sejam feitos de forma local ou remota (a partir de uma aplicação móvel, SMS ou a partir da Web).

Do ponto de vista de um controlador de pagamentos é esperado que, numa operação de pagamento, estejam disponíveis todas as informações necessárias para o correcto processamento da informação. Isto é, saber a que veículo e utilizador diz respeito o pagamento, o tempo e lugar de ocupação, bem como o custo associado, independentemente do método de pagamento utilizado.

Além disso, no caso de ser uma zona de cargas e descargas, o sistema permite controlar o tempo de estacionamento, aspecto que será importante para o condutor do veículo e para o gestor de mobilidade urbana.

---

### 2.5.5 TÉCNICO DE APOIO AO SISTEMA

Técnico de apoio ao sistema é a entidade responsável por garantir o bom funcionamento da infra-estrutura, o que implica verificar com regularidade o estado dos elementos da rede

(*gateways*, *datasinks*, detectores de estacionamento) e a sua substituição em caso de anomalia.

Além disso, pode ainda ter outras tarefas, como a instalação de novos equipamentos (permitindo a expansão da cobertura da rede) e a manutenção da base de dados (que se encontra no servidor principal).

Do ponto de vista de um técnico de apoio ao sistema é esperado que haja uma boa organização do sistema, bem como ferramentas que permitam analisar o estado e desempenho da rede, de forma a minimizar o tempo em que o sistema se encontra inactivo.

## 3. ESTADO DE ARTE

### 3.1 INTRODUÇÃO

Nesta secção pretende analisar-se e comparar as tecnologias utilizadas em parques de estacionamento inteligentes ao nível da detecção de veículo e ao nível das tecnologias de comunicação sem fios utilizadas para comunicar com a infra-estrutura. Pretende-se com isto determinar qual a melhor tecnologia ao nível da detecção e ao nível da comunicação, considerando sobretudo os seguintes factores: consumo, flexibilidade e facilidade de adaptação.

Após alguma pesquisa inicial, verificou-se que, de entre os vários tipos de detectores de veículo encontrados, se consideram como principais os seguintes:

- **Contadores de entrada/saída**
- **Sensores de estacionamento baseados em ultra-sons**
- **Sensores de estacionamento magnéticos**
- **Processamento de imagem**

Relativamente às tecnologias de comunicação sem fios, serão discutidas e analisadas as seguintes:

- **IEEE 802.15.4 (*ZigBee*)**
- ***Bluetooth Low Energy (BLE)***
- **IEEE 802.11g (*Wi-Fi*)**

Será feita uma comparação entre as duas primeiras num cenário de comunicação entre detector de veículo e infra-estrutura e ainda uma comparação entre todas num cenário de comunicação entre utilizador e infra-estrutura.

### 3.2 DETECTORES DE VEÍCULO

#### 3.2.1 SOLUÇÕES ACADÉMICAS E COMERCIAIS

##### ➤ **Contadores de entrada/saída**

Esta solução consiste na contagem diferencial do número de veículos que entra e sai do parque, permitindo calcular o número de lugares disponíveis no seu interior.

Isto é feito utilizando pórticos em cada piso, que detectam a passagem de veículos, bem como o sentido em que estes se dirigem, permitindo calcular com maior precisão o número

de veículos em cada piso. A detecção diferencial pode ser implementada utilizando pares de malhas indutoras (em inglês *inductive loop*) ou pares de sensores.

O método de detecção baseado em pares de malhas indutoras (representado na Figura 3.1) consiste na criação de campo magnético na área implementada, gerado a partir de uma alimentação externa, terá uma frequência de ressonância constante que irá variar aquando da passagem de um objecto metálico (como um veículo), permitindo assim a sua detecção.

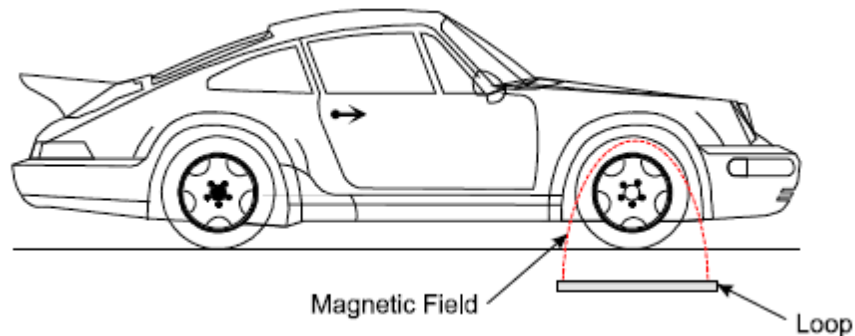


Figura 3.1 - Malha indutora (Exemplo de aplicação) [2]

Um produto comercial que utiliza esta tecnologia é o *RedStorm™ 2.0 Parking Guidance System*, da *Signal-Tech* [3].

Esta tecnologia tem a vantagem de ser a mais eficaz no que toca a contadores de veículos e de apresentar um bom desempenho independentemente das condições atmosféricas e do fluxo de veículos. [4]

Em contrapartida, a eficácia (em termos de detecção) desta tecnologia depende das condições de instalação e ainda das condições do piso onde irá actuar. Além disso, a falha de um sensor (responsável por detectar variações de frequência) pode resultar numa falsa detecção, uma vez que afecta directamente o mecanismo de detecção. [4]

#### ➤ Sensores de estacionamento baseados em ultra-sons

Este tipo de sistemas consiste na implementação de um sensor em cada lugar de estacionamento, detectando a presença de um veículo utilizando para o efeito ultra-sons.

O método utilizado para efectuar a detecção de veículos consiste na emissão e recepção de pulsos ultra sónicos, que, a partir do tempo decorrido entre a transmissão e recepção dos mesmos, permitirá calcular a distância a que este se encontra do chão.

Caso esta seja inferior a um valor pré-definido (*threshold*), o sensor comunica com um servidor local, informando-o da presença do veículo. Este estará encarregue de gerir essa



informação, bem como utilizá-la para informar outros utilizadores do sistema acerca dos lugares disponíveis.

Um produto comercial que implementa esta tecnologia é o *TSGS-30*, da *T.I.B.A. Parking* [5] que utiliza LEDs para indicar a ocupação de um lugar (ilustrado na Figura 3.2).

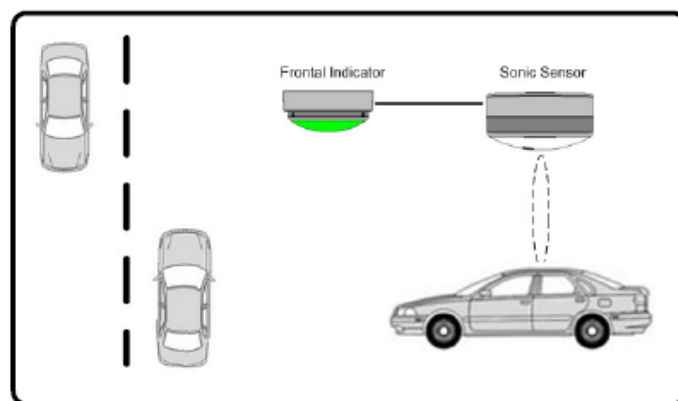


Figura 3.2 - Exemplo de aplicação de sensor de estacionamento com ultra-sons [5]

Esta tecnologia tem a vantagem de não depender da cor ou do coeficiente de reflexão do veículo, de ser bastante eficiente em termos de detecção e de apresentarem um comportamento linear com a distância, sendo ainda possível determinar a distância a que o veículo se encontra. [6]

Por outro lado, a utilização desta tecnologia tem a desvantagem de ser necessário instalar o sensor perpendicularmente ao veículo; de o seu funcionamento ser afectado por ruídos de alta intensidade, que podem resultar em falsas detecções; de terem como requisito uma distância mínima ao veículo; de serem afectados pelas condições ambientais, como a temperatura, humidade e turbulência. [6]

#### ➤ Sensores de estacionamento magnéticos

Os sensores de detecção deste tipo consistem na medição de variações do campo magnético e podem dividir-se em duas categorias, activos ou passivos, consoante a magnitude do campo magnético a medir.

No caso dos sensores activos, também chamados de magnetómetros, é possível medir variações do campo magnético causadas pela passagem/presença de um veículo.

No caso dos sensores passivos, são medidas variações do fluxo do campo magnético da terra causado pela passagem de um veículo.

Um produto comercial que implementa esta tecnologia é o *PLOTUS*, da *AgilSense* [7], que consiste num sensor magnético (AMR), equipado com um protocolo de comunicações sem fios proprietário que funciona a uma frequência de 868/918 MHz.

A grande vantagem de utilizar este tipo de sensores consiste no facto de serem bastante precisos (uma vez que são lineares e apresentam baixa histerese), de serem capazes de realizar medições de alta resolução, de serem robustos quando sujeitos a interferências magnéticas e a altas temperaturas e ainda pelo facto de apresentarem baixos consumos energéticos. [8]

Apesar disso, apresentam também algumas limitações, como o alcance máximo ao qual conseguem medir (que é de 10 cm) e a necessidade de terem de ser calibrados periodicamente, o que, por sua vez, requer um circuito adicional de controlo. [9]

#### ➤ **Processamento de imagem**

Este tipo de equipamento consiste na utilização de câmaras de vídeo ou câmaras de infra-vermelhos, que permitem contar o número de veículos, medir a sua velocidade e detectar a presença de veículos utilizando para o efeito processamento de imagem.

A vantagem de usar este tipo de tecnologia consiste no facto de ser possível fazer múltiplas detecções de veículo em simultâneo e ainda ajustar a zona de detecção.

Por outro lado, consiste numa tecnologia intrusiva (uma vez que filma não só os veículos, como também os seus ocupantes), que necessita de equipamento extra, para realizar processamento de imagem, que terá de ser adequado consoante a zona de aplicação, por forma a eliminar possíveis artefactos causados por sombras e reflexões.

- **Contadores de entrada/saída**

- Este sistema permite apresentar ao utilizador o número de lugares vagos por piso, na condição de existirem pórticos entradas/saídas em cada um deles. Um dos seus maiores inconvenientes é o custos do equipamento de monitorização e controlo, que podem atingir valores na ordem dos milhares de euros. Apesar de serem bastante fiáveis quando instalados de forma correcta, a comparação com as restantes tecnologias, mostra que esta tecnologia perde em termos de relação preço/funcionalidade.

- **Sensores de estacionamento baseados em ultra-sons**

- Os sensores ultra-sónicos permitem indicar ao utilizador com maior precisão os lugares vagos, pois são colocados em cada lugar do parque de estacionamento, permitindo ao utilizador saber não só quantos lugares há disponíveis por zona, mas também a sua localização, graças a indicadores visuais (normalmente através painéis ou luzes indicadoras presentes em cada lugar de estacionamento). Este tipo de sensores tem um custo reduzido, sendo também fácil de implementar. Apesar disso, tem também algumas desvantagens, como a elevada sensibilidade a variações de temperatura e a turbulência, o que exige que a sua instalação seja feita na vertical, por cima do veículo/objecto a detectar.

- **Sensores de estacionamento magnéticos**

- Os sensores magnéticos permitem detectar a passagem e presença de veículos com consumos energéticos praticamente nulos, sendo também bastante fiáveis mesmo em condições adversas.

Por comparação com os sensores ultra-sónicos, verifica-se que estes além de permitirem a detecção de veículo, permitem também a detecção de passagem (aspecto que poderá ser particularmente útil em termos de ajustes/melhorias no algoritmo de detecção, aumentando a eficiência na detecção).

- **Processamento de imagem**

- Os sistemas que utilizam processamento de imagem para realizar detecção de veículos podem ser colocados acima do local pretendido, invés de ser no pavimento, o que permite ao operador de câmara direccionar o sistema para a área pretendida. No entanto, este tipo de equipamentos requer uma grande taxa de transmissão de dados, o que implica um elevado consumo energético, sendo ainda susceptível a artefactos criados por sombras, reflexões e más condições atmosféricas. É ainda

importante referir que este tipo de sistemas é do tipo intrusivo, uma vez que as câmaras não captam apenas imagens dos veículos em questão.

### **Conclusão**

Após discutir as vantagens e desvantagens de cada tipo de sistema, pode agora concluir-se que os sensores magnéticos são os mais flexíveis (uma vez que permitem ser aplicados em ambientes *indoor* ou *outdoor*), por apresentarem baixos consumos energéticos, serem robustos quando sujeitos a condições adversas e terem ainda um custo reduzido.

### 3.3 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

Nesta secção serão analisadas três tecnologias de comunicação sem fios (IEEE 802.15.4, *Bluetooth Low Energy* e *Wi-Fi*) passíveis de serem utilizadas em interfaces de sensores e ainda na comunicação entre utilizador e infra-estrutura. Após familiarizar o leitor com cada uma delas, será feita uma análise comparativa, consoante o caso de aplicação.

#### 3.3.1 IEEE 802.15.4

##### Descrição

O IEEE 802.15.4 é uma norma que define a camada física e a sub-camada MAC do modelo OSI, que foi criada com o intuito de permitir comunicações entre dispositivos de baixo custo e baixo consumo em redes pessoais com taxas de transmissão reduzidas (em inglês, *Low-Rate Wireless Personal Area Networks* ou *LR-WPANs*).

##### Topologias

Uma vez que as topologias de ligação fazem parte das camadas superiores à camada física e sub-camada MAC (suportadas pelo IEEE 802.15.4), a descrição das mesmas deve ser feita em relação a um protocolo que as implemente, como o *ZigBee*.

O *ZigBee* é um protocolo de rede que implementa todas as camadas do modelo OSI e tem como base o IEEE 802.15.4. Nma rede baseada em *ZigBee* é possível implementar as seguintes topologias:

- Estrela (*star*)
- Árvore (*tree*)
- Malha (*mesh*)

Que se encontram representadas nas Figuras 3.3-3.5, respectivamente [10].

