



**Universidade de Aveiro**  
**2010**

Departamento de Electrónica, Telecomunicações e  
Informática

**Rui Filipe**  
**Freitas de Matos**

**SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO**  
**COM BASE EM TECNOLOGIAS SEM FIOS**



Rui Filipe  
Freitas de Matos

## SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO 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 Professor José Alberto Gouveia Fonseca, Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro e co-orientação do Professor Alexandre Manuel Moutela Nunes da Mota, Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto DRIVE-IN:  
*Distributed Routing and Infotainment through Vehicular Inter-Networking*

Este trabalho foi apoiado pela  
Micro I/O, Sistemas Electrónicos Lda.

Dedico este trabalho aos meus pais pelo seu incansável apoio.

## **O júri**

Presidente

**Prof. Dr. Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho**

Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Vogais

**Prof. Dr. José Boaventura Ribeiro da Cunha**

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

**Prof. Dr. José Alberto Gouveia Fonseca**

Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Alexandre Manuel Moutela Nunes da Mota**

Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

## **Agradecimentos**

Na apresentação desta minha tese de mestrado não poderia deixar de referir algumas das pessoas que me apoiaram, tornando possível o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor José Alberto Fonseca, meu orientador, pelo seu incansável apoio e pelo esclarecimento das dúvidas que me foram surgindo ao longo do projecto. Igualmente pela forma como sempre me incentivou e procurou transmitir alguns dos seus vastos conhecimentos no âmbito das tecnologias aplicáveis aos sistemas de localização.

Ao Professor Alexandre Mota, meu co-orientador, pela forma como me apoiou nalgumas fases do projecto.

À empresa Micro I/O e ao Professor José Alberto Fonseca por me terem proporcionado uma enriquecedora experiência em ambiente industrial.

Ao Paulo Bartolomeu pela sua inestimável ajuda na resolução de alguns problemas técnicos no desenrolar do meu trabalho.

Pelo ambiente de discussão técnica que me ajudou a ultrapassar alguns problemas, agradeço igualmente ao Pedro Alvarenga, Nuno Marujo, Luís Farinha e Rui Rebelo.

Ao meu pai, Rui Manuel Matos, por todo o incentivo, dedicação, disponibilidade e por ter tornado possível a realização deste curso.

À minha mãe, Maria João Arede, por todo o incentivo e apoio prestado ao longo da realização do curso.

**Palavras-chave**

Localização *indoor*, localização *outdoor*, rádio frequência, IEEE 802.15.4, GPS, GPRS, indústria automóvel, oficina automóvel.

**Resumo**

No presente trabalho apresenta-se um sistema de localização que pretende em simultâneo trabalhar dentro de edifícios e fora deles (*indoor* e *outdoor*). Esta área aplicacional tem suscitado grande interesse actualmente. O caso de estudo é o de uma oficina automóvel. O documento descreve as soluções propostas, com base em rádio frequência, tendo-se optado por um sub-sistema baseado no padrão IEEE 802.15.4 para a localização *indoor* e por GPS e GPRS para o sistema de localização *outdoor*. Faz-se também referência a uma possível integração entre ambos. Na parte final do documento são apresentados alguns ensaios e resultados relativamente à parte *outdoor*.

**Keywords**

Indoor location, outdoor location, radio frequency, IEEE 802.15.4, GPS, GPRS, automotive industry, automotive workshop.

**Abstract**

This document describes a location / tracking system that aims to simultaneously work within buildings and outside them (indoor and outdoor). This field of application has attracted a lot of interest nowadays. The case study is an automotive workshop. The document describes the solutions proposed, based on radio frequency which include a sub-system based on the IEEE 802.15.4 standard for indoor location, and GPS and GPRS for outdoor location / tracking. The document also discusses a possible integration between the two. At the end of the document some tests and results related to the outdoor part are also presented and briefly discussed.

# Índice de Conteúdos

<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1. Enquadramento, motivação e objectivos.....	1
1.2. Organização do documento.....	1
<b>2. Estado da arte</b> .....	<b>3</b>
2.1. Técnicas de localização.....	3
2.1.1. Identificação directa.....	3
2.1.2. Aquisição de tempo.....	3
2.1.3. Observação do ângulo de recepção.....	4
2.1.4. Medição da força do sinal recebido.....	5
2.1.5. GPS e GPS assistido (A-GPS).....	5
2.1.6. GSM – GPRS.....	6
2.2. Soluções de localização baseadas em sinais wireless [21].....	7
2.2.1. Active Badge [7].....	7
2.2.2. Active Bat [8].....	7
2.2.3. RADAR [9].....	8
2.2.4. Ubisense [10].....	8
2.3. Sistemas baseados em RSSI sobre IEEE802.15.4 [12].....	9
2.3.1. Indoor Local Positioning System For Zigbee, Based on RSSI [11].....	9
2.3.2. Projecto LOPES – Localização de PESSOAs [12].....	11
2.4. Conclusão.....	13
<b>3. Localização indoor com base em IEEE802.15.4</b> .....	<b>14</b>
3.1. Introdução.....	14
3.2. Arquitectura do sistema.....	14
3.3. Funcionamento do sistema.....	15
3.4. Soluções tecnológicas.....	16
3.4.1. Configuração e operação.....	16
3.4.2. Caracterização do sistema de localização.....	18
3.4.3. Interface de comunicação.....	21
3.4.4. Integração com sistema de localização outdoor.....	26
<b>4. Localização outdoor com base em GPS e GPRS</b> .....	<b>28</b>
4.1. Introdução.....	28
4.2. Arquitectura do sistema.....	28
4.3. Funcionamento do sistema.....	29
4.4. Soluções tecnológicas.....	30
4.4.1. Configuração e operação.....	30
4.4.2. Caracterização do sistema de localização.....	30
4.4.3. Interface de comunicação.....	32
4.4.4. Implementação do hardware.....	32
<b>5. Prova de conceito, ensaios e resultados</b> .....	<b>35</b>
5.1. Protótipo DRIVE-IN.....	35
5.2. Consumos relativos à OBU.....	38
5.3. Aplicação Web.....	39
5.4. Ensaios e resultados relativos ao GPS e A-GPS.....	40
<b>6. Conclusão e trabalhos futuros</b> .....	<b>46</b>
<b>7. Referência bibliográfica</b> .....	<b>47</b>