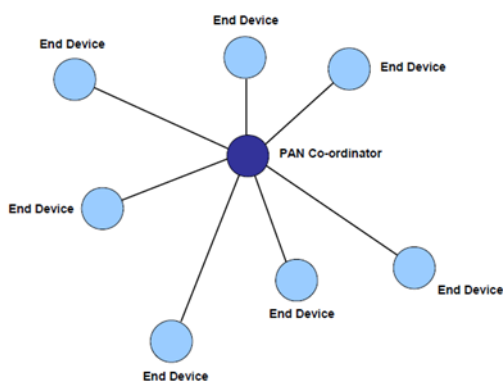


Figura 3.3 - Topologia de estrela

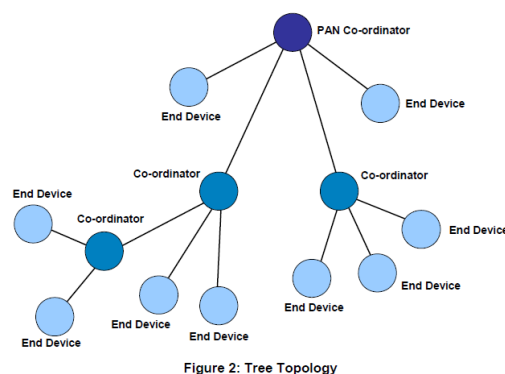


Figura 3.4 - Topologia de árvore

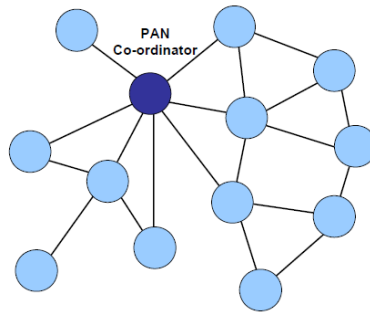


Figura 3.5 - Topologia de malha

### Modelo de rede

Numa rede baseada neste protocolo, existem vários tipos de dispositivos, que são definidos de acordo com a sua funcionalidade ou características (*hardware/software*).

De acordo com a sua funcionalidade, podem considerar-se os seguintes tipos de dispositivos [10]:

- **PAN Co-ordinator:** dispositivo principal da rede, responsável por atribuir uma identificação para a rede, responder a pedidos e retransmitir mensagens (consoante a topologia).
- **(Local) Co-ordinator:** dispositivo responsável por responder a pedidos de dispositivos abaixo na hierarquia e retransmitir mensagens, actuando como nó intermédio.
- **End Device:** dispositivo responsável por adquirir informação (p. ex. sensores) e transmiti-la a dispositivos acima na hierarquia (coordenadores).

De acordo com as características de hardware, podem-se considerar dois tipos de dispositivos [10]:

- **Full Function Device (FFD):** Um dispositivo FFD implementa todo o conjunto de serviços da camada MAC 802.15.4, permitindo que este seja um Coordenador (*Co-ordinator*).
- **Reduced Function Device (RFD):** Um dispositivo RFD, ao contrário de um FFD, apenas implementa um conjunto reduzido de serviços da camada MAC do protocolo 802.15.4, pelo que apenas pode actuar como um dispositivo terminal (*End device*).

### "Emparelhamento"

No protocolo 802.15.4 a associação de um novo dispositivo à rede é feito da seguinte maneira [10]:

- O coordenador principal (*PAN Co-ordinator*) analisa a gama de frequências de operação para a qual está programado e selecciona o canal menos ruidoso.
- Quando um novo dispositivo é adicionado à rede, este tem de procurar o canal que está a ser utilizado pela rede a partir do PAN ID que lhe é fornecido.

A procura pode ser feita de duas maneiras:

**Activa:** o dispositivo pede que lhe sejam enviados *beacons* (mensagens de controlo enviadas pelos coordenadores da rede).

**Passiva:** o dispositivo efectua uma escuta periódica da rede à procura de *beacons*. Este modo só é possível em redes em que o modo de envio de *beacons* esteja activo.

- Quando um dispositivo já associado à rede perde a ligação com o coordenador (*coordinator*) é enviada uma notificação em *broadcast* (para todos os coordenadores), sendo a reintegração feita assim que for recebido um comando específico (enviado por um coordenador).

---

### 3.3.2 BLUETOOTH LOW ENERGY

#### Descrição

O *Bluetooth Low Energy* (ou BLE)[11] é uma tecnologia de comunicação sem fios criada com o intuito de estabelecer um novo *standard* de comunicações de muito baixo consumo, baixo custo e de fácil implementação, que vai ao encontro do conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things*, em inglês).

#### Topologia de rede

Esta tecnologia de comunicação sem fios utiliza uma topologia de estrela (Figura 3.3), que consiste num dispositivo principal (*master*) e em vários dispositivos secundários (*slaves*), sendo a ligação efectuada pelo *master*. Este pode ligar-se e comunicar com até 7 *slaves* em simultâneo, tipicamente.

#### Emparelhamento

O processo de emparelhamento consiste na criação de uma chave secreta entre dois dispositivos *Bluetooth*, chamada *Link Key*. Esta é usada na autenticação entre dispositivos e na troca encriptada de dados, que é feita a partir de uma chave temporária (*Encryption Key*) [12].

Os mecanismos de emparelhamento desta tecnologia são os seguintes [13]:

- **Just works:** Como o próprio nome indica, este método simplesmente funciona. Pode ou não ser necessária uma confirmação do utilizador no emparelhamento. É tipicamente utilizado em dispositivos com capacidades limitadas e considerado ser mais seguro que o mecanismo que requer um código PIN.

Apesar da sua simplicidade, tem uma desvantagem, que é a ausência de protecção contra *Man In The Middle* (MITM) - ataque que consiste na escuta da ligação de dados entre dois dispositivos por um elemento externo.

O acesso por parte de uma pessoa não autorizada à ligação significa que os dados transmitidos podem ser registados pelo atacante, permitindo ainda a sua alteração e respectiva retransmissão sem que os intervenientes dêem conta.

- ***Numeric comparison***: Se ambos os dispositivos tiverem ecrã e pelo menos um deles puder confirmar/rejeitar o emparelhamento, é possível utilizar o mecanismo *Numeric Comparison*.

Este mecanismo apresenta um código numérico de 6 dígitos em ambos os dispositivos, cabendo ao utilizador realizar a sua comparação, confirmando ou rejeitando (caso sejam diferentes) o emparelhamento.

Ao contrário do mecanismo anterior, este tem protecção contra MITM, caso a comparação seja feita de forma correcta.

- ***Passkey Entry***: Este método pode ser utilizado quando um dos dispositivos tem ecrã e o outro tem teclado numérico ou quando ambos têm teclado numérico.

No primeiro caso, é apresentado no ecrã um código de 6 dígitos ao utilizador, que terá de o inserir no dispositivo com teclado numérico.

No segundo caso, cada utilizador deverá introduzir o mesmo código de 6 dígitos no seu dispositivo.

Ambos os casos implementam protecção de MITM.

- ***Out of band (OOB)***: Este método requer uma tecnologia de comunicação sem fios adicional, cuja frequência de operação seja diferente (por exemplo, o *Near Field Communication*). Assim, o emparelhamento é feito a partir do *Bluetooth* com informação obtida através de NFC.

Ao contrário das versões anteriores (4.0 e inferiores), o *Bluetooth Low Energy* gere os mecanismos de segurança e autenticação do lado do *master*, o que permite reduzir o custo dos *slaves* e aumentar a flexibilidade do lado *master*. Isto permite ao *master* escolher mecanismo que melhor se enquadra (de acordo com as capacidades do *slave*) quando decorre o processo de emparelhamento, durante o qual os dispositivos anunciam as suas capacidades.



---

### 3.3.3 IEEE 802.11-G (WI-FI)

#### Descrição

O 802.11-g, também conhecido por Wi-Fi, consiste numa especificação do protocolo 802.11, que por sua vez define as camadas física e MAC do modelo OSI e é utilizado em redes locais sem fios. Permite atingir taxas de transmissão elevadas, na ordem dos 54 Mbps e opera na gama de frequências dos 2.4 GHz e disponibiliza vários mecanismos de encriptação, como o WEP, WPA e WPA2.

#### Topologias de rede

As redes baseadas neste protocolo podem ter dois modos de funcionamento: o modo de infra-estrutura e o modo *ad-hoc*.

- **Modo de infra-estrutura** - neste modo existem dois tipos de entidades: o ponto de acesso e os clientes.  
O ponto de acesso é a entidade que gere os membros da rede (clientes) e trata da sua gestão, permitindo expandir a área de cobertura da rede, retransmitindo os dados recebidos.  
Os clientes são todos os dispositivos (computadores pessoais, periféricos, etc.) que se encontram ligados à infra-estrutura.  
Este modo é tipicamente utilizado em redes fixas em que o número de dispositivos é relativamente alto, pois permite um maior controlo e gestão da rede.
- **Modo *ad-hoc*** - neste modo a comunicação entre dispositivos é feita de forma directa, ou seja, sem recorrer dispositivos intermédios (pontos de acesso).  
É normalmente utilizado nos casos em que se pretende criar uma rede temporária de baixo custo que não necessita de gestão de recursos.

---

### 3.3.4 COMPARAÇÃO DE TECNOLOGIAS

Será agora feita uma comparação entre as tecnologias apresentadas tendo em consideração os seguintes critérios: eficiência (protocolar e energética), alcance e robustez, com o objectivo de determinar qual a mais viável de implementar num sistema de estacionamento inteligente.

### 3.3.4.1 EFICIÊNCIA

#### ➤ Eficiência protocolar

A transmissão de dados entre dispositivos é possível desde que estes cumpram as normas impostas por cada protocolo de comunicação. A transmissão de dados entre estes consiste na transmissão de tramas que, por sua vez, contêm os dados a transmitir (normalmente definidos por *payload*) e dados suplementares (para os quais é frequente utilizar o termo *overhead*) que acrescentam informações adicionais e permitem identificar a origem e o destino dos dados, possibilitando ainda a detecção e correcção de erros.

Tendo agora sido descritos os conceitos de trama, *payload* e *overhead*, pode descrever-se o conceito de eficiência protocolar como o rácio entre *payload* e *overhead*, ou seja, a percentagem de dados transmitidos que realmente serão utilizados pelo receptor.

#### **Bluetooth Low Energy**

Considerando que uma trama de *Bluetooth Low Energy* tem o seguinte formato [14]:

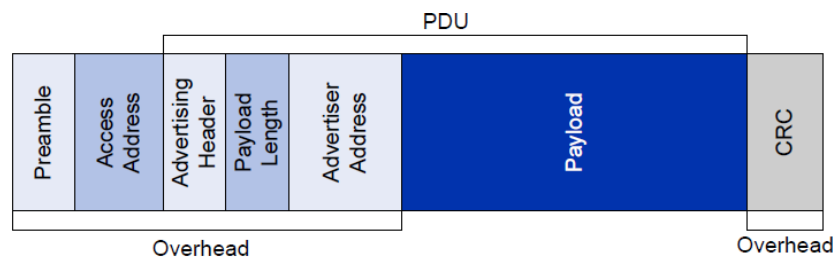


Figura 3.6 - Trama de dados do *Bluetooth Low Energy*.

E que os seus campos têm o seguinte tamanho:

- *Preamble* = 1 octeto
- *Access Address* = 4 octetos
- *Advertising Header* = 1 octeto
- *Payload length* = 1 octeto
- *Advertiser Address* = 6 octetos
- *Payload* = 31 octetos
- *CRC (Cyclic Redundancy Check)* = 3 octetos

Pode-se calcular a eficiência protocolar desta tecnologia a partir da seguinte equação:

$$\text{Eficiência} = \text{Payload} / \text{Tamanho da trama} = 31 / 47 = 66\%$$

## IEEE 802.15.4

Admitindo que uma trama de IEEE 802.15.4 tem o seguinte formato [15]:

Octets:2	1	4 to 20	variable	2
Frame control	Data sequence number	Address information	Data payload	Frame check sequence
MAC header			MAC Payload	MAC footer

Figura 3.7 - Tramas de dados do protocolo 802.15.4.

E sabendo que a camada física deste protocolo suporta no máximo tramas de 127 bytes, pode-se calcular a eficiência do mesmo, partindo da seguinte lógica:

Uma vez que o campo de endereço é variável e pode ter um tamanho de 4 a 20 bytes, considerar-se-ão os casos limite, admitindo um *payload* máximo. Além disso, será ainda calculada a eficiência para o caso em que o *payload* tem o mesmo número de bytes que o *Bluetooth Low Energy*, para posterior comparação.

Cálculo do *payload* máximo para um endereço de 20 bytes:

$$\text{Payload} = 127 - (2 + 1 + 20 + 2) = 102 \text{ octetos}$$

$$\text{Eficiência} = \text{Payload} / \text{Tamanho da trama} = 102 / 127 = 80.31\%$$

Cálculo do *payload* máximo para um endereço de 4 bytes:

$$\text{Payload} = 127 - (2 + 1 + 4 + 2) = 118 \text{ octetos}$$

$$\text{Eficiência} = \text{Payload} / \text{Tamanho da trama} = 92 / 127 = 92.91\%$$

Será agora calculada a eficiência de pior caso para o mesmo número de bytes de *payload* utilizados no cálculo de eficiência do *Bluetooth Low Energy* (31 bytes).

*Payload* de 31 bytes:

$$\text{Payload} = 31 \text{ octetos}$$

$$\text{Tamanho da trama} = 2 + 1 + 20 + 31 + 2 = 56$$

$$\text{Eficiência} = \text{Payload} / \text{Tamanho da trama} = 31 / 56 = 55.36\%$$

## Wi-Fi

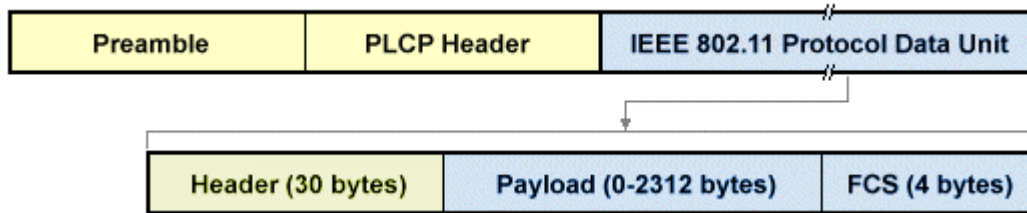


Figura 3.8 - Formato de trama do Wi-Fi [16]

Admitindo que uma trama de Wi-Fi (baseado no protocolo IEEE 802.11) tem o formato apresentado na Figura 3.8 e que os campos *Preamble* (do tipo *Long*) e *PLCP Header*, têm um tamanho de 18 bytes e 6 bytes [17], respectivamente, pode-se calcular a sua eficiência para os seguintes casos:

### Máxima eficiência:

*Payload* = 2312 octetos

Tamanho da trama = 18 + 6 + 30 + 2312 + 4 = 2370 octetos

Eficiência = *Payload*/Tamanho da trama = 2312/2370 = 97.55%

Supondo agora um *payload* de 31 bytes, por forma a comparar com as tecnologias apresentadas (*Bluetooth Low Energy* e IEEE 802.15.4), a eficiência obtém-se a partir do seguinte cálculo:

*Payload* = 31 octetos

Tamanho da trama = 18 + 6 + 30 + 31 + 4 = 89 octetos

Eficiência = *Payload*/Tamanho da trama = 31/89 = 34.83%

### **Comparação**

Uma vez que no projecto a desenvolver a maior parte das mensagens enviadas são mensagens de eventos (como ocupação/desocupação de lugar ou início/fim de estacionamento), cujo tamanho é bastante reduzido (na ordem das dezenas de bytes), verifica-se que a eficiência do Wi-Fi, nestas condições, é bastante reduzida quando comparada com as restantes. Dito isto, de entre as restantes verifica-se que o *Bluetooth Low Energy* é ligeiramente mais eficiente que o IEEE 802.15.4, apresentando uma eficiência de 66% contra 55%.

### ➤ Eficiência energética

Relativamente ao *Bluetooth Low Energy*, admitindo que os periféricos anunciam a sua presença em intervalos de 500 ms, que cada pacote enviado contém 20 bytes de dados (*payload*) e que esta acção tem um consumo de 49  $\mu\text{A}$  a 3V, pode-se calcular a potência consumida e a potência por bit desta tecnologia, efectuando os seguintes cálculos [14]:

- Potência consumida =  $49 \mu\text{A} \times 3\text{V} = 0.147 \text{ mW}$
- Bytes por segundo =  $20 \times (1\text{segundo} / 500\text{ms}) \times 3 \text{ canais} = 120 \text{ Bytes/segundo}$
- Bits por segundo =  $120 \text{ Bytes/segundo} \times 8 = 960 \text{ bits/segundo}$
- Potência por bit =  $0.147\text{mW} / 960 = 0.153 \mu\text{W/bit}$

Relativamente ao IEEE 802.15.4, sabe-se que um dispositivo que utilize esta tecnologia consome 35.706 mW ao transferir 24 bytes de dados (*payload*), logo a potência consumida por bit é dada por [14]:

- Potência consumida = 35.706 mW
- Bits a transmitir =  $24 \times 8 = 192 \text{ bits}$
- Potência por bit =  $0.035706/192 = 185.9 \mu\text{W/bit}$

Relativamente ao Wi-Fi, admitindo uma taxa de transferência de 40 Mbps e sabendo que esta tecnologia consome aproximadamente 116 mA a 1.8 V, podemos calcular a potência consumida e a potência por bit, a partir dos seguintes cálculos [14]:

- Potência consumida =  $116 \text{ mA} \times 1.8\text{V} = 210 \text{ mW}$
- Potência por bit =  $0.210/40,000,000 = 0.00525 \mu\text{W/bit}$

Além disso, é importante referir que nesta tecnologia, o consumo de corrente é fixo, independentemente da taxa de transferência.

De acordo com os cálculos apresentados, verifica-se que o Wi-Fi apresenta a menor potência por bit, graças à sua elevada taxa de transmissão. No entanto, como a sua potência consumida é fixa e independente do número de bits transmitidos, esta tecnologia só se torna energeticamente eficiente para altas taxas de transmissão. Uma vez que no trabalho a desenvolver as taxas de transmissão são relativamente baixas, na ordem das centenas de bytes por segundo (devido ao tamanho das mensagens enviadas - referido no ponto anterior), deixa de ser razoável comparar o Wi-Fi com as restantes tecnologias em termos energéticos. Desta forma, ao comparar as restantes tecnologias (*Bluetooth Low Energy* e IEEE 802.15.4), verifica-se que a tecnologia que apresenta melhores características em termos energéticos (potência consumida) é o *Bluetooth Low Energy*.

---

#### 3.3.4.2 ALCANCE

Uma vez que esta análise tem como propósito estudar os protocolos mais eficientes, passíveis de serem implementados numa rede de sensores sem fios, o alcance é um factor importante, sobretudo em redes com topologia em estrela, visto que a rede de sensores comunica directamente com o *gateway* (dispositivo responsável pela recolha e comunicação dos dados provenientes dos sensores).

Os alcances máximos para as tecnologias apresentadas, de acordo com as referências bibliográficas e considerando linha de vista entre o transmissor e o receptor são os seguintes:

- *Bluetooth Low Energy* - 300 m (10 dBm *output*) [18] ou 100 m (0 dBm) [19]
- IEEE 802.15.4 - 100 m [20]
- Wi-Fi - 92 m (depende de várias características) [21]

---

#### 3.3.4.3 ROBUSTEZ A INTERFERÊNCIAS

Um tópico também relevante, no que toca a comparações de tecnologias (sobretudo sem fios), é a robustez de cada uma delas, ou seja, a forma como estas foram implementadas para lidar com a interferência criada por outros dispositivos a operar na mesma gama de frequências. Isto ocorre devido ao estabelecimento de normas de utilização do espectro electromagnético (por parte do UIT, União Internacional de Telecomunicações), que definem a gama de frequências que pode ser utilizada para fins industriais [22], científicos e médicos (normalmente chamada de ISM, *Industrial, Scientific and Medical radio bands*), sem que seja necessária uma licença de utilização.

Seguindo a sugestão do IEEE [23] (relativamente à banda ISM que oferecia melhores resultados em termos de alcance, penetração de obstáculos e custo), a grande maioria os fabricantes de equipamentos sem fios optaram por utilizar a gama de frequências dos 2.4 GHz.

De acordo com os pontos referidos, pode-se então afirmar que a tecnologia que apresentar maior imunidade a interferências será aquela que permitirá ter uma maior taxa de sucesso no envio de dados.

Isto permite otimizar os consumos energéticos, ao reduzir o número de pacotes corrompidos e conseqüentemente, a necessidade de reenvio de dados.

### ➤ **Bluetooth Low Energy**

Uma vez que o BLE foi projectado para operar na gama de frequências dos 2.4 GHz, é necessário um mecanismo que permita minimizar as interferências, pelos motivos acima referidos.

O mecanismo utilizado pelo BLE para garantir comunicações robustas é o TDMA (*Time Division Multiple Access*), conjuntamente com a técnica *Adaptive Frequency Hopping* (AFH). Esta última consiste na distribuição pseudo-aleatória da informação pelos canais da gama dos 2.4 GHz (dividida em 79 canais de frequência de largura de 1 MHz). Isto permite que haja múltiplas transmissões para a mesma frequência, tornando também mais segura a transmissão (devido à sequência pseudo-aleatória).

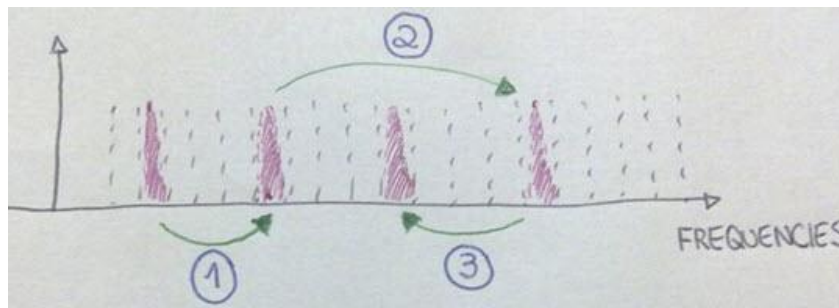


Figura 3.9 - Modo de operação do mecanismo *Adaptive Frequency Hopping* [24].

### ➤ **IEEE 802.15.4**

Tal como o BLE e o Wi-Fi, o IEEE 802.15.4 também pode operar na gama dos 2.4 GHz. Uma vez que esta gama de frequências é bastante utilizada, este protocolo, tal como o BLE, faz uso de um mecanismo de acesso ao meio, o Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance (mais conhecido por CSMA-CA), que modula sendo a informação utilizando a técnica Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS).

O CSMA-CA consiste na escuta do meio de transmissão, verificando se este está a ser utilizado e, em caso afirmativo, aguarda a conclusão da transmissão de outros dispositivos, retransmitindo de seguida. Isto significa que, em caso de bastante interferência, a latência e a taxa de transmissão podem ser bastante afectadas, ao ponto de deixar de existir transmissão.

O DSSS consiste na modulação de cada bit de informação em quatro sinais diferentes, fazendo com que a informação ocupe uma maior largura de banda, tendo também uma menor densidade espectral [25]. Isto permite aumentar a imunidade ao ruído e facilitar a detecção por parte do receptor.

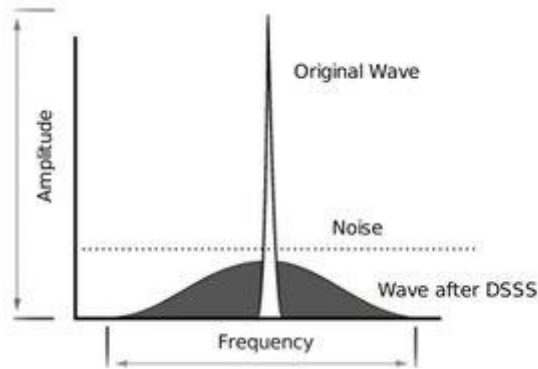


Figura 3.10 - Modulação de sinal usando DSSS [25]

### ➤ Wi-Fi

O Wi-Fi é uma tecnologia que pode operar na gama de frequências dos 2.4 GHz, pelo que, tal como todas as tecnologias que operam nesta gama de frequências, implementa um mecanismo de acesso ao meio, como forma de reduzir a interferência de dispositivos indesejados e maximizar a taxa de transmissão.

O mecanismo utilizado por esta tecnologia é o CSMA/CA, o mesmo utilizado no protocolo IEEE 802.15.4, pelo que se pode concluir que o seu funcionamento não sofre grandes alterações de *performance* para interferências moderadas.

### Comparação

Apesar de ambos os mecanismos de acesso ao meio apresentados serem bastante eficazes, verifica-se que o TDMA (utilizado no *Bluetooth Low Energy*) é ligeiramente mais robusto, no caso de o canal se encontrar bastante saturado.

#### 3.3.4.4 CONCLUSÃO

Tendo em conta os critérios definidos para as tecnologias apresentadas, verifica-se que na comunicação entre sensores de uma rede sem fios, as tecnologias que melhor se enquadram são o *Bluetooth Low Energy* e o IEEE 802.15.4, graças aos seu baixo consumo. Isto é um factor determinante, uma vez que estes dispositivos se encontram alimentados por baterias e um menor consumo na transmissão e recepção de dados significa uma maior autonomia dos mesmos.

No ponto de vista da comunicação entre utilizador e infra-estrutura verifica-se que tanto o *Bluetooth Low Energy* como o Wi-Fi são opções a considerar. No entanto, a ter em conta o consumo, a escolha recai para o *Bluetooth Low Energy*, uma vez que permite uma maior autonomia do sistema (caso seja alimentado por baterias), como do utilizador.



Relativamente à robustez, verifica-se que todas as tecnologias são capazes de tratar o ruído de forma adequada, pelo que nenhuma delas se destaca relativamente às restantes. Isto deve-se também ao facto de possuírem métodos semelhantes de acesso ao meio.

Em termos de escalabilidade, tanto o *ZigBee* como o *Wi-Fi*, apresentam vantagem sobre o *Bluetooth Low Energy*, uma vez que permitem expandir a rede a partir dos seus nós, fazendo o reencaminhando da informação. Isto não é possível no *Bluetooth Low Energy*, uma vez que o protocolo apenas permite ligações ponto a ponto.

Relativamente ao custo de cada módulo, verifica-se [26] que a diferença de preço entre módulos de *ZigBee* e módulos de *Bluetooth Low Energy* é insignificante. Por outro lado, verifica-se [27] que a diferença média de preço entre módulos equipados com *ZigBee* ou *Bluetooth Low Energy* e módulos equipados com *Wi-Fi* que varia entre 2 e 2.5 dólares, facto que poderia ser determinante na escolha da tecnologia, caso se pretendesse realizar uma produção em grande escala.

### 3.4 SISTEMAS DE PAGAMENTO

Pretende-se agora descrever e analisar as soluções comerciais disponíveis no mercado que permitem gerir o pagamento de parques de estacionamento através de métodos alternativos.

- **eos Parking [28]**

A eos Parking é uma empresa que recentemente lançou no mercado um produto que permite realizar o pagamento do estacionamento nos seus parques com a partir de uma aplicação móvel desenvolvida para o efeito, sendo o pagamento feito a partir de um cartão de crédito associado à conta do utilizador. O acesso à plataforma pode ser feito a partir de uma ligação de dados e a partir da Internet.

Uma vez que não é fornecida qualquer informação acerca das ligações disponíveis nos parques aderentes, pressupõe-se que as comunicações feitas localmente sejam feitas a partir de uma ligação de dados, que terá um custo variável, consoante o tarifário do utilizador.

- **Via Verde [29]**

Uma outra solução comercial presente no mercado é o sistema de pagamento da Via Verde, que consiste no pagamento do estacionamento a partir de um cartão de débito associado à conta do utilizador. Este sistema requer que o utilizador possua um dispositivo identificador presente no veículo para o identificar e para registar eventos de entradas e saídas.

---

#### 3.4.1 COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DISPONÍVEIS NO MERCADO

Tendo sido apresentados os sistemas de pagamento para parques de estacionamento de maior destaque a nível nacional, será agora realizada uma comparação entre estes e o produto que se pretende desenvolver.

Para o efeito, consideraram-se as seguintes funcionalidades:

- **Consultar parques próximos**

Esta funcionalidade permite ao utilizador localizar parques de estacionamento próximos utilizando para o efeito um mapa da zona em que se encontra.

- **Simular custo de estacionamento**

Tendo em conta que o custo de utilização varia consoante o sistema e local em que o utilizador se encontra, o sistema disponibiliza ao utilizador a opção de simular o custo, consoante o lugar e tempo de utilização.

- **Guiar o utilizador**

Capacidade do sistema em guiar o utilizador até a um local de estacionamento definido por si recorrendo ao GPS incorporado no seu dispositivo ou às redes às quais se encontra ligado.

- **Pagamento multi-modal**

O pagamento multi-modal, como o próprio nome indica, consiste na disponibilização de vários métodos de pagamento ao utilizador, facilitando a integração do sistema com os sistemas já existentes actualmente.

Considera-se que um sistema que possua um serviço de pagamento multi-modal deve incluir pelo menos um método de pagamento dos seguintes, como complemento ao método de pagamento tradicional feito de forma monetária:

- Cartão pré-pago
- Cartão de débito/crédito
- Cartão de crédito virtual/temporário
- SMS

- **Localização do veículo**

Considerando que o dispositivo do utilizador se encontra equipado com GPS, é possível guiar o utilizador até ao seu veículo, caso este estacione com recurso a uma aplicação móvel que suporte esta funcionalidade.

Isto é particularmente útil quando o utilizador visita locais desconhecidos, uma vez que facilita a localização e o retorno ao veículo.