## Índice de Ilustrações:

Imagem 2.1 – Esquema demonstrativo da determinação do valor de AoA .....	4
Imagem 2.2 – Triangulação GPS .....	6
Imagem 2.3 – Sensor Active Badge .....	7
Imagem 2.4 – Sistema Active Bat .....	8
Imagem 2.5 – Rede de Sensores do sistema Ubisense .....	9
Imagem 2.6 – Sistema implementado na <i>Master's room, Mid Sweden University</i> [11] .....	10
Imagem 2.7 – Arquitectura do sistema de localização do projecto LOPES [17] .....	11
Imagem 2.8 – Mensagens trocadas na rede <i>ZigBee</i> durante o processo de localização [18] .....	12
Imagem 3.1 – Exemplo da arquitectura do sistema de localização <i>indoor</i> .....	15
Imagem 3.2 – Operação de localização .....	17
Imagem 3.3 – Processo de localização .....	19
Imagem 3.4 – Interface de comunicação OBU, ISU, servidor .....	21
Imagem 3.5 – Interface de comunicação OBU, ISU, servidor sem trama de ACK .....	22
Imagem 3.6 – Interface de comunicação da OBU .....	24
Imagem 3.7 – Interface de comunicação da ISU .....	25
Imagem 3.8 – Transição GPS <i>on-off</i> e <i>off-on</i> .....	26
Imagem 4.1 – Arquitectura do sistema de localização <i>outdoor</i> .....	29
Imagem 4.2 – <i>Start up</i> do GPS [13] .....	30
Imagem 4.3 – Blocos que integram a OBU .....	33
Imagem 5.1 – Vista exterior do protótipo DRIVE-IN (OBU) .....	35
Imagem 5.2 – <i>Molex Microfit3.0</i> – 14 pinos – vista da frente .....	36
Imagem 5.3 – Vista da placa do protótipo DRIVE-IN (OBU) .....	38
Imagem 5.4 – Página Web de exemplo da localização de um veículo fora da oficina .....	39
Imagem 5.5 – Página Web de exemplo da localização de um veículo fora da oficina .....	40

## Índice de tabelas e gráficos:

Gráfico 5.1 – <i>Fix Time</i> em <i>Cold Start</i> .....	40
Gráfico 5.2 – Erros associados ao <i>fix</i> em <i>Cold Start</i> .....	41
Gráfico 5.3 – <i>Fix Time</i> em <i>Warm Start</i> .....	42
Gráfico 5.4 – Erros associados ao <i>fix</i> em <i>Warm Start</i> .....	42
Gráfico 5.5 – <i>Fix Time</i> em <i>Hot Start</i> .....	43
Gráfico 5.6 – Erros associados ao <i>fix</i> em <i>Hot Start</i> .....	44
Tabela 3.1 – Processo de localização.....	18
Tabela 3.2 – Selecção da ISU de <i>ACKnowledge</i> .....	23
Tabela 5.1 – Descrição da pinagem da ficha externa.....	35
Tabela 5.2 – Ligação interna dos <i>leds</i> da OBU.....	35
Tabela 5.3 – Estado do <i>led</i> de carregamento.....	35
Tabela 5.4 – Estado do <i>led</i> do GSM.....	36
Tabela 5.5 – Consumo de corrente a partir da alimentação externa.....	37
Tabela 5.6 – Consumo de corrente a partir de bateria interna.....	38
Tabela 5.7 – <i>Fix</i> e erros associados à inicialização em <i>Cold Start</i> .....	40
Tabela 5.8 – <i>Fix</i> e erros associados à inicialização em <i>Warm Start</i> .....	41
Tabela 5.9 – <i>Fix</i> e erros associados à inicialização em <i>Hot Start</i> .....	43

## **Acrónimos:**

2G – 2nd Generation  
3G – 3rd Generation  
A-GPS – *Assisted GPS*  
ANN – *Artificial Neural Network*  
AOA – *Angle of Arrival*  
API – *Application Programming Interface*  
BD – *Base de Dados*  
BN – *Blind Nodes*  
DRIVE-IN – *Distributed Routing and Infotainment through Vehicular Inter-Network*  
ED – *End Device*  
FANN – *Fast Artificial Neural Network Library*  
FP – *Fingerprinting*  
FPGA – *Field Programmable Gate Array*  
GPRS – *General Packet Radio Service*  
GPS – *Global Positioning System*  
GSM – *Global System for Mobile Communications*  
ID – *Identification*  
ILPS – *Indoor Local Positioning System*  
ISU – *Indoor Section Unit*  
kNN – *k-Nearest Neighbor*  
LANDMARC – *Location Identification based on Dynamic Active RFID Calibration*  
LAPP – *Localization Application*  
LCD – *Liquid Crystal Display*  
LOCE – *Location Engine*  
LOS – *Line Of Sight*  
MDW – *Middleware*  
NLOS – *Non Line Of Sight ou Near Line Of Sight*  
OBU – *On Board Unit*  
RF – *Radio Frequency*  
RFID – *Radio-Frequency Identification*  
RN – *Reference Nodes*  
RSS – *Received-Signal-Strength*  
RSSI – *Received Signal Strength Indication*  
RTLS – *Real Time Locating Systems*  
SI – *Sistema de Informação*  
TCP/IP – *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*  
TDoA – *Times Difference of Arrival*  
ToA – *Time of Arrival*  
ToF – *Time of Flight*  
UWB – *Ultra-Wide Band (IEEE 802.15.3)*  
Wi-Fi – *Wireless Fidelity (IEEE 802.11)*  
ZC – *ZigBee Coordinator*

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento, motivação e objectivos

Actualmente a localização de pessoas e objectos é um tema de bastante interesse tanto a nível académico como a nível industrial.

Os sistemas de localização têm as mais variadas aplicações hoje em dia, tais como, a localização de veículos, frotas, itens hospitalares, pessoas, o controlo de *stocks* de mercadorias, controlo estatístico de preferência dos clientes, entre muitos outros. O sistema de localização proposto neste documento é destinado a utilização no âmbito de uma oficina automóvel, mais precisamente na localização de veículos.

Inicialmente começou-se por abordar o ambiente *outdoor*, uma vez que foi a área onde foi desenvolvido o projecto DRIVE-IN: *Distributed Routing and Infotainment through Vehicular Inter-Networking*, em que foi construído um aparelho para embarcar num táxi, que funciona com GPS e GPRS. Este projecto ficou concluído, assim como o protótipo.

O protótipo DRIVE-IN foi posteriormente testado para localização de veículos em oficinas, em particular numa oficina na cidade do Porto. No entanto as dimensões da caixa constituíram um problema, assim como os erros associados aos tempos que levam o GPS a fazer *fix* dos satélites, ou seja, a enviar as coordenadas de latitude e longitude. Uma vez que o tempo que o veículo passa em *test drive* é muito curto, os tempos de *fix* e os erros associados são mesmo críticos. É imperativo que, imediatamente após o veículo sair da oficina (menos de 20 segundos), seja feito o *fix* dos satélites e o erro associado seja praticamente nulo. Nesse sentido, explorou-se o *Assisted GPS* (A-GPS), técnica que permite melhorar o desempenho deste sistema de localização.