- **Associação de veículo**

O estacionamento com recurso à aplicação móvel requer que o utilizador associe um veículo à sua conta.

O facto de não ser necessário associar um veículo a uma conta, permite que esta seja usada por vários utilizadores, garantindo privacidade, uma vez que é dada a opção de escolha relativamente aos dados que este pretende introduzir.

- **Ferramentas de controlo e monitorização**

A disponibilização por parte do sistema de ferramentas de controlo e monitorização permite que as entidades de fiscalização possam identificar com facilidade os lugares ocupados, o tempo de estacionamento, o estado do pagamento e ainda verificar se os lugares se encontram devidamente ocupados (exemplo: lugares reservados ou ocupação excessiva de lugares).

Esta funcionalidade tem grande importância neste tipo de sistemas, uma vez que permite identificar a ocupação de lugares indevidamente de forma rápida e em tempo-real. Além disso, informação disponível pode ainda ser utilizada de forma estatística, o permitiria realizar um planeamento adequado dos locais de estacionamento, reorganizar os já existentes caso seja necessário e melhorando o fluxo de veículos nas zonas abrangidas.

- **Reserva de lugar**

O sistema permite ao utilizador reservar um lugar à sua escolha a partir de uma aplicação móvel ou a partir de um *website*, mediante um custo que poderá variar de acordo com a zona ou lugar de estacionamento. Esta funcionalidade permite ao utilizador eliminar assim o tempo de procura e garantir um lugar específico.

- **Sensores de estacionamento**

A detecção de ocupação de lugares por parte do sistema requer que sejam instalados sensores de estacionamento. Caso o sistema não utilize sensores de estacionamento para o efeito, podem ser utilizadas técnicas alternativas como a introdução manual do lugar ocupado ou ainda a partir de coordenadas GPS fornecidas pelo utilizador (sendo neste caso necessário o uso de uma aplicação móvel).

- **Histórico de estacionamentos/pagamentos**

Esta funcionalidade permite ao utilizador consultar o historial de estacionamentos e pagamentos efectuados com recurso à aplicação, tendo acesso ao tempo de estacionamento, veículo que realizou o estacionamento e ainda o custo de estacionamento do mesmo.

- **Acesso/pagamento remoto**

Esta funcionalidade consiste na disponibilização de um serviço que permita ao utilizador aceder a informações relativas ao estacionamento, controlar o estado do mesmo (parar ou prolongar caso tenha definido o tempo de estacionamento) e ainda

efectuar o pagamento do mesmo de forma remota, a partir de SMS ou de uma página Web criada para o efeito.

Para que seja mais fácil comparar os sistemas enunciados, apresenta-se sob a forma de tabela as funcionalidades disponibilizadas por cada um deles.

Funcionalidade	eos Parking	Via Verde	Sistema a desenvolver
Consultar parques próximos	X	X	✓
Simular custo de estacionamento	X	X	✓
Guiar o utilizador	X	X	✓
Pagamento multi-modal	X	✓	✓
Localização do veículo	X	X	✓
Associação de veículo	✓	✓	X
Ferramentas de controlo e monitorização	✓	X	✓
Reserva de lugar	X	X	✓
Requer sensores de estacionamento	X	X	X
Histórico de estacionamentos/pagamentos	✓	X	✓
Acesso/pagamento remoto	✓	X	✓

**Tabela 3.1 - Comparação entre sistemas de pagamento**

Notas acerca da Tabela 3.1 - Comparação entre sistemas de pagamento:

Símbolo:

- ✓ O sistema/produto dispõe a funcionalidade indicada
- X O sistema/produto não dispõe a funcionalidade indicada

Cores:

- Verde - A funcionalidade indicada é vista como uma vantagem
- Vermelho - A funcionalidade indicada é vista como uma desvantagem

As funcionalidades marcadas com uma cruz (X) assinaladas a verde, são consideradas como vantagens, uma vez que:

- A não associação de um veículo a um determinado utilizador permite aumentar a sua confidencialidade;
- O facto de não serem necessários sensores de estacionamento por cada lugar, permite reduzir custos de instalação e manutenção;

Tendo em conta os resultados apresentados, verifica-se que o sistema que se pretende desenvolver pretende tirar partido das vantagens dos sistemas concorrentes e ainda acrescentar outras funcionalidades que o tornem mais atractivo.

## 4. CASOS DE APLICAÇÃO

Apesar da plataforma ser projectada para funcionar em qualquer tipo de ambiente, podem ainda considerar-se alguns casos mais específicos, que serão analisados de seguida.

### 4.1.1 COM DETECTOR DE LUGAR

No caso do parque de estacionamento possuir detectores de lugar instalados, surgem as seguintes questões:

- Como determinar qual o utilizador que entrou/saiu do parque de estacionamento?

Neste caso, existem duas soluções: uma que permite identificar o último lugar ocupado/desocupado e outra que permite identificar o utilizador que está para entrar/sair.

Na primeira solução, é possível determinar o utilizador caso o lugar esteja associado ao mesmo. No entanto, é também possível estimar que utilizador está a entrar ou sair com base no último lugar ocupado/desocupado.

Na segunda solução, é possível saber exactamente qual o utilizador que está a entrar ou sair, caso o parque esteja equipado com um módulo de *Bluetooth Low Energy* e o utilizador use a aplicação móvel da plataforma para registar a sua entrada/saída.

### 4.1.2 SEM DETECTOR DE LUGAR

Considerando o caso de um parque de estacionamento aberto ou de uma via pública sem saída, em que os veículos saem por onde entram pode surgir a seguinte questão:

- Será que é possível determinar o número de lugares livres nesta situação?

A resposta é sim. No entanto, isto é apenas aplicável quando se verificam as seguintes condições:

- a) Existe um detector de veículos na entrada/saída do parque (ou via pública)
- b) Todos os veículos têm que passar obrigatoriamente pelo detector ao entrar e sair do parque (ou via pública)

Desta forma, com o auxílio de um sistema de detecção de passagem e um contador previamente inicializado (com o número actual de lugares ocupados e o número total de lugares) ligado ao detector de veículo, é possível determinar o número de lugares vagos na via ou no parque.

## 5. ARQUITECTURA DO SISTEMA

Neste capítulo pretende descrever-se a arquitectura do sistema (representada graficamente na Figura 5.2 - Estrutura da rede), abordando os elementos que o constituem e quais as suas funcionalidades.

### 5.1 ELEMENTOS DO SISTEMA

#### 5.1.1 TELEMÓVEL DO UTILIZADOR

Permitirá correr a aplicação desenhada para a plataforma, disponibilizando ao utilizador funcionalidades de guia, localização e pagamento.

Uma vez que estas dependem da tecnologia presente no telemóvel do utilizador, este deverá possuir as seguintes tecnologias:

- **Bluetooth Low Energy**

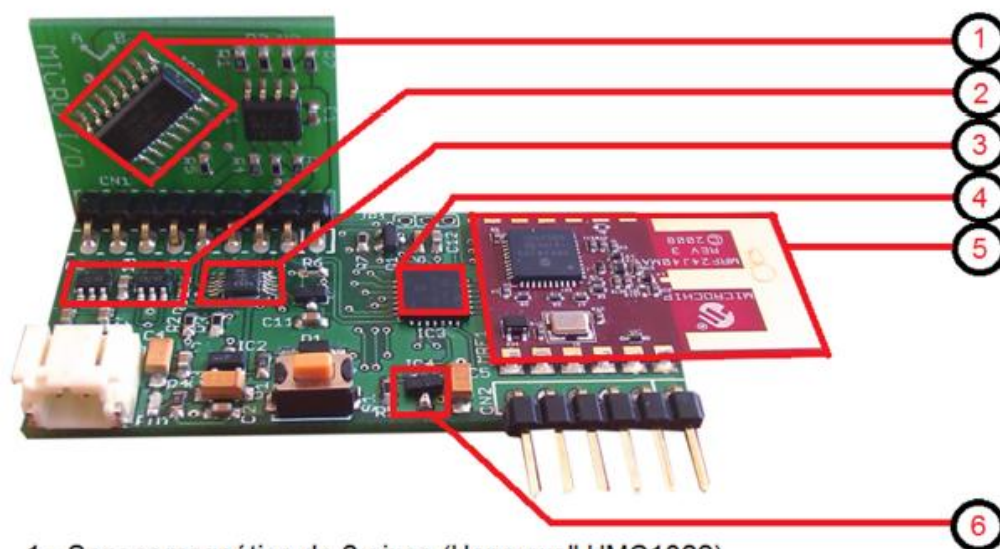
O *Bluetooth Low Energy* é uma tecnologia de comunicação sem fios de baixo consumo que, conjuntamente com o telemóvel do utilizador irá estabelecer uma ligação com o *gateway* mais próximo. Desta forma, será possível trocar mensagens entre ambos e realizar operações de início, término e pagamento do estacionamento.

- **GPS (*Global Positioning System*)**

Este sistema de navegação permite obter a localização precisa do utilizador, para que se possa guiar o utilizador até um parque de estacionamento aderente. Além disso, é possível definir um lugar como ocupado recorrendo apenas às coordenadas GPS.

#### 5.1.2 DETECTOR DE VEÍCULO

Dispositivo colocado no pavimento deve ser capaz de detectar a presença de um veículo com precisão e utilizar a menor energia possível, uma vez que se pretende utilizar um detector de veículo sem fios, maximizando portanto a sua autonomia. O detector de veículo utilizado neste trabalho encontra-se representado na Figura 5.1, e é composto por um microcontrolador, um sensor magnético, um módulo de comunicações sem fios e uma fonte de alimentação. Pode ainda ser encontrada uma informação mais detalhada sobre o mesmo na secção 6.1.2.



- 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 5.1 - Detetor de veículo [30]

### 5.1.3 DATASINK

Dispositivo responsável pela recolha e retransmissão dos dados provenientes dos detetores de veículo em redor.

A recolha dos dados é desencadeada por eventos provenientes dos detetores de veículo (como a ocupação de um lugar ou o pagamento do estacionamento), sendo estes posteriormente retransmitidos para o *gateway* mais próximo que se encarregará de os enviar para o servidor.

Uma vez que a principal função do *datasink* é retransmitir dados dos detetores de veículo, este deverá estar equipado com duas interfaces de comunicação sem fios IEEE 802.15.4 (tecnologia utilizada nos módulos deste projecto), uma para receber e outra para enviar.

No caso de um parque de estacionamento fechado, os *datasinks* podem ser substituídos por *gateways*, encurtando o número de *hops* da rede e reduzindo os tempos de transmissão e recepção de e para o servidor.



---

#### 5.1.4 GATEWAY

Dispositivo intermédio cuja funcionalidade é receber e processar os dados recebidos da rede local (rede de sensores e/ou telemóvel do utilizador) ou da rede remota (servidor/base de dados).

Além disso, estes dispositivos permitem expandir a rede de forma fácil, uma vez que apenas é necessário registar o gateway na base de dados e adicionar novos módulos (sendo a comunicação efectuada com o gateway mais próximo).

Tal como os *datasinks*, os *gateways* devem estar equipados com um ou dois módulos de IEEE 802.15.4, consoante a comunicação seja *full-duplex* ou *half-duplex*, respectivamente. Além disso, devem possuir um módulo de BLE, para poder comunicar com o utilizador e disponibilizar os serviços da infra-estrutura.

---

#### 5.1.5 SERVIDOR E BASE DE DADOS

Servidor, representado na Figura 5.2, é o sistema que responde a pedidos provenientes da rede com o objectivo de fornecer serviços de controlo e monitorização.

É também a entidade responsável por registar todos os eventos da rede (ocupação de lugares, estado dos detectores de veículo, *gateways* e *datasinks*) numa base de dados, processar operações de pagamento e ainda controlar entradas e saídas (em ambientes *indoor*).

Relativamente às comunicações, o servidor deve encontrar-se ligado à Internet e ser robusto, uma vez que uma falha no servidor pode comprometer todo o serviço.

## 5.2 ESTRUTURA DA REDE

O sistema desenvolvido tem a estrutura apresentada na Figura 5.2, onde se encontram representados os elementos descritos em 5.1, assim como as suas interligações.

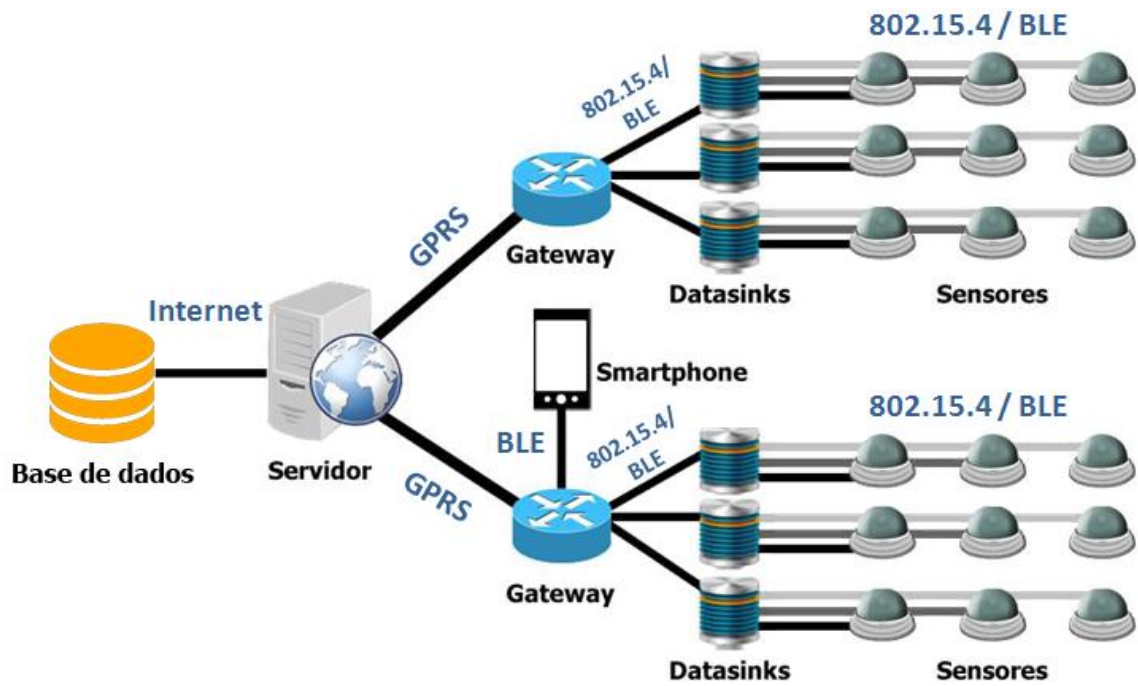


Figura 5.2 - Estrutura da rede

### 5.3 MODO DE FUNCIONAMENTO

Pretende-se agora descrever o funcionamento do sistema ao nível das comunicações e apresentar um fluxograma que descreve, através de blocos, o funcionamento do sistema.