Dado que o GPS não funciona em ambiente *indoor*, uma vez que o sinal não penetra, explorou-se uma técnica de localização *indoor* baseada no padrão IEEE 802.15.4, e a sua integração com o sistema de localização *outdoor*, em que ambas podem funcionar independentemente. Por questões de eficiência energética é o sistema de localização *indoor* que coordena ambos os sistemas, caso estes estejam integrados. Em face do tempo e condições disponíveis, o sistema *indoor* não ficou terminado, mas efectuaram-se os estudos preliminares necessários.

## 1.2. Organização do documento

No capítulo 2 são identificadas e explicadas algumas técnicas de localização de dispositivos móveis. Apresentam-se várias técnicas de localização, dando-se maior ênfase às que se baseiam no padrão IEEE 802.15.4 e em GPS / GSM.

Embora do ponto de vista da evolução do trabalho o sistema de localização *outdoor* tenha sido o primeiro a ser abordado, optou-se neste documento por iniciar a descrição pelo sistema de localização *indoor* já que este será quem coordena nas soluções onde ambos coexistem.

Portanto, no capítulo 3 apresenta-se um sistema de localização *indoor* com base na tecnologia IEEE 802.15.4. É apresentada a sua arquitectura, funcionamento e as soluções tecnológicas desenvolvidas. Inclui-se a configuração e operação do sistema, a sua caracterização e a interface de comunicação. Para terminar o capítulo é apresentada a integração deste sistema com um sistema de localização *outdoor*.

No capítulo 4 é apresentado o sistema de localização *outdoor* com base em GPS e GPRS. À semelhança do capítulo 3 é apresentada a sua arquitectura, funcionamento e soluções tecnológicas desenvolvidas. Para terminar o capítulo é apresentada a implementação do *hardware*.

No capítulo 5 é apresentada a prova de conceito, os ensaios e os resultados obtidos, sendo realizada a análise e discussão dos mesmos, com o objectivo de compreender os impactos destes no sistema de localização.

No capítulo final são apresentadas as conclusões e as linhas de orientação para trabalhos futuros.

## 2. Estado da arte

### 2.1. Técnicas de localização

Os sistemas de localização podem ser organizados por categorias segundo diferentes técnicas, as quais são usadas para estimar a localização dos dispositivos móveis.

Um sistema de localização é genericamente constituído por 3 entidades diferentes, sensores fixos, módulos móveis e um elemento gestor da rede de dispositivos ou sensores quando estes existem. Os módulos móveis são monitorizados por unidades fixas que habitualmente estão colocados em posições superiores (por vezes no tecto). A sua localização é efectuada a partir da informação de monitorização, pela própria rede ou por um computador tipo PC ligado a esta. Nesta secção apresentam-se as técnicas de localização e as tecnologias mais usadas nos sistemas de localização.

#### 2.1.1. Identificação directa

Esta técnica de localização está relacionada com a detecção de objectos através da sua proximidade com dispositivos de referência (dispositivo móvel frente a um determinado sensor). Exemplos desta técnica de localização são os sistemas baseados em infravermelhos, em que é identificado um emissor junto a um determinado sensor. Outro exemplo é o caso dos sistemas baseados em *radio-frequency identification* (RFID) presentes, por exemplo, em cartões que permitem identificar uma pessoa, através da sua passagem num sensor.

#### 2.1.2. Aquisição de tempo

O conceito de localização de dispositivos por aquisição de tempo consiste na medição do tempo de propagação do sinal entre o emissor e vários receptores. Através dessa mesma medição, e conhecendo previamente a velocidade de propagação desse sinal, é possível estimar a distância do dispositivo localizável a vários pontos de referência. Existem várias técnicas baseadas neste conceito, tais como: *Time-of-Arrival* (ToA), *Times-Difference of Arrival* (TDoA) e *Time-of-Flight* (ToF).

##### ***Time of Arrival (ToA):***

Como o nome indica, esta técnica baseia-se na medição do tempo de chegada de um sinal entre o transmissor e o receptor. O tempo de transmissão é determinado a partir do valor do instante de transmissão e o ToA (tempo de chegada) marcado pelo receptor. Esta técnica exige a sincronização

da rede, uma vez que um desvio de 1µs na medição do tempo poderá impor erros de centenas de metros.

***Times-Difference of Arrival (TDoA):***

Esta técnica baseia-se na aquisição do tempo de transmissão, em vez do cálculo deste a partir de dois instantes. Para esse efeito, estes sistemas usam habitualmente duas tecnologias diferentes com velocidades de propagação distintas. A tecnologia de maior velocidade de propagação é usada para sinalizar o início da contagem temporal, enquanto a recepção do segundo sinal faz terminar essa mesma contagem, dando origem ao TDoA. A partir da velocidade de propagação do segundo sinal, consegue-se uma relação distância-tempo.

***Time-of-Flight (ToF):***

Esta técnica tem grande facilidade de implementação. É uma técnica de medição do tempo de comunicação entre dois pontos. Neste método, o emissor inicia a contagem de tempo no instante em que transmite um sinal, terminando esta contagem no instante em que recebe a resposta. Após efectuar a compensação do tempo de processamento ( $t_p$ ) do receptor e dividir o tempo corrigido pelos dois sentidos da comunicação, o emissor determina o tempo de transmissão ( $t_T$ ), que será usado no cálculo de distâncias e na determinação das posições relativas do emissor e do receptor.

**2.1.3. Observação do ângulo de recepção**

Este método utiliza a diferença angular entre dispositivos para calcular a localização destes. A grandeza AoA (Angle of Arrival) é definida como sendo o ângulo entre a direcção de propagação do sinal incidente e uma direcção de referência, conhecida como orientação. É um método menos preciso que os referidos anteriormente, mas que possibilita a determinação de posições a duas dimensões (2D) com apenas dois dispositivos receptores [1].

Através do conhecimento prévio da distância entre os vários receptores e dos ângulos de chegada detectados em cada ponto de referência, é possível estimar a posição do objecto através de funções trigonométricas.

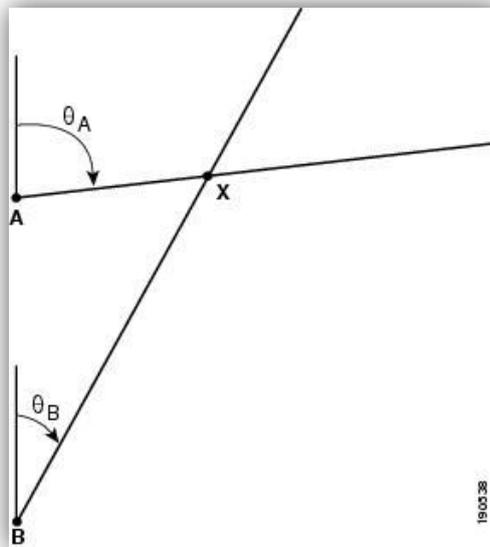


Imagem 2.1 – Esquema demonstrativo da determinação do valor de AoA

Esta técnica tem a vantagem de necessitar apenas de 2 pontos receptores de sinal, como se ilustra na imagem 2.1.

#### 2.1.4. Medição da força do sinal recebido

Este método recorre à análise da intensidade do sinal recebido, *Received-Signal-Strength-Indication* (RSSI), no receptor e a um modelo que descreve como esta varia com a distância. O sinal transmitido sofre atenuação durante o seu percurso, diminuindo a sua potência de forma proporcional à distância percorrida.

A técnica permite determinar a localização de um módulo móvel como estando na proximidade de um sensor, através dos valores de RSSI, ou através das distâncias estimadas por três sensores, a partir dos valores de RSSI adquiridos. O cruzamento de três circunferências, cada uma com centro num diferente sensor, delimita uma pequena área onde é maior a probabilidade de se encontrar o módulo móvel. Este método é designado por triangulação.

A localização de dispositivos baseada em RSSI pode ser mais precisa quando realizada segundo o método de *fingerprinting* [2]. Este método compreende duas fases. A fase *offline* e a fase *online*. Na fase *offline* o RSSI é medido numa grelha de pontos numa área de interesse, enquanto que a fase *online* usa essa mesma grelha para criar os parâmetros do modelo de propagação. Quanto mais alto for o número de pontos usados para criar o modelo, melhor será a calibração, mas também mais elevados serão os gastos. Esta técnica tem também a desvantagem de ser um processo moroso e sempre que se altera a área de interesse tem de se alterar o modelo criado.

#### 2.1.5. GPS e GPS assistido (A-GPS)

O sistema de localização GPS ou *Global Positioning System* [3] é um sistema de cálculo de posicionamento a partir de sinais enviados por uma rede de satélites, mantido pelo DOD, o departamento de defesa dos EUA.

Os satélites GPS, através de ondas electromagnéticas enviam sinais para os receptores existentes em Terra, que demoram um determinado intervalo de tempo a percorrer a distância satélite-receptor. Os receptores GPS em Terra possuem informação do momento exacto em que os satélites enviam os sinais, e através do método da triangulação e de alguns cálculos conseguem determinar com precisão a sua posição.

Para se poder descobrir a posição de um lugar na Terra, através do sistema GPS, tem que utilizar o método da triangulação [4]. Esse método consiste no seguinte (imagem 2.2):

O satélite A, envia os sinais para o receptor P, esse, por sua vez, calcula a distância a que se encontram o satélite e o receptor ( $d_A$ ). Assim, o Ponto P poderia ser qualquer ponto da circunferência, sendo, por isso, necessário, outro satélite.

O satélite B vai repetir o processo feito em A, sendo que este calcula a distância ( $d_B$ ).

Estas duas circunferências encontram-se em dois pontos, o que faz com que seja necessária a presença de outro satélite.

Com o satélite C, é descoberta a distância ( $d_C$ ), o que faz com que estas três circunferências se cruzem todas em apenas um ponto (P).

Esse ponto (P) é onde o receptor está localizado.

Na teoria, este método com três satélites é possível, mas na prática poderia causar grandes erros.

Os relógios atómicos presentes nos satélites têm que estar sincronizados, para os valores obtidos nas distâncias estarem correctos. Assim, na prática, é necessária a presença de um 4º satélite que vai servir de referência aos outros satélites. É o chamado satélite de referência.

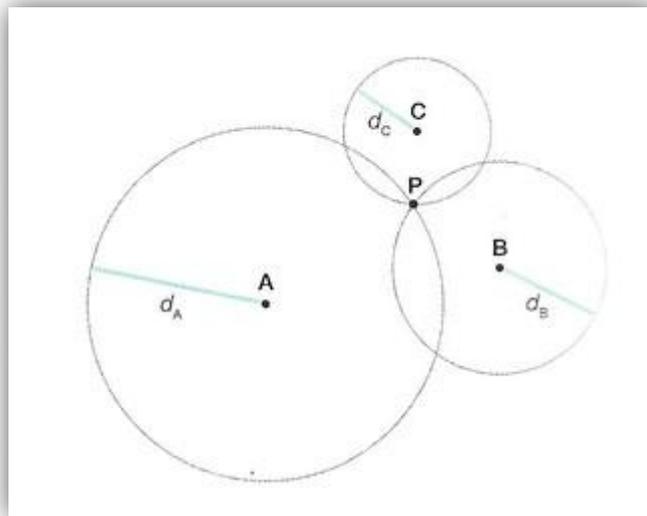


Imagem 2.2 – Triangulação GPS

Esta tecnologia tem como grandes vantagens o facto de o seu uso ser totalmente livre de custos e o cálculo da posição ser bastante preciso.

É usado nas mais variadas áreas tais como cartografia, geodesia, topografia, controlo do movimento das placas tectónicas, sistemas de navegação aéreo e terrestre, etc. É este último o caso de estudo.

O A-GPS, ou GPS Assistido [5], é uma técnica usada em dispositivos móveis equipados com receptores GPS. A sua utilização reflecte-se num aumento da performance de funcionamento desses receptores. O conceito por detrás do nome consiste na instalação de uma rede de receptores GPS nas estações base, logo, numa posição onde têm visão aberta para os satélites. Esta rede é ligada à rede GSM e, quando o dispositivo móvel pretende obter a sua localização, os dados GPS são transferidos para este a partir da estação base, sendo usados como referência para apressar e melhorar o processo. Os dados transferidos podem conter informações sobre os satélites em linha de vista ou outros parâmetros que só seriam obtidos depois de algum tempo. Assim, o processo de inicialização e localização dos satélites é concluído em menor tempo, a precisão de localização melhora e torna possível o funcionamento do receptor quando o nível do sinal é menor que o mínimo necessário ao funcionamento de um receptor sem A-GPS.

Estas tecnologias podem ser aplicáveis num sistema de localização *outdoor*, em que a tecnologia GPS e A-GPS servem para determinar a localização de um veículo com grande rapidez, e a tecnologia GPRS para enviar essa mesma informação de localização para um servidor, para que posteriormente seja feito o seu *display*.

#### 2.1.6. GSM – GPRS

O GPRS ou *General Packet Radio Service* [6], é uma tecnologia que aumenta as taxas de transferência de dados nas redes GSM (*Global System for Mobile Communications* – tecnologia móvel usada na grande maioria dos telefones celulares) existentes. Esta permite o transporte de dados por pacotes (comutação por pacotes), ao invés de comutação por circuito (tecnologia anterior), o que aumenta a taxa de transferência de dados relativamente a outras tecnologias.