#### 5.3.1 MODELO DE COMUNICAÇÃO

Nesta secção será descrito o processo de emparelhamento ao nível da camada de ligação (Figura 5.3) entre o telemóvel do utilizador e um *gateway* do sistema, ambos com a tecnologia BLE.

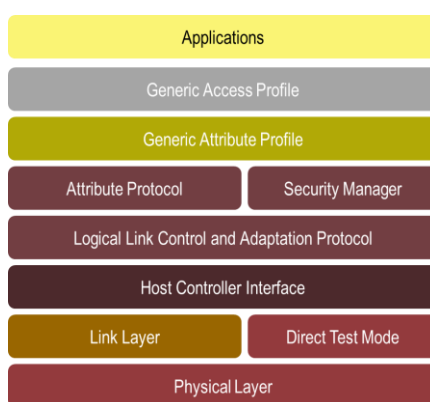


Figura 5.3 - Modelo OSI do BLE [31]

A camada de ligação permite controlar a ligação de acordo com o estado actual da mesma, actuando sobre a camada abaixo, a camada física.

De acordo com a especificação do BLE, uma ligação pode ter os estados representados na Figura 5.4.

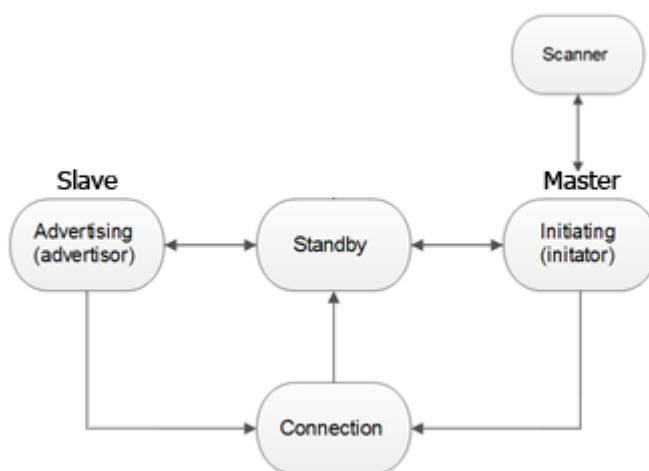


Figura 5.4 - Estados possíveis da camada de ligação do BLE [32]

De acordo com o BLE, cada dispositivo deve desempenhar uma de duas funções, podendo ser *master* ou *slave* e actuar como *initiator* ou *advertiser*, respectivamente.

Um dispositivo *master* pode estabelecer várias ligações com vários *slaves* em simultâneo, sendo no entanto apenas possível estabelecer uma ligação por *slave*. Isto implica que redes formadas por dispositivos BLE utilizem uma topologia de rede em estrela, que corresponde a um *master* e vários *slaves*, que é chamada de *piconet*.

A criação de uma ligação ocorre de acordo com os seguintes eventos:

- Um dispositivo (*slave*) que se encontra no estado *advertising* anuncia a sua presença enviando pacotes de *advertising* em intervalos de tempo chamados eventos de *advertising events*, que são enviados num canal apropriado e de forma sequencial.
- Outro dispositivo (*master*) que se encontra no estado *initiating* e que pretenda estabelecer uma ligação, fica à escuta de pacotes de *advertising* (alterando o seu estado para *scanner*). Assim que um pacote de *advertising* é detectado, é enviado um pedido de ligação para o *advertiser*.
- Assim que o pedido de ligação seja aceite, é criada uma ligação ponto-a-ponto entre *master* e *slave*, passando a ligação a estar no estado *Connection*.

Assim que a ligação é terminada, ambos os dispositivos passam a estar em *standby*. Quando a ligação está estabelecida, os *slaves* passam a maior parte do tempo em modo de baixo consumo (*sleep*) e apenas acordam de forma periódica para escutar pacotes enviados pelo *master*. Estes eventos temporais são definidos pelo *master*, que gere o acesso ao meio através de uma multiplexagem no tempo (TDMA). Além disso, fornece ainda a informação necessária aos *slaves* para que se possa utilizar um algoritmo de *frequency hopping* nas ligações criadas.

Esta informação é enviada durante o pedido de ligação e pode ser actualizada em tempo-real para reduzir a interferência causada por outros dispositivos. [33]

No caso deste projecto, os módulos de BLE presentes nos *gateways* actuam como *advertisers*, devido a uma limitação de *hardware*. Isto implica que o telemóvel do utilizador seja um *initiator*, o que significa que apenas pode existir uma ligação em simultâneo para cada módulo.

Ainda que fosse possível, por parte do *gateway*, desempenhar a função de *initiator*, não seria possível estabelecer uma ligação com um telemóvel a correr o sistema operativo Android, uma vez que existe uma limitação de *software* por parte do mesmo, que o impede de actuar como *advertiser*.

Com configuração descrita, as ligações só podem ser criadas por parte do utilizador, pelo que é necessário implementar um mecanismo que filtre dispositivos indesejados.

Uma solução possível consiste na filtragem de endereços MAC a partir da aplicação móvel, sendo a ligação feita de forma automática com *gateways* fidedignos.

Outra solução consiste na atribuição de um nome específico para cada *gateway*, sendo gerada uma palavra passe em função deste. Esta solução pode ainda servir de complemento à primeira, permitindo não só filtrar dispositivos indesejados, mas também encriptar a ligação.

Apesar disso, actuando em modo *slave*, o *gateway* apenas pode receber uma ligação em simultâneo de cada utilizador, o que é um problema, uma vez que é suposto ser uma alternativa viável aos sistemas de pagamento actuais.

Para contornar esta limitação, podem ser ligados vários módulos ao mesmo *gateway* utilizando a interface SPI. Assim, o número máximo de utilizadores que pode ser atendido em simultâneo será proporcional ao número de módulos presente no *gateway*. Esta solução requer no entanto que haja um maior processamento por parte de *gateway*, uma vez que é necessário processar os eventos (sinais de *handshake*) de cada módulo de forma individual.

---

### 5.3.2 MODELO DE TRAMAS

Todas as comunicações entre os dispositivos utilizados neste projecto serão baseadas em tramas, uma vez que facilitam a identificação e extracção do conteúdo transmitido. Estas fazem parte de um protocolo proprietário que é constituído pelos seguintes campos:

- Carácter iniciador ('\$') - permite identificar o início de uma trama
- Versão de trama - permite saber o número de campos de dados e qual o seu conteúdo
- Tipo de trama - permite saber qual é o propósito da trama enviada
- Endereço do remetente - identificação do detector de veículo/*gateway* remetente
- Endereço do destinatário - identificação do *gateway* que recebeu a trama
- Campos de dados - conjunto de dados que depende do tipo de trama
- Carácter terminador ('#') - permite identificar o término de uma trama

Nota: cada campo é separado por um carácter separador (vírgula ',').

Modelo de tramas utilizado:

<b>\$ versão , tipo de trama , remetente , destinatário , dados #</b>
---

No trabalho realizado, apenas se utilizaram dois tipos de trama, uma trama de envio e outra de recepção, que serão descritas de seguida.

Nota: Os termos 'envio' e 'recepção' têm como referência o telemóvel do utilizador e como destinatário o servidor da rede.

### ➤ Trama de envio

As tramas de envio permitem ao utilizador registar um evento (ocupação de lugar e entrar ou sair de um parque de estacionamento), bem como obter informações relativas ao sistema (validação de login, estado do estacionamento, tempo de ocupação e custo).

Além disso, pode ainda ser incluído um campo que identifique o parque ou zona de estacionamento, para facilitar a monitorização por parte dos responsáveis.

Quando é enviada uma 'trama de envio', o tipo de trama tem o valor **12** e os campos de dados são os seguintes:

- Nome de utilizador
- Identificação de zona/parque de estacionamento
- Operação (0 - Registar a saída; 1 - Registar a entrada; 2 - Obter informação de estado)

Tendo uma 'trama de envio' o seguinte formato:

<b>\$ 0 , 12 , 00000001 , 00000002 , Pedro , 10 , 1 #</b>
---

### ➤ Trama de recepção

As tramas de recepção são enviadas pelo servidor como resposta a um pedido do utilizador e permitem saber se uma operação foi executada com sucesso, se um utilizador se encontra registado na base de dados, se ocorreu um erro e qual o seu código.

Quando é enviada uma 'trama de recepção', o tipo de trama tem o valor **13** e os campos de dados são os seguintes:

- Nome de utilizador
- Identificação de zona/parque de estacionamento
- Operação (0 - Registar a saída; 1 - Registar a entrada; 2 - Obter informação de estado)
- Código de erro
- Duração (em minutos)
- Data de entrada
- Custo (em euros)

Uma trama de resposta a um pedido de saída, tem então o seguinte formato (considerando um custo de 0,30€/hora):

<b>\$ 0 , 13 , 00000002 , 00000001 , Pedro , 10 , 0 , 0 , 144 , 2014-05-09 19:01:42.0 , 1.5 #</b>
---

### 5.3.3 INTERFACES DE LIGAÇÃO

Para que se possa comunicar com o servidor a partir do telemóvel do utilizador, é necessário definir as interfaces de ligação entre os módulos intermédios, que irão reencaminhar a informação pelos vários módulos da rede.

Tendo em conta que este trabalho de dissertação tem como base um projecto de *Smart Parking* desenvolvido pela Micro I/O [1], que consiste num sistema de monitorização de redes sem fios para parques de estacionamento (responsável por receber, processar e transmitir as mensagens provenientes da rede de sensores para um servidor remoto), é necessário adaptar a estrutura que já existe para que passe a ser possível estabelecer uma ligação entre o telemóvel do utilizador e um servidor remoto, tirando partido da infraestrutura apresentada na Figura 5.5.



Figura 5.5 - Interfaces de ligação

## 5.4 FLUXOGRAMA

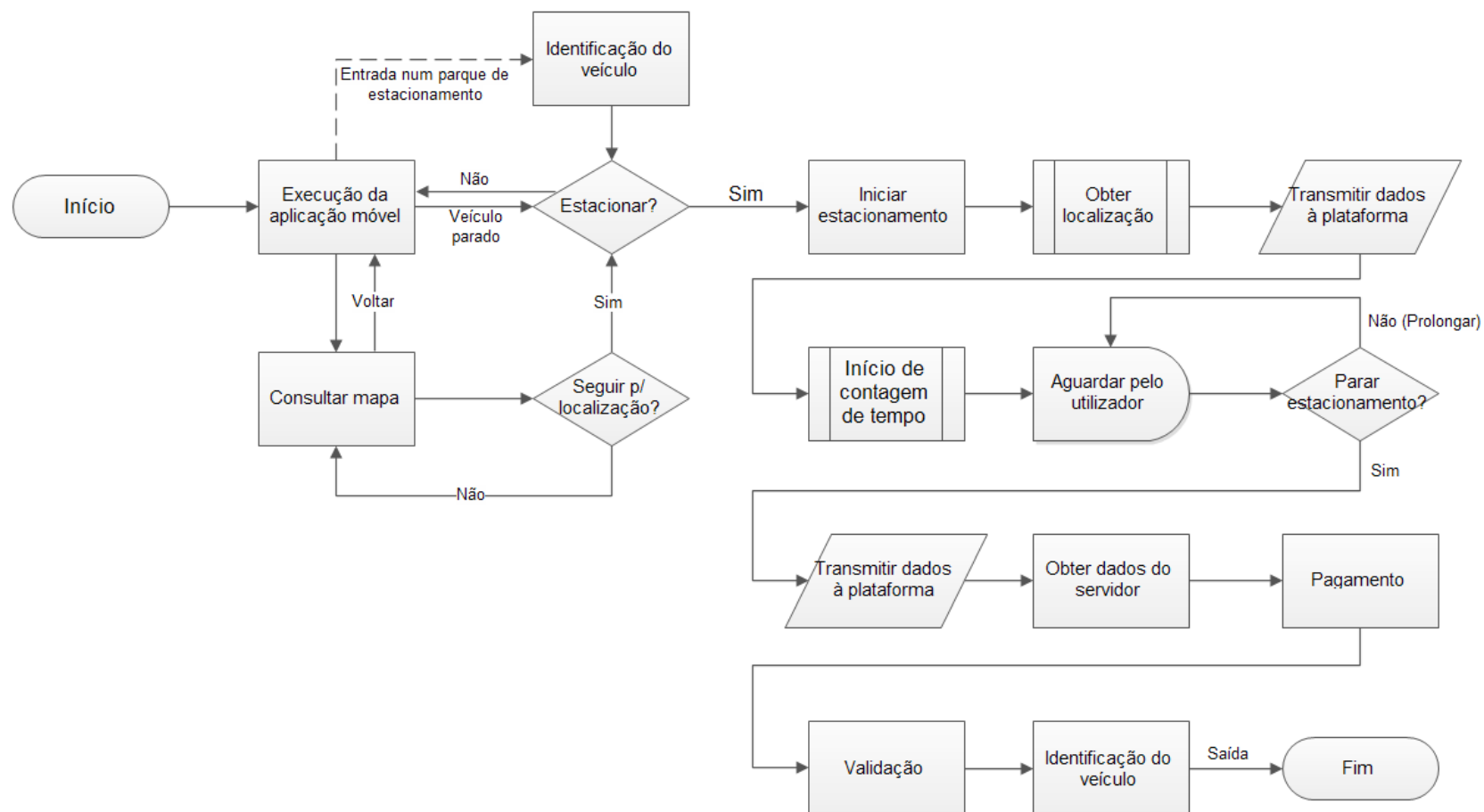


Figura 5.6 - Funcionamento global do sistema



## 5.5 FUNCIONALIDADES DO SISTEMA

Este sistema apresenta várias funcionalidades, que podem ser separadas em duas categorias: as funcionalidades disponibilizadas pela infra-estrutura e as funcionalidades disponibilizadas pela aplicação móvel.