Com o GPRS, a informação é dividida em pacotes relacionados entre si antes de ser transmitida, e voltada a montar no destinatário.

## 2.2. Soluções de localização baseadas em sinais *wireless* [21]

Este tipo de sistema, baseado em sinais *wireless*, é sem dúvida os mais implementados no mercado actual. Podem ser divididos consoante o tipo de sinal utilizado para a localização: infravermelhos, ultra-sons, rádio frequência ou híbridos. Os de rádio frequência podem ser ainda divididos consoante a tecnologia utilizada para o processo de localização, entre elas: RFID, Wi-Fi, *Bluetooth* e *Zigbee*.

Neste sub capítulo descrevem-se alguns desses sistemas e a maneira como funcionam.

### 2.2.1. Active Badge [7]

Este sistema de localização foi desenvolvido no *Olivetti Research Laboratory* em *Cambridge* e baseia-se na tecnologia de infravermelhos. É composto por uma rede de sensores de referência de infravermelhos previamente instalados na área de localização e por crachás electrónicos que enviam periodicamente informações de identificação para essa mesma rede de sensores. A localização consiste apenas na identificação dos receptores que captam os sinais de um determinado Active Badge.

Este sistema tem um alcance reduzido, cerca de 5 metros, sendo também limitado pelas posições dos sensores de referência. Revela baixo desempenho com presença de luz solar directa.

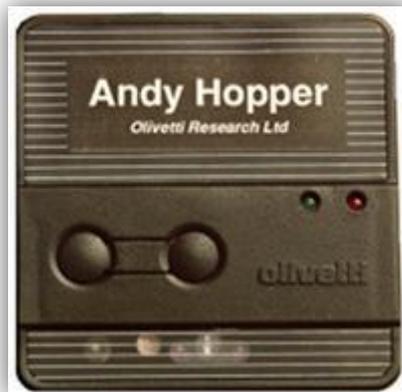


Imagem 2.3 – Sensor Active Badge

### 2.2.2. Active Bat [8]

Criado em 1997, no *Olivetti Research Laboratory*, o Active Bat surge como uma evolução do sistema anterior – o Active Badge. Este sistema é baseado no ToA entre sinais ultra-sónicos e sinais de rádio-frequência.

É um sistema composto por um conjunto de receptores, dispostos em matriz, um PC que serve de unidade central do sistema, e por dispositivos móveis, os *Bats*, que são transportados por pessoas ou instalados nos objectos a localizar. O *Bat* é constituído por um microprocessador, um transceptor rádio de 418 MHz, um FPGA, e um vector hemisférico de 5 transdutores ultra-sónicos.

Neste sistema, uma estação base de rádio-frequência envia um pedido (sinal RF) para a rede que será detectado tanto pelos *Bats* como pelos receptores de referência. O *Bat*, ao receber este sinal, emite um sinal ultra-sónico para a rede de sensores de referência montada no tecto. Os sensores de referência, que também recebem o sinal RF, medem a diferença temporal entre este sinal e o sinal ultra-sónico emitido pelo *Bat*. Em seguida, esta informação será enviada para um controlador central que por sua vez irá estimar a localização do *Bat* por *lateration* (técnica baseada na distância entre dispositivos).

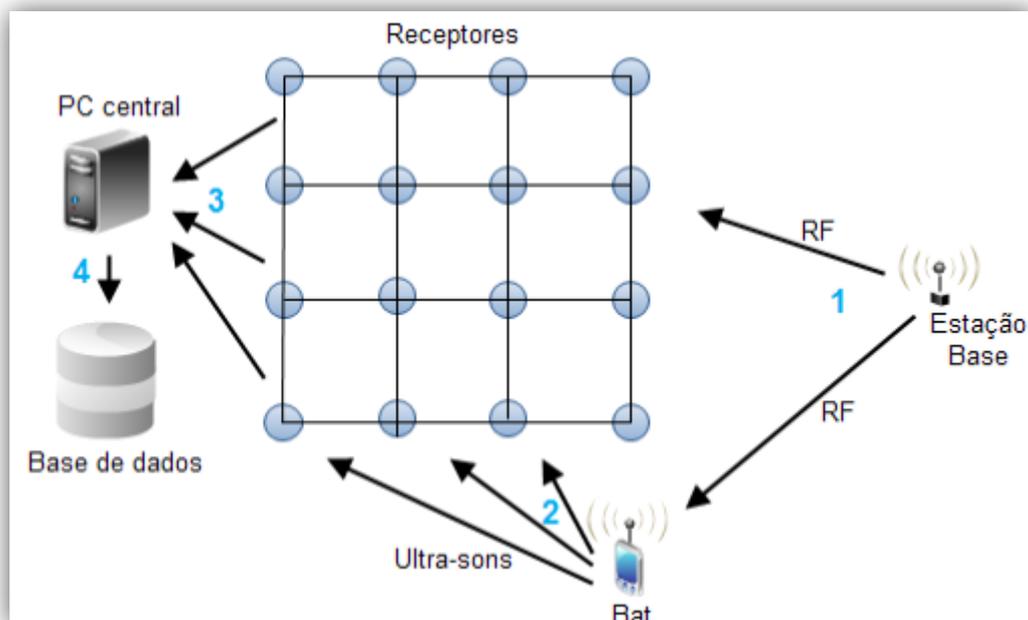


Imagem 2.4 – Sistema Active Bat

Os autores deste sistema de localização referem uma precisão de 95% dentro de 8cm quando são consideradas mais de 10 amostras.

### 2.2.3. RADAR [9]

Este sistema de localização é baseado em rádio frequência e usa dispositivos com o padrão IEEE 802.11. De modo a possibilitar uma maior cobertura de sinal é um sistema formado por várias estações base (pontos de acesso). A estimativa da localização é realizada através de uma análise de cenário ou através de técnicas de triangulação.

Neste sistema é necessário criar um mapa com os valores de potência de sinal para cada posição do ambiente de localização, ou seja proceder à calibração do sistema (fase *offline* da técnica de *fingerprinting* descrita acima). Na fase *online*, os valores da potência de sinal captados serão comparados com este mapa estimando assim a localização do dispositivo.

O RADAR calcula a posição aplicando o algoritmo kNN. Este algoritmo calcula a distância euclidiana entre o conjunto de sinais recebidos e o mapa de calibração. A localização que apresentar menor distância euclidiana será considerada como a posição do objecto localizado.

Este sistema, implica um grande esforço no que diz respeito à fase de calibração, e à necessidade da sua actualização, caso se verifiquem alterações do ambiente de localização.

### 2.2.4. Ubisense [10]

O Ubisense é uma solução de localização em tempo-real, desenhada para suportar inúmeras aplicações de forma integrada, em ambientes amplos e com muitos utilizadores. Foi desenvolvida pela universidade de *Cambridge*, e teve como base a construção de um sistema de localização em tempo real (RTLS) que proporciona um elevado nível de exactidão relativamente aos sistemas que utilizam RFID ou Wi-Fi.

Este sistema consiste em três componentes: *tags* activas que transmitem pulsos UWB, sensores de referência colocados numa infra-estrutura fixa que recebe os sinais emitidos pelas *tags* e uma plataforma de *software* que permite visualizar a posição.

As *tags* têm um transmissor UWB e um transceptor rádio 2.4GHz que permite a troca de mensagens de controlo bidireccional entre a *tag* e os sensores. Este controlo dinâmico permite preservar a duração das baterias e assegurar uma taxa de transmissão de mensagens adequada para as necessidades da aplicação.

As *tags* transmitem pulsos UWB a uma frequência de 6 a 8 GHz com uma duração bastante reduzida (na ordem de 1 nano segundo) quando um sensor de referência lhes faz um pedido, sendo a taxa de envio destes sinais controlada pelos sensores.

Os sensores são muito sensíveis aos pulsos UWB de baixa duração e potência (menor que 1mW) emitidos pelas *tags* possibilitando assim uma filtragem mais fácil e distinção entre sinais reflectidos de sinais em LOS.

Cada sensor de referência detecta o ângulo de chegada (AoA) do sinal emitido pela *tag* através de um *array* de antenas. Caso os sensores estejam sincronizados entre si é possível associar o uso de AoA com TDoA. Segundo a literatura, com a associação das duas técnicas é possível uma exactidão até 15cm.

Os sensores comunicam e são programados via *Ethernet* ou via *wireless* dependendo da arquitectura do sistema implementado.

Todas estas informações dos sensores, serão transmitidas para a plataforma de *software* que processará toda a informação permitindo assim a visualização da localização num ambiente gráfico, assim como várias informações que poderão estar associadas aos sensores.

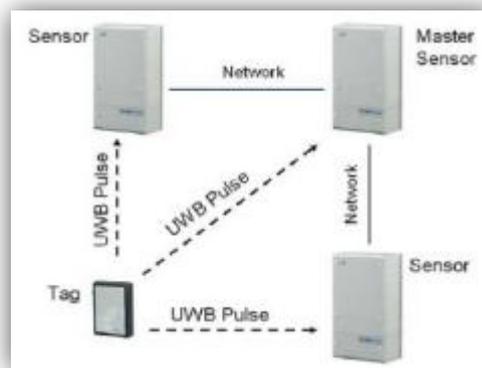


Imagem 2.5 – Rede de Sensores do sistema Ubisense

## 2.3.Sistemas baseados em RSSI sobre IEEE802.15.4 [12]

### 2.3.1. Indoor Local Positioning System For Zigbee, Based on RSSI [11]

Neste projecto desenvolveu-se um sistema de localização e monitorização de movimentos, que actua sobre uma rede de sensores sem fios, baseado na medição do RSSI com a tecnologia *Zigbee* (IEEE 802.15.4). A rede de sensores é composta por vários dispositivos a localizar, os *End Devices* (EDs), um sistema que gere toda a rede de sensores, o *Coordinator*, e 4 *routers*, que captam os sinais provenientes dos EDs, e medem os respectivos valores de RSSI.

A localização dos EDs é feita através do método de *fingerprinting*, obtendo-se o ponto onde a probabilidade de este se encontrar é maior. Dada a incerteza no processo de determinação de valores RSSI, o *matching* indica apenas que o ED estará próximo do ponto atribuído.

Os dispositivos usados nesta solução, para qualquer uma das funções acima descritas, são baseados em plataformas SENTIO [15].

A imagem a seguir apresentada ilustra a implementação do protótipo.



de dados cujo processo é significativamente demorado é, como referido anteriormente, uma grande desvantagem dos métodos FP.

### 2.3.2. Projecto LOPES – Localização de PESSOAS [12]

O Projecto LOPES, tem como objectivo desenvolver um sistema de localização de pessoas em espaços fechados, e com granularidade fina. O protótipo criado no Laboratório de Rádio Frequência do IT-Aveiro é constituído por módulos *SOC ZigBee CC2431* da *Texas Instruments* [16] e permite obter a localização de dispositivos móveis através da medição de RSSI.

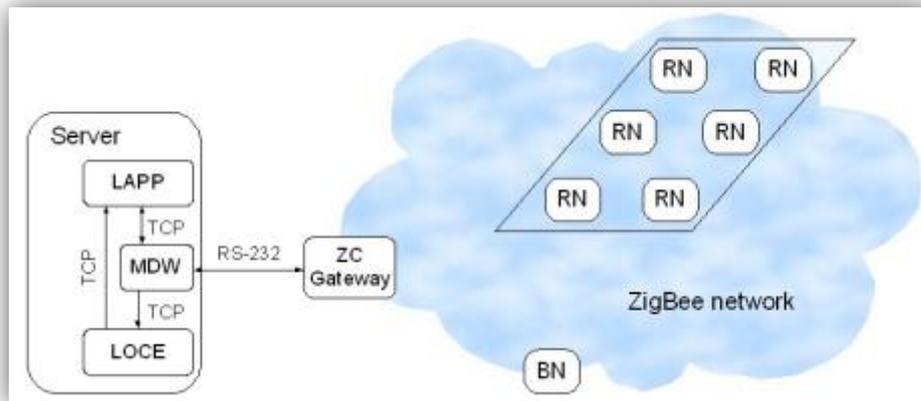


Imagem 2.7 – Arquitectura do sistema de localização do projecto LOPES [17]

A solução ilustrada na imagem 2.7, é composta por um sistema de informação (*Server*), pelos *Reference Nodes* (RN) – sensores *ZigBee* colocados no tecto do espaço de implementação, pelos *Blind Nodes* (BN) – módulos *ZigBee* que acompanham as pessoas, e pelo *ZigBee Coordinator* (ZC) – módulo *ZigBee* que organiza a rede, gere as mensagens trocadas na mesma, e assume funções de *gateway* entre a rede *ZigBee* e o *Server* e é por isso identificado na aplicação LOPES como *LocDongle*.

A *Localization Application* (LAPP) – camada de aplicação do protocolo carregado no *Server* (imagem 2.7) – entrega ao *middleware* (MDW) uma lista de BNs a serem localizados. O MDW usa esta lista para criar o mapa de tempos dos pedidos a fazer à rede *ZigBee*. Os pedidos de localização a cada BN são efectuados pelo MDW, através do ZC, que transmite de forma transparente as mensagens RS232 para a rede *ZigBee*, e vice-versa.