### 5.5.1 INFRA-ESTRUTURA

- Detectar a ocupação de lugares
- Determinar o número de veículos em cada piso (quando aplicável)
- Orientar o utilizador no interior do parque (em parques *indoor*)
- Processar pagamentos
- Responder a pedidos provenientes da aplicação móvel
- Verificar o estado dos equipamentos (detectores de veículo, *datasinks*, *gateways*)
- Registar todos os eventos numa base de dados

### 5.5.2 APLICAÇÃO MÓVEL

- **Guiar o utilizador até um parque de estacionamento**  
Ao utilizar o mapa incluído na aplicação, torna-se possível guiar o utilizador até a um parque de estacionamento definido por si.
- **Iniciar, parar e prolongar o estacionamento**  
Estes comandos permitem ao utilizador controlar o tempo de estacionamento.
- **Transmitir a localização do veículo à infra-estrutura**  
A partir da localização do utilizador (obtida a partir das coordenadas GPS), é possível determinar a ocupação de lugar, qual o lugar ocupado e guiar o utilizador em ambientes *indoor* e *outdoor*.
- **Pagar o estacionamento de forma local (com BLE) ou de forma remota (através de SMS/Web)**  
Esta funcionalidade permite ao utilizador efectuar o pagamento do estacionamento com recurso a um telemóvel ou um computador com acesso à Internet.
- **Registar a entrada ou saída num parque de estacionamento**  
Ao utilizar a aplicação móvel, o utilizador pode registar a entrada ou saída de um parte de estacionamento, sem necessitar de sair do seu veículo.

Estas permitem melhorar a experiência de estacionamento dos condutores e de facilitar a vida a gestores de parques de estacionamento, ao disponibilizar ferramentas que permitem analisar, gerir e aumentar a taxa de ocupação dos seus parques.

Ao utilizar o BLE, verifica-se que é possível aumentar a relação custo/benefício de um parque de estacionamento, uma vez que permite reduzir os custos de manutenção, atrair mais utilizadores ao oferecer serviços de reserva, guia e pagamento. Além disso, graças à flexibilidade do sistema ser sem fios, é possível expandir a cobertura do parque de forma rápida e eficiente.

O uso deste tipo de sistemas em cidades permite ainda reduzir a poluição atmosférica, aumentar o comércio, reduzir o *stress* e adoptar políticas de estacionamento mais rentáveis/eficientes.

## 6. ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

### 6.1 HARDWARE

Nesta secção, serão detalhados os equipamentos utilizados neste projecto que permitem estabelecer uma ligação entre o telemóvel do utilizador e a base de dados onde é guardada a informação do estacionamento.

#### 6.1.1 TELEMÓVEL

A utilização deste sistema de pagamento inteligente, pressupõe que o utilizador possua um telemóvel com a tecnologia *Bluetooth Low Energy*, essencial para estabelecer uma ligação com a plataforma, o sistema operativo Android 4.3 ou superior, uma vez que é a versão mínima que suporta esta tecnologia e ainda a aplicação móvel desenhada para este sistema.



Figura 6.1 - Telemóvel equipado com *Bluetooth Low Energy* (Nexus 5) [34]

#### 6.1.2 DETECTOR DE VEÍCULO

O micro controlador utilizado foi um Microchip PIC18F26K20, escolhido devido ao seu baixo custo e baixo consumo. Além disso, o fabricante disponibiliza um *software* de desenvolvimento simples e robusto, o MPLAB X<sup>®</sup> que permite realizar a sua programação e *debug* do micro controlador a partir um computador ligado por USB, o que torna o desenvolvimento mais rápido.

O sensor magnético utilizado é um Honeywell HMC1022 de dois eixos, representados na Figura 6.2 e foi escolhido devido à sua sensibilidade de medição, baixo custo e baixa tensão de operação.

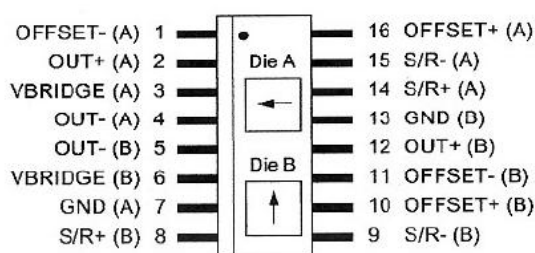


Figura 6.2 - HMC1022 [35]

O detector está ainda equipado com módulo de comunicação sem fios IEEE 802.15.4, que foi escolhido tendo em conta o consumo e o alcance. Estes dois factores são importantes porque permitem aumentar a autonomia do sistema e, uma vez que este dispositivo integra uma rede de sensores com uma topologia em árvore é necessário que consiga comunicar a alguma distância do *gateway*.

### 6.1.3 MÓDULO DE COMUNICAÇÕES SEM FIOS

O elemento que faz de ponte de ligação entre o utilizador e o sistema é o módulo de comunicações *Bluetooth Low Energy*, que permite receber e enviar dados para o telemóvel do utilizador.

O módulo utilizado, BLE Shield (da Red Bear Labs), encontra-se representado na Figura 6.3 e, em conjunto com Arduino (Figura Figura 6.3), permite estabelecer uma comunicação bidireccional (*half-duplex*) com um dispositivo equipado com *Bluetooth Low Energy*.

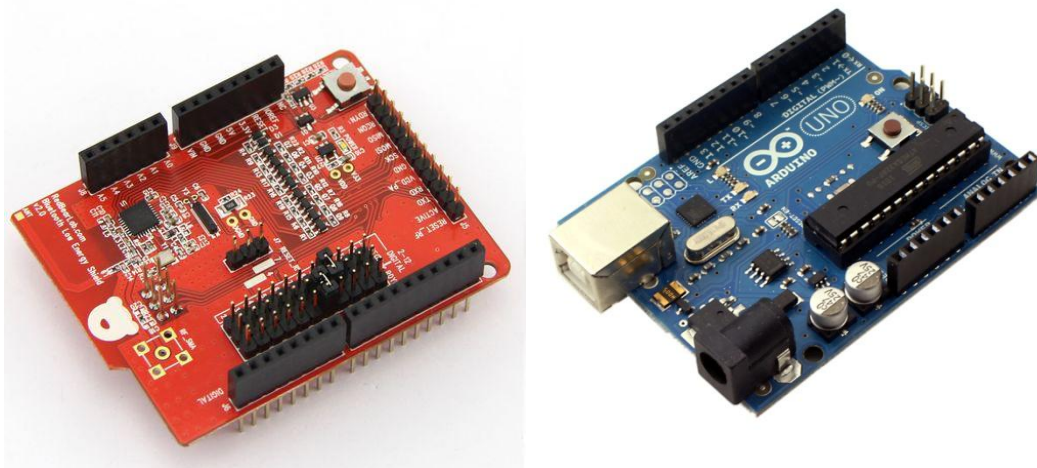


Figura 6.3 - Módulo de *Bluetooth Low Energy* [36] e Arduino Uno [37]

### 6.1.4 GATEWAY

Este equipamento é responsável por receber e processar tramas provenientes do módulo de comunicações sem fios, que por sua vez recebe os dados do utilizador, e tramas dos sensores de estacionamento, a partir de *transceivers* IEEE 802.15.4. Assim que é detectada uma trama válida, é feito o respectivo processamento e conseqüente envio, consoante a origem dos dados. Caso a origem seja o telemóvel do utilizador ou um sensor de estacionamento, o envio é feito a montante, para o modem GPRS. No caso de receber uma mensagem proveniente do modem, o gateway poderá reencaminhar a para os sensores de estacionamento ou para o telemóvel do utilizador, consoante o tipo de mensagem recebida.

O *gateway* utilizado neste projecto, consiste numa placa criada pela Micro I/O, que incorpora um micro controlador PIC32MX575F512H da Microchip e um ou dois *transceivers* MRF24J40MA, também da Microchip, que implementam o protocolo IEEE 802.15.4.

---

#### 6.1.5 MODEM GPRS

O modem GPRS tem como função fazer de ponte de ligação entre o equipamento local (módulo de comunicações sem fios e gateway) e um servidor remoto, enviando e recebendo os dados utilizando GPRS e a rede móvel.

O modelo utilizado foi o TC65i da Cinterion [38], que foi aplicado numa placa criada pela Micro I/O que inclui uma porta série e uma porta mini USB, pela qual é feita a sua programação com recurso à aplicação de desenvolvimento Netbeans e ao SDK disponibilizado pelo fabricante.

---

#### 6.1.6 SERVIDOR REMOTO DE ACESSO À BASE DE DADOS

O servidor remoto, consiste num computador que disponibiliza um serviço de controlo de acessos a um ou mais lugares de estacionamento para dispositivos autorizados. Isto permite aumentar a segurança do sistema e evitar o acesso a pessoas não autorizadas.

O serviço é responsável por aceder a uma base de dados (local ou remota), onde se encontram as informações dos utilizadores e dos lugares de estacionamento, e tem como funções: registar eventos (entradas/saídas), obter informações (do lugar ou do utilizador) e transmiti-las a quem as solicitou.

Ao concentrar a informação numa base de dados, torna-se possível criar uma *interface* Web, que permite uma monitorizar o sistema em tempo-real e ter também um melhor controlo sobre o mesmo.

## 6.2 SOFTWARE

Uma vez que todos os módulos do sistema contêm micro controladores, é necessário criar um programa (*firmware*) que, ao ser aplicado no micro controlador, permite receber, processar e enviar os dados recebidos de forma adequada, para que se possa estabelecer uma ligação robusta e segura entre o telemóvel do utilizador e o servidor remoto.

### 6.2.1 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

- Android Studio

Para desenvolver a aplicação móvel que permite comunicar com a plataforma, foi utilizada a ferramenta de desenvolvimento Android Studio baseada em IntelliJ IDEA, que permite desenvolver e fazer *debug* das aplicações nela desenvolvidas. Além disso, inclui também ferramentas que permitem criar a parte gráfica da aplicação de forma dinâmica e em tempo-real.

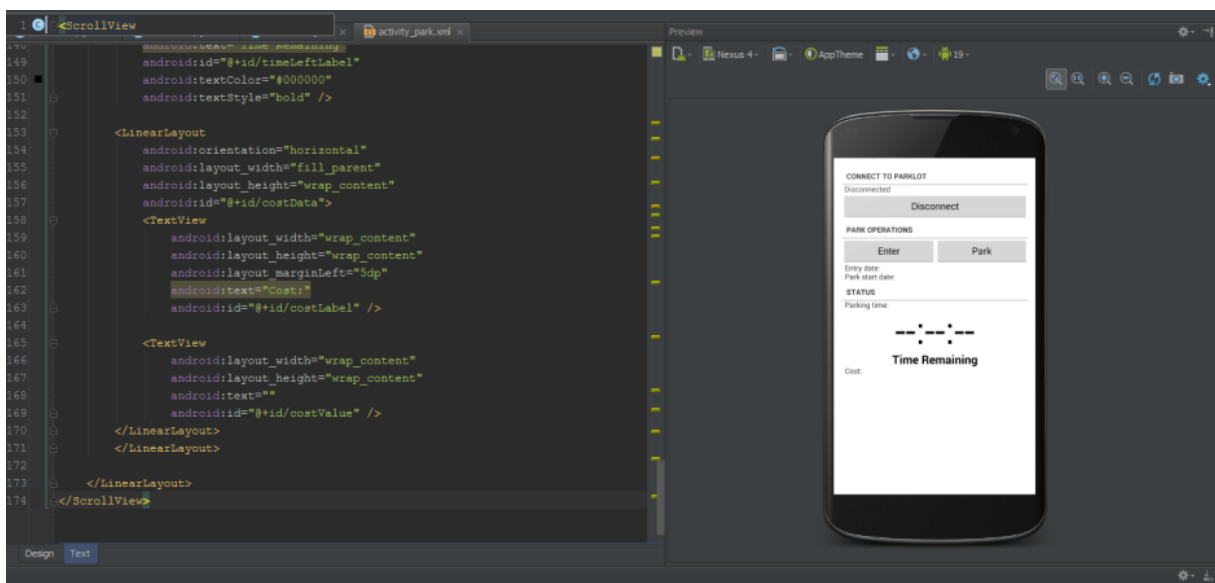


Figura 6.4 - Ambiente de desenvolvimento de aplicações móveis (Android Studio)

- Arduino

Para programar o módulo equipado com comunicações BLE, utilizou-se uma ferramenta de desenvolvimento gratuita fornecida pelo fabricante do módulo, o Arduino, que permite desenvolver aplicações em C e C++ e disponibiliza um ambiente gráfico simples e intuitivo (representado na Figura 6.5).

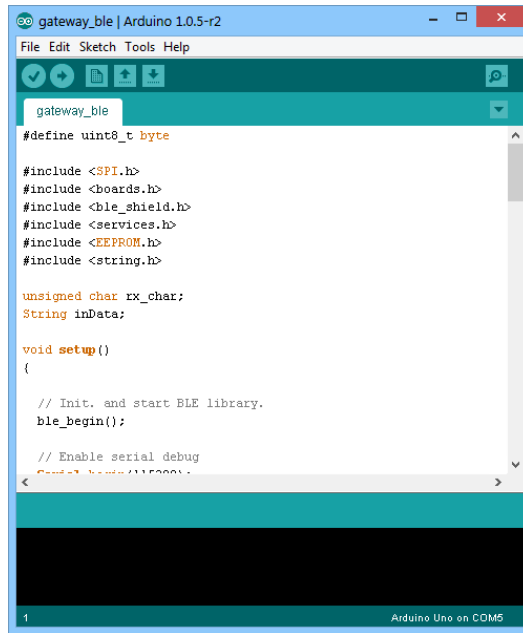


Figura 6.5 - Arduino 1.0.5 (IDE) [39]

- MPLAB X

Para programar o *gateway* do sistema, encarregue de processar e transmitir as mensagens provenientes dos sensores de estacionamento e dos telemóveis dos utilizadores, foi utilizada uma ferramenta de desenvolvimento gratuita, pertencente à *Microchip*, o MPLAB X.