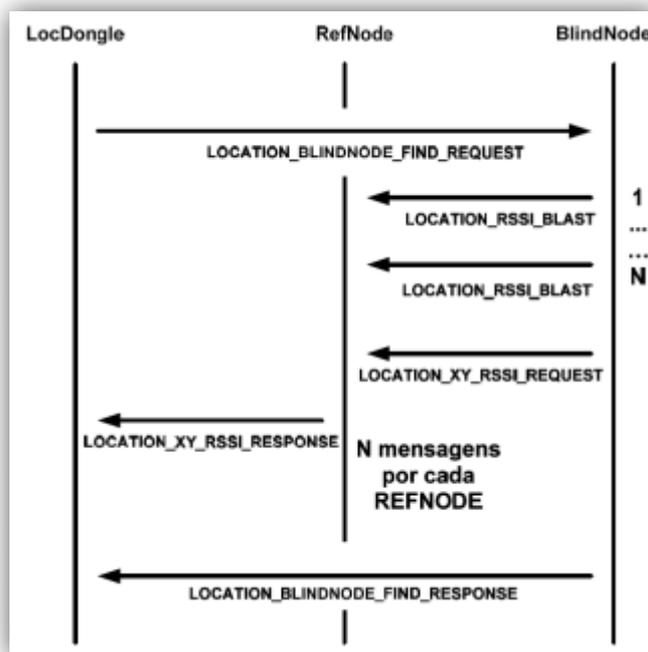


Imagem 2.8 – Mensagens trocadas na rede ZigBee durante o processo de localização [18]

Quando o *LocDongle* transmite à rede *ZigBee* um pedido de localização – mensagem *LOCATION\_BLINDNODE\_FIND\_REQUEST*, a primeira da figura 2.8 – cada BN responde com o envio periódico à rede (encaminhamento *broadcast*) de uma mensagem curta – *LOCATION\_RSSI\_BLAST* – que contém apenas o ID do BN. Os RNs captam estas mensagens, medem o RSSI e armazenam estes valores, organizados pelos IDs dos BNs. Recebido o número de tramas pré-definido, bem como o comando de envio – *LOCATION\_XY\_RSSI\_REQUEST*, a informação é concatenada na mensagem *LOCATION\_XY\_RSSI\_RESPONSE* (figura 2.8), e enviada por *unicast* para o *LocDongle* que a reencaminha para o MDW. Esta mensagem constitui um vector de valores RSSI – a “assinatura RSSI” do respectivo BN. A localização é alcançada a partir das “assinaturas RSSI” e das posições pré-determinadas dos RNs, através da execução de uma rede neuronal artificial, despoletada com a mensagem *LOCATION\_BLINDNODE\_FIND\_RESPONSE*.

O *Location Engine* (LOCE) recebe do MDW a “assinatura RSSI”, executa a função de avaliação dessa assinatura através da rede neuronal, devolvendo as coordenadas do BN à aplicação, LAPP. O MDW opera então como o elemento central do sistema de localização, coordenando todo o funcionamento deste.

O projecto LOPES avaliou alguns algoritmos de localização baseados em redes *Bayesian* e em redes neuronais artificiais. Nesse processo foi seleccionada (por parte do IT-Aveiro) como a melhor opção para o sistema de localização LOPES, a *Fast Artificial Neural Network Library* (FANN) [19], uma livreria de uso livre baseada em redes neuronais artificiais.

As *Artificial Neural Networks* (ANN) são algoritmos que requerem treino antes do funcionamento do sistema. Na denominada fase *offline*, o sistema recebe assinaturas de RSSI de locais previamente determinados, semelhante ao método de *fingerprinting*, mas neste caso a base de dados criada é usada para treinar uma rede neuronal artificial – algoritmo de localização sensível às condições ambiente presentes durante o treino.

O protótipo foi testado num laboratório do IT, Aveiro – Instituto de Telecomunicações de Aveiro. No tecto da sala foram colocados 8 RNs, dispostos em grelha de 2 por 4, com uma distância de 2 m entre eles. O teste foi efectuado com um único BN obtendo-se uma exactidão da ordem dos 2 m.

## 2.4. Conclusão

Após o estudo de todos os tipos de sistemas observa-se que aqueles que apresentam granularidade fina são os baseados em TDOA e AOA.

A tecnologia UWB permite a aplicação destes métodos embora esteja dependente do ambiente: LOS ou NLOS. A maneira mais eficaz de minimizar as interferências em ambientes NLOS é alargando a banda de frequências envolvidas. Desta forma, os sistemas que melhor se adaptam a ambientes com ruído e obstáculos, são os sistemas baseados na tecnologia UWB.

Os sistemas com a tecnologia RFID passiva têm grandes vantagens no preço das *tags* e no consumo energético visto não necessitarem de baterias, mas por outro lado têm alcance reduzido e um custo elevado dos *readers*.

O *ZigBee* foi especialmente desenvolvido para sistemas de baixo consumo que não necessitam de elevada taxa de transmissão, ideal para redes de sensores. Devido à sua simplicidade de *hardware* e pilha protocolar simples é possível criar dispositivos com preços bastante atractivos. Isto faz com que esta tecnologia seja a mais apropriada para sistemas de localização de baixo custo, elevada durabilidade mas que não necessitem de uma exactidão elevada.

Note-se que neste capítulo não se abordou o estado da arte relativo à tecnologia de localização *outdoor* com base em GPS. De facto, tal deveu-se à sua utilização directa a partir dos *chip-sets* disponíveis, não sendo necessários algoritmos, arquitecturas ou técnicas específicas para a sua utilização. Por outro lado, optou-se por incluir no capítulo 4 as tecnologias que permitem melhorar o desempenho da solução de localização baseada em GPS, nomeadamente o A-GPS (*Assisted GPS*).

## 3. Localização *indoor* com base em IEEE802.15.4

### 3.1. Introdução

O padrão IEEE802.15.4 opera na frequência dos 2.4GHz, o que implica que tem a desvantagem de ter uma não tão boa penetração em estruturas, devido à atenuação da propagação do sinal quando este encontra obstáculos (fenómeno designado por *fading*). Esta característica pode ser uma vantagem na criação de sistemas de localização com resolução grossa.

Quando o sinal propagado encontra um obstáculo, e dependendo do material por que este é constituído, do outro lado a potência do sinal recebida (RSSI) é fortemente atenuada, e chega mesmo a ser nula para a maior parte dos materiais, o que é benéfico num sistema de localização em que esta seja feita ao nível de compartimentos. Para o caso da localização ser feita ao nível de zonas utiliza-se a potência do sinal recebido. Neste caso, e havendo múltiplos sinais a chegar ao receptor, a localização é baseada no RSSI. Quanto mais perto estiver a unidade móvel transmissora da receptora, maior é a potência do sinal recebido.