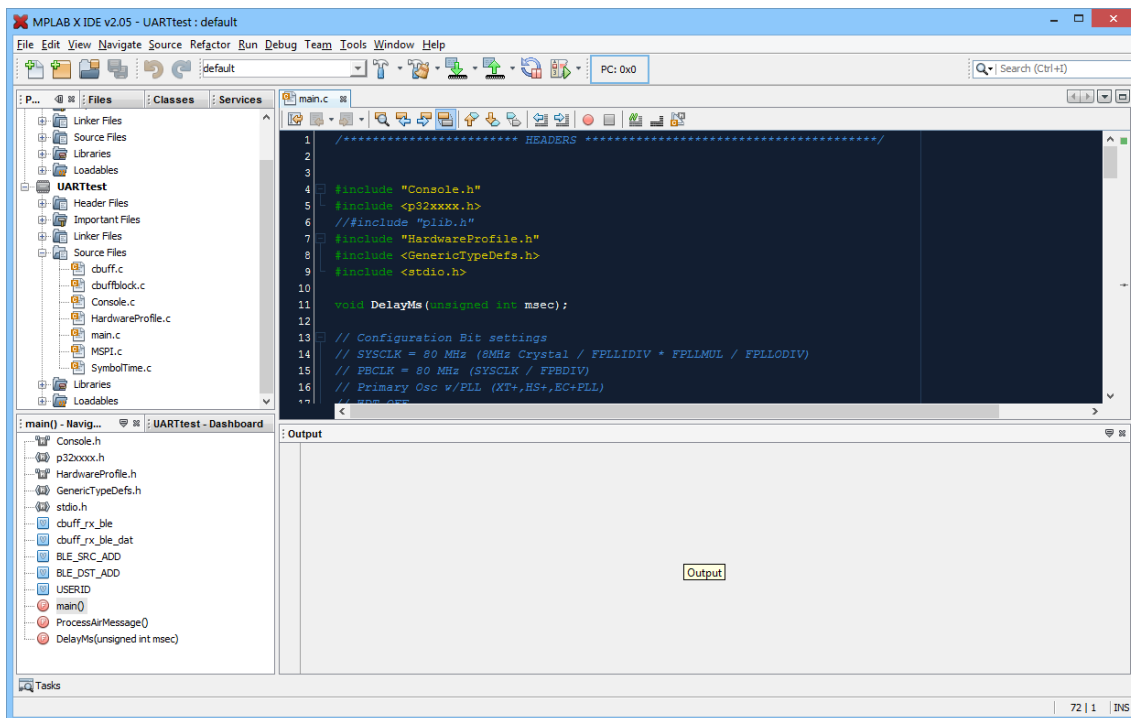


Figura 6.6 - MPLAB X [40]

Esta ferramenta disponibiliza um ambiente gráfico que suporta não só o *hardware* do próprio fabricante, mas também *hardware* de terceiros.

Inclui módulos para desenvolver aplicações, emular *hardware* e realizar testes durante a execução das aplicações. Tem como base a plataforma *NetBeans* e permite desenvolver aplicações em C e *Assembly*.

- Netbeans [41]

Este *software* de desenvolvimento, disponibiliza, à semelhança do MPLAB X, ferramentas que permitem desenvolver e testar aplicações, estando orientado para o desenvolvimento de aplicações de alto nível, como o Java.

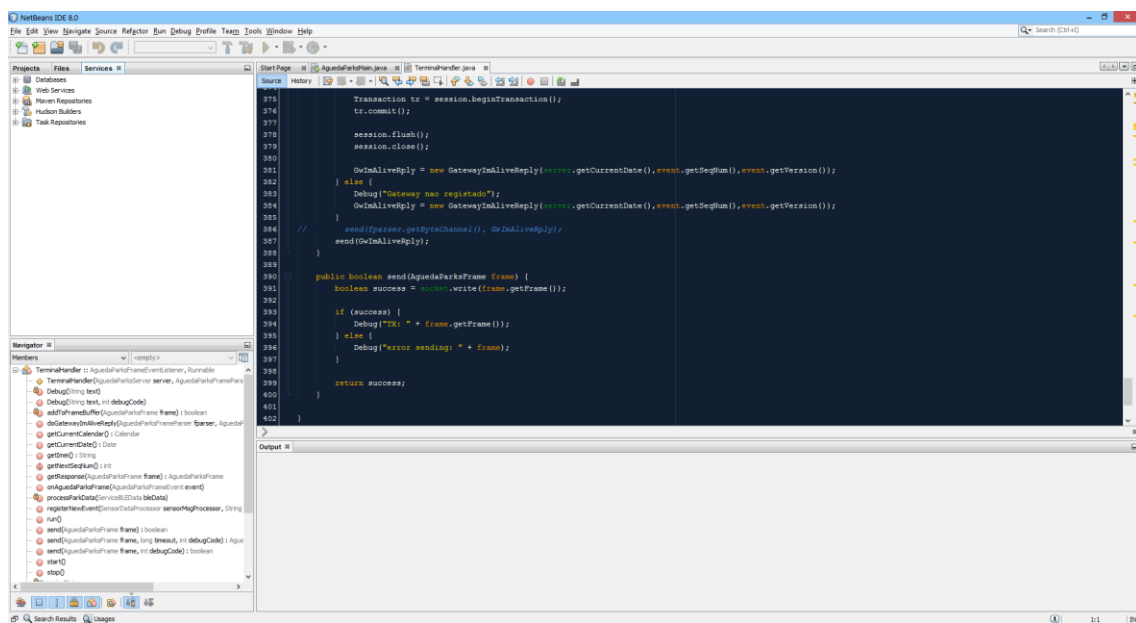


Figura 6.7 - NetBeans 8.0 [41]

## 6.2.2 SOFTWARE DESENVOLVIDO

- Aplicação móvel

Para que fosse possível ao utilizador interagir com o sistema, foi desenvolvida uma aplicação para o sistema operativo Android 4.4.2, tendo suporte para as versões superiores à 4.3 (inclusive), uma vez que não existe suporte para versões anteriores.

A aplicação é responsável por detectar os *gateways* do sistema (através de uma filtragem de endereços MAC), criar uma ligação com um *gateway* válido e disponibilizar os serviços (de estacionamento, pagamento e localização) fornecidos pela infra-estrutura.

As comunicações efectuadas entre a aplicação e o *gateway* são feitas com base nas tramas definidas em 5.3.2 e processadas no destino, por forma a reduzir a complexidade.



A identificação do utilizador é feita com base num nome de utilizador e password, que será utilizada para associar o utilizador ao seu saldo de conta na base de dados.

Assim que um comando é enviado pela aplicação, o servidor envia uma resposta de volta, que permite ao utilizador saber se o seu pedido foi ou não efectuado com sucesso.

- Módulo de comunicações sem fios (BLE)

O *firmware* desenvolvido para este módulo é responsável por receber, processar e reencaminhar tramas a montante ou a jusante, consoante a origem da trama. Além disso, permite ainda definir o nome do módulo (apresentado na aplicação móvel) e o tempo de utilização por utilizador.

- *Gateway*

Neste módulo, o *firmware* é, à semelhança do módulo de comunicações sem fios, responsável por receber, processar e reencaminhar tramas provenientes da rede de sensores sem fios (detectores de veículo), do servidor ou do utilizador (através do módulo de comunicações).

O facto de este possuir duas *interfaces* série, torna possível acrescentar ao sistema um módulo extra de comunicações sem fios, responsável por interagir com o utilizador e implementar um sistema de pagamentos.

- *Modem*

O *firmware* desenvolvido para o *modem* é responsável por criar uma ligação GPRS entre o *gateway* e o servidor, reencaminhando mensagens recebidas devidamente processadas. Isto permite descartar mensagens não desejadas (por exemplo, mensagens de teste) e ainda efectuar um reencaminhamento adequado das mesmas por parte do *gateway* (para mensagens cujo destinatário seja ou o utilizador ou a rede de sensores).

- Base de dados

Como tem vindo a ser descrito ao longo deste trabalho, as informações do sistema desenvolvido são armazenadas numa base de dados, uma vez que passa a ser possível centralizar a informação e tornar mais eficiente o acesso e a gestão aos dados.

Para o efeito, foi criada uma base de dados que permitisse guardar tanto as informações associadas à rede de sensores de estacionamento, como as informações relativas ao sistema de pagamentos (registo de utilizador, saldo, movimentos de conta), que se encontra representada na Figura 6.8.



## 7. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Após concluir a realização prática deste trabalho de dissertação, realizaram-se alguns testes para confirmar e verificar a *performance* do protótipo desenvolvido.

Uma vez que o trabalho desenvolvido consiste num sistema de pagamentos sem fios, é importante garantir que o utilizador tem um acesso fiável ao sistema e que este permite estabelecer comunicações a uma distância razoável.

Para verificar se os objectivos propostos foram atingidos realizaram-se testes de alcance e desempenho, simulando cenários de aplicação reais.

### 7.1 ALCANCE

Para determinar o alcance máximo do sistema foram efectuados vários testes em dois cenários diferentes: um em que o transmissor e receptor se encontravam em linha de vista e outro em que o transmissor e receptor se encontravam separados por vários obstáculos.

#### 7.1.1 EM LINHA DE VISTA

De acordo com o valor apresentado em 3.3.4.2, estima-se que o alcance máximo no qual é possível realizar comunicações seja de aproximadamente 100 m (uma vez que a potência de transmissão máxima do módulo BLE é de 0 dBm).

Para determinar o alcance experimental do sistema, foram realizados vários testes em linha de vista (de acordo com a Figura 7.1), que consistiram no envio de uma mensagem aleatória, que, em caso de sucesso, seria recebida pouco depois.

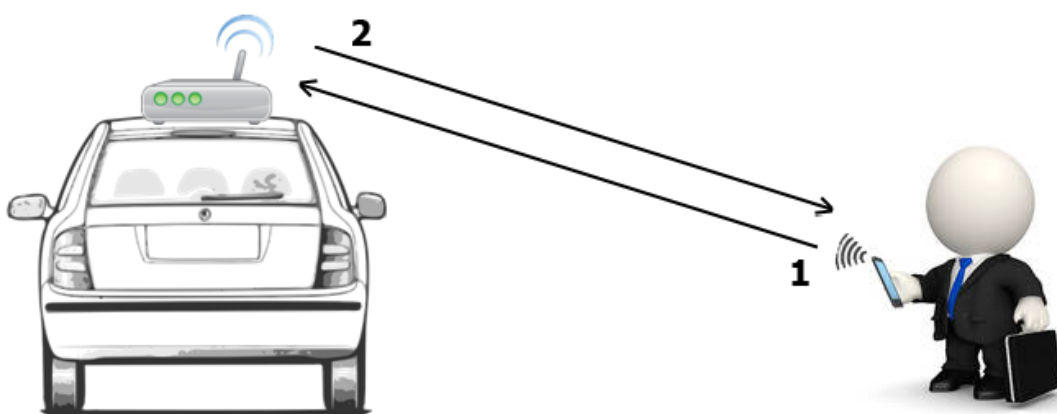


Figura 7.1 - Teste em linha de vista

O valor máximo para o qual foi possível realizar comunicações com sucesso foi de 136 m. Verificou-se ainda que o atraso entre envio e recepção era variável e proporcional à distância entre ambos, tendo sido registado um atraso máximo de 1 segundo.

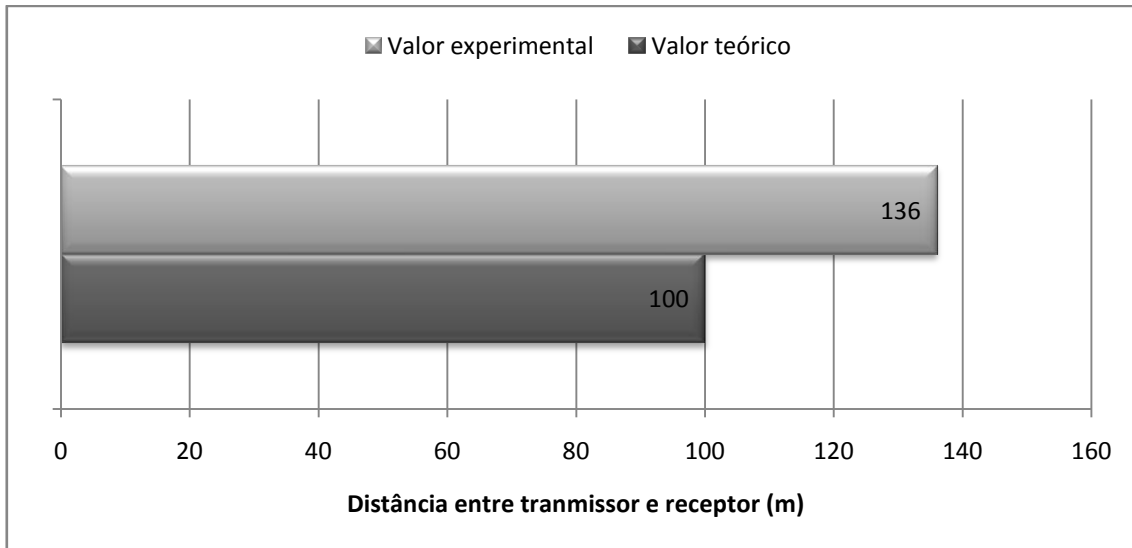


Figura 7.2 - Alcance do sistema em linha de vista

### 7.1.2 COM OBSTÁCULOS

Além dos testes efectuados em linha de vista, foram ainda realizados alguns testes de alcance com obstáculos entre o transmissor e o receptor, com base na mesma metodologia (envio e recepção de uma mensagem aleatória, em caso de sucesso), com vista a simular a operação do sistema em condições normais de operação.

Para o efeito, foram utilizados como obstáculos: veículos, casas e ainda um pequeno planalto, cujos resultados se apresentam na Figura 7.6.

Os testes de alcance nos quais se utilizaram veículos como obstáculo, foram realizados de acordo com a Figura 7.3 e em dois cenários diferentes: sem edifícios nas proximidades e com edifícios nas proximidades (representados na Figura 7.4 e Figura 7.5, respectivamente).

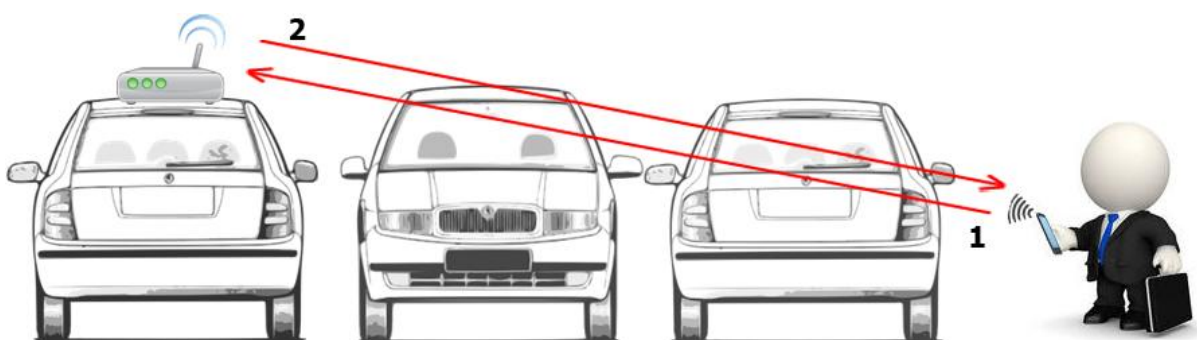


Figura 7.3 - Teste de obstáculos com carros



**Legenda:**

- Utilizador
- Veículo com gateway
- Veículo obstáculo

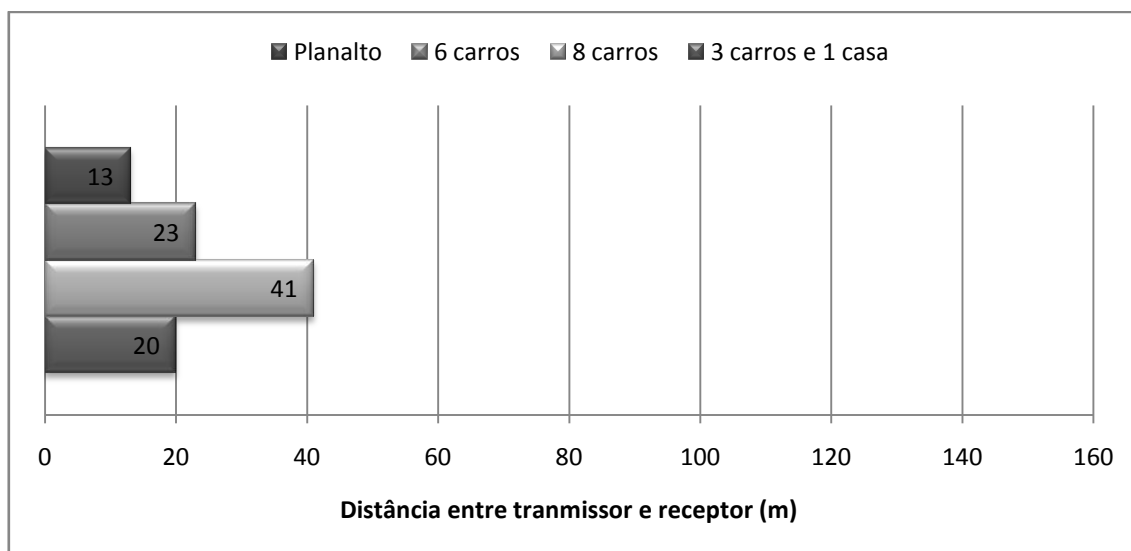
Figura 7.4 - Teste de alcance em espaço aberto



**Legenda:**

- Utilizador
- Veículo com gateway
- Veículo obstáculo

Figura 7.5 - Teste de alcance em espaço urbano



**Figura 7.6 - Alcance do sistema com obstáculos**

De acordo com os resultados apresentados, verifica-se que o alcance do sistema tem grandes variações. As diferenças de alcance dependem essencialmente do tipo de ambiente em que o sistema se encontra instalado e dos obstáculos que existem entre o transmissor e receptor. Este ponto tem maior evidência no alcance obtido com seis e oito carros, uma vez que se esperaria obter um maior alcance para um menor número de carros. Uma explicação plausível para o resultado obtido baseia-se no facto de que, para 8 carros, exista um edifício na parte superior da rua (Figura 7.5) que reflecta os sinais enviados/recebidos. Assim, o sinal reflectido terá uma atenuação muito menor, quando comparado com o sinal recebido de forma directa, isto é, com a atenuação de 8 carros.

## 7.2 ROBUSTEZ

Tendo em conta que o sistema desenvolvido tem como objectivo funcionar em ambientes urbanos, em que a interferência pode ser significativa, realizaram-se alguns testes ao sistema em condições adversas para verificar a sua robustez.

Para o efeito, foram realizadas aproximadamente trinta comunicações com o sistema num local em que existiam vários sistemas sem fios a operar na mesma gama de frequências e a uma distância de 15 m.

O teste efectuado consistiu no envio de mensagens aleatórias enviadas pela aplicação móvel em intervalos de tempo aleatórios, que seriam recebidas posteriormente em caso de sucesso.

A realização deste teste permitiu confirmar a robustez do sistema a interferências uma vez que todas as mensagens enviadas foram recebidas.

## 8. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

### 8.1 CONCLUSÕES

Tirando partido da rede de sensores sem fios desenvolvida pela Micro I/O, que é responsável por detectar e notificar a presença de veículos, foi possível desenvolver e integrar um sistema de pagamentos inteligente capaz de interagir com o utilizador utilizando para o efeito a tecnologia *Bluetooth Low Energy* e uma aplicação móvel concebida para a plataforma em questão. A criação deste sistema, tem como propósito disponibilizar uma solução alternativa aos métodos de pagamento já existentes, tornando o pagamento de serviços numa tarefa mais fácil e prática.

Este sistema tem como principal vantagem a sua flexibilidade, uma vez que pode ser adaptado e utilizado numa grande variedade de estabelecimentos comerciais como alternativa aos sistemas de pagamento actuais. Aliando o seu baixo consumo à flexibilidade, é possível criar vários sistemas com o mesmo princípio de funcionamento e adaptá-los consoante a área de aplicação.

### 8.2 TRABALHO FUTURO

Tendo em conta o trabalho desenvolvido, sugerem-se várias possibilidades que visam dar seguimento ao mesmo.

#### ➤ **Ao nível das comunicações**

Como foi referido neste trabalho, a tecnologia *Bluetooth Low Energy* mostrou ser uma alternativa viável face aos seus concorrentes directos; no entanto, existe uma desvantagem, que consiste no facto de nem todos os *smartphones* a terem. Dito isto, para aumentar o público-alvo e implementar um sistema multi-modal mais completo, sugerem-se as seguintes hipóteses:

- Implementar a tecnologia *Bluetooth Low Energy* dual mode no módulo de comunicações sem fios (responsável por comunicar com o utilizador)  
Isto permite oferecer retro-compatibilidade com as versões anteriores do *Bluetooth* (à custa de um maior consumo e menor alcance).
- Adicionar também a tecnologia de comunicação sem fios Wi-Fi  
Desta forma, passaria a ser possível abranger praticamente todos os utilizadores de *smartphones* (uma vez que a grande maioria possui Wi-Fi), o que tornaria o sistema mais viável à custa de uma maior complexidade e maior consumo energético.

- Adaptação ao sistema para suportar múltiplos utilizadores em simultâneo  
Uma vez que o sistema actual apenas permite no máximo uma ligação em simultâneo (devido a uma limitação de *hardware* e *software*), o suporte para vários utilizadores em simultâneo permitiria aumentar a capacidade de resposta do sistema à custa de maior complexidade do lado do sistema.

➤ **Ao nível da aplicação móvel**

Um dos pontos fortes deste sistema, tal como foi referido anteriormente, é a sua capacidade de adaptação a nível comercial. Uma vez que a infra-estrutura do sistema pouco varia, a flexibilidade do mesmo provém da maneira como o usamos (a nível de *software*).

Pressupondo que existem múltiplos estabelecimentos equipados com este sistema de pagamentos e que o mesmo tenha uma ligação à Internet (para fazer a transacção), sugere-se que seja desenvolvida uma aplicação móvel generalista que contenha uma interface de pagamento para as seguintes áreas: restauração, parques de estacionamento, bilheteiras e ainda uma interface de pagamentos genéricos.

Caso o utilizador tenha pré-carregado a sua conta ou tenha associado à mesma um método de pagamento (Paypal, cartão de crédito ou Paysafecard por exemplo), seria possível utilizar este sistema em praticamente todos os tipos de estabelecimento para realizar pagamentos.



## 9. BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Micro I/O - Serviços de electrónica. Available: <http://www.microio.pt>
- [2] I. Marsh Products. The Basics of Loop Vehicle Detection. Available: <http://www.marshproducts.com/pdf/Inductive%20Loop%20Write%20up.pdf>
- [3] Signal-Tech. (2014). *RedStorm™ Parking Guidance System*. Available: [http://www.signal-tech.com/products/parking/redstorm\\_parking\\_guidance\\_system](http://www.signal-tech.com/products/parking/redstorm_parking_guidance_system)
- [4] I. Sreedevi. *IN-ROAD - LOOP DETECTORS - Summary*. Available: [http://fresno.ts.odu.edu/newitsd/ITS\\_Serv\\_Tech/traff\\_surv/traffic\\_surveillance\\_road-based\\_in\\_road\\_loop\\_summary.html](http://fresno.ts.odu.edu/newitsd/ITS_Serv_Tech/traff_surv/traffic_surveillance_road-based_in_road_loop_summary.html)
- [5] T. I. B. A. P. Systems. (2014, TSGS-30 TIBA Smart Guidance System. Available: <http://www.tibaparking.com/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=TIBA-TSGS-30-Ver-1.00.pdf>
- [6] I. Rockwell Automation. *Ultrasonic Sensing*. Available: <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12772/6543185/12041221/12041229/Ultrasonic-Advantages-and-Disadvantages.html>
- [7] AgilSense. (2014). *Wireless vehicle detector*. Available: [http://www.agilsense.com/Vehicle-Detector/20/0/page\\_content.html](http://www.agilsense.com/Vehicle-Detector/20/0/page_content.html)
- [8] M. Sensotech. (2014). *AMR Sensor Technology*. Available: <http://www.marzhauser-st.com/en/products/measuring-systems/amr-sensor-technology.html>
- [9] M. Patterson. Hall Effect Sensors and Magnetoresistance. Available: <http://academic.udayton.edu/markpatterson/ECT459/HallEffect.pdf>
- [10] Jennic. IEEE 802.15.4 Wireless Networks User Guide. Available: [http://www.jennic.com/files/support\\_files/JN-UG-3024-IEEE802.15.4-1v1.pdf](http://www.jennic.com/files/support_files/JN-UG-3024-IEEE802.15.4-1v1.pdf)
- [11] N. Clunn. (2014). *Will Bluetooth low energy transform retail?* Available: <http://techpageone.dell.com/downtime/gadgets/will-bluetooth-low-energy-transform-retail/#.U81oFm2T6Uk>
- [12] Ellisys. (08-09-2013). *Secure Simple Pairing Explained - Ellisys*. Available: [www.ellisys.com/technology/een\\_bt07.pdf](http://www.ellisys.com/technology/een_bt07.pdf)
- [13] (10-09-2013). *Bluetooth - Pairing mechanisms*. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [14] P. Smith. (2011, 12-09-2013). *Comparing Low-Power Wireless Technologies*. Available: <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2011/aug/comparing-low-power-wireless-technologies>

- [15] M. Naeve. (2004, 12-09-2013). IEEE 802.15.4 MAC Overview. Available: <https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/04/15-04-0218-01-004a-ieee802-15-4-mac-overview.ppt>
- [16] TechnologyUK. *IEEE 802.11 frames*. Available: [http://www.technologyuk.net/telecommunications/networks/wireless\\_networks.shtml](http://www.technologyuk.net/telecommunications/networks/wireless_networks.shtml)
- [17] DotEleven. (2011). *Chapter 2 - 802.11 PHY Layer frame format*. Available: [http://dot11.info/index.php?title=Chapter\\_2\\_-\\_802.11\\_PHY\\_Layer\\_frame\\_format](http://dot11.info/index.php?title=Chapter_2_-_802.11_PHY_Layer_frame_format)
- [18] R. Nilsson. *Bluetooth Low Energy Technology and Healthcare*. Available: <http://www.connectblue.com/press/articles/bluetooth-low-energy-technology-and-healthcare/>
- [19] *About Bluetooth® Low Energy Technology*. Available: <http://www.bluetooth.com/Pages/low-energy-tech-info.aspx>
- [20] Z. Alliance. (04-09-2013). *ZigBee Specification FAQ* Available: <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/FAQ.aspx>
- [21] B. Mitchell. (05-05-2014). *What Is the Typical Range of a Wi-Fi Network?* Available: <http://compnetworking.about.com/cs/wirelessproducts/f/wifirange.htm>
- [22] R. K. Matthew Loy, Louis Williams. (2005, ISM-Band and Short Range Device Regulatory Compliance Overview. Available: <http://www.ti.com/lit/an/swra048/swra048.pdf>
- [23] J. Herrman. (2010). *Giz Explains: Why Everything Wireless is 2.4GHz*. Available: <http://gizmodo.com/5629814/giz-explains-why-everything-wireless-is-24ghz>
- [24] Leopedrini. (2011). *What is Frequency Hopping - FHSS?* Available: <http://www.telecomhall.com/what-is-frequency-hopping-fhss.aspx>
- [25] D. Gascón. (2008, 23-09-2013). 802.15.4 vs ZigBee. Available: <http://www.sensor-networks.org/?page=0823123150>
- [26] G. Peak. *ZigBee compared with Bluetooth Low Energy*. Available: [www.greenpeak.com/.../CeesLinksColumn19.pdf](http://www.greenpeak.com/.../CeesLinksColumn19.pdf)
- [27] J. S. John. (2010). *GE: ZigBee Beats Wi-Fi for Low-Energy Homes*. Available: <http://gigaom.com/2010/12/09/ge-zigbee-beats-wi-fi-for-low-energy-homes/>
- [28] (2014). *eos Parking - Estacionamento simplificado*. Available: <https://www.eosparking.pt>
- [29] V. Verde. (2014). *Parques de estacionamento*. Available: <http://www.viaverde.pt/Website/Section.jsf?SelectedSubFolderId=85&TopFolderPath=%5CRoot%5CContents%5CWebsite%5CProdutosServicos>

- [30] D. Silva, "Sistema de monitorização e orientação sem fios para estacionamento," Mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, DETI, Universidade de Aveiro, 2011.
- [31] I. Bluetooth SIG. *Bluetooth Smart (Low Energy) Technology*. Available: <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/BLE.aspx>
- [32] (13-10-2013). *Bluetooth Low Energy - Implementação*. Available: [http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2012\\_2/bluetooth/implementacao.htm](http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2012_2/bluetooth/implementacao.htm)
- [33] J. O. Carles Gomez, Josep Paradells. (2012, 03-04-2014). Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. Available: <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/9/11734/pdf>
- [34] G. Inc. (2013). *Nexus 5 - Google*. Available: [www.google.pt/nexus/5](http://www.google.pt/nexus/5)
- [35] Honeywell. HMC1001/1002/1021/1022 - Honeywell. Available: [http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Missiles-Munitions/HMC\\_1001-1002-1021-1022\\_Data\\_Sheet.pdf](http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Missiles-Munitions/HMC_1001-1002-1021-1022_Data_Sheet.pdf)
- [36] R. Labs. (2014). *BLE Shield*. Available: [redbearlab.com/bleshield](http://redbearlab.com/bleshield)
- [37] Arduino. *Arduino Uno*. Available: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [38] Gemalto. (2014). *TC65i*. Available: <http://m2m.gemalto.com/products/other-families/tc65i.html>
- [39] Arduino, "Arduino - Software," 2014.
- [40] M. T. Inc. *MPLAB® X Integrated Development Environment (IDE)*. Available: <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx/>
- [41] O. Corporation. (2014). *NetBeans IDE Features*. Available: <https://netbeans.org/features/index.html>