Este sistema de localização em compartimentos e zonas pode ser aplicável, por exemplo, numa oficina de veículos com o propósito de os localizar, sendo esse o caso de estudo. O sistema de localização *outdoor*, baseado em GPS e GPRS, é coordenado e despoletado por este sistema de localização *indoor*. De notar que este sistema pode ter outras aplicações, como por exemplo, o da localização de itens hospitalares, pessoas, etc.

### 3.2. Arquitectura do sistema

Neste documento propõe-se um sistema de localização *indoor* com as características adequadas à localização por compartimento ou grandes áreas, inspirado na aplicação referida acima de localização de veículos numa oficina automóvel.

O sistema de localização proposto é constituído pelas seguintes unidades:

- OBU (*On Board Units*)
- ISU (*Indoor Section Units*)
- Servidor ao qual os ISUs estão ligados.
- *Display*

As OBUs são unidades que se encontram sempre ligadas e dentro da viatura a localizar ou de alguma forma acopladas a ela (por exemplo com etiquetas autocolantes magnéticas – caso ensaiado

na realidade). As OBUs possuem uma bateria, e portanto são dispositivos autónomos. Estão periodicamente a enviar a sua localização, e só deixam de transmitir quando estão em carregamento.

As ISUs são unidades fixas, colocadas nas várias zonas e/ou compartimentos da oficina (exemplos: oficina mecânica, oficina eléctrica, pintura, etc). São alimentadas através de transformadores (portanto ligadas à rede eléctrica – 230V AC) e estão ligadas a um servidor formando uma rede.

As OBUs deslocam-se em ambiente *indoor* onde se encontram as ISUs (imagem 3.1). Consoante a granularidade definida pelo utilizador, as OBUs fazem o *broadcast* de uma trama. As ISUs que estiverem ao alcance das OBUs recebem essas mesmas tramas e enviam a informação para o servidor através de cabo de rede. Posteriormente a informação de cada ISU é analisada no servidor e, consoante a potência de sinal recebida das OBUs, é decidida a localização do veículo. Quanto mais próxima uma OBU estiver de uma ISU maior será a potência de sinal recebida por esta.

A comunicação entre ISUs e OBUs é feita através do padrão IEEE802.15.4, e entre ISUs e servidor, através de cabo de rede *Ethernet* (as ISUs e o servidor estão sincronizados e têm noção comum de tempo).

O *display*, é um monitor LCD que está colocado na parede da oficina, visível a qualquer pessoa, e que mostra a localização do veículo.

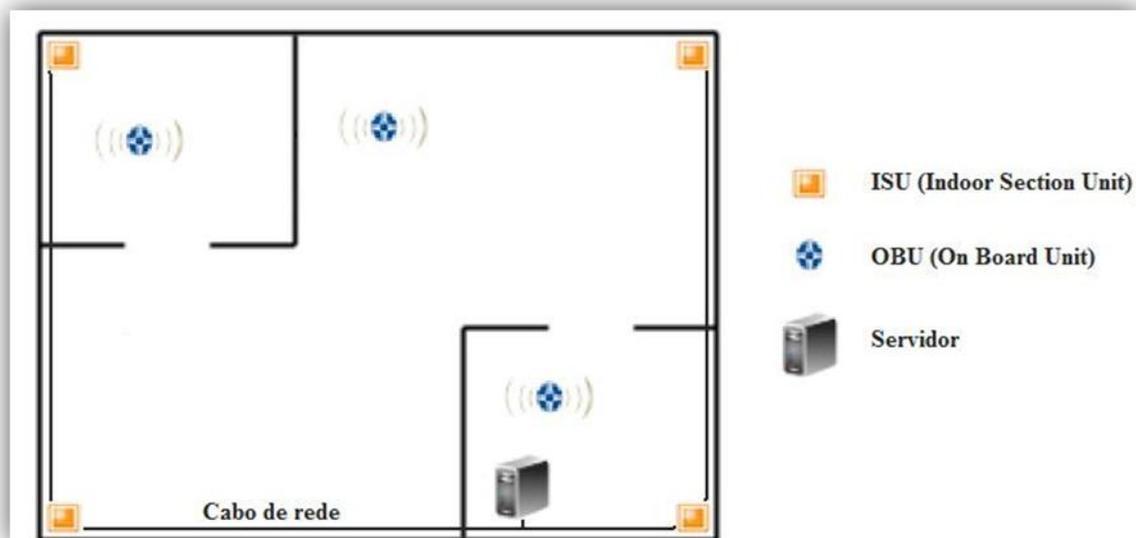


Imagem 3.1 – Exemplo da arquitectura do sistema de localização *indoor*

### 3.3. Funcionamento do sistema

Funcionalidades do sistema:

- Dar uma indicação da localização dos veículos a partir dos dados do mesmo (matrícula e marca).
- A localização pode ser fornecida numa lista englobando todos os veículos ou ser fornecida a pedido, a partir da indicação da matrícula.
- É gerado um ficheiro de localização para cada um dos veículos que inclui a hora e o percurso efectuados pelo mesmo.

Actores que interagem com o sistema:

- Supervisor – determina o local da colocação das ISUs e determina a granularidade com que as OBUs enviam as suas tramas
- Técnico de Informática – faz a instalação, configuração e substituição das ISUs
- Recepcionista – associa as OBUs às matrículas dos veículos, carrega-as sempre que necessário e procede também às suas substituições sempre que haja ruptura das mesmas.
- Clientes – podem aceder a uma página Web desde que tenham permissões para tal e observar a localização do seu veículo.

Quando um cliente com veículo chega à oficina é-lhe atribuído uma OBU pelo recepcionista. Através de uma aplicação Web o recepcionista regista a OBU (que possui uma numeração) e associa-a à matrícula do veículo. A partir desse instante, num *display*, é mostrada a localização do veículo em tempo real ou com uma granularidade temporal definida pelo supervisor. Sempre que for necessário, o recepcionista pode usar a aplicação para saber a localização de um veículo num dado instante de tempo. Toda a informação da localização, incluindo hora e percurso efectuado pelo veículo, é registada através da aplicação, sendo possível gerar um ficheiro com todos esses dados.

O supervisor determina o local da colocação de novas ISUs. É da responsabilidade do técnico da informática substituir as ISUs sempre que for necessário, incluir novas ISUs em novas zonas ou compartimentos, e proceder à sua configuração.

A substituição das baterias das OBUs é feita pelo recepcionista, e é ele que procede também à sua manutenção, ligando-as a um carregador.

A informação do estado das baterias das OBUs encontra-se no *display*, e portanto pode ser consultada sempre que necessário. A aplicação é capaz de gerar alarmes e mostrá-los no *display*, como é o caso da ausência de actividade da OBU ou a bateria deste entrar em ruptura e falha de funcionamento da ISU.

### 3.4. Soluções tecnológicas

#### 3.4.1. Configuração e operação

Tal como referido anteriormente, existem uma série de configurações a serem feitas antes do sistema de localização estar pronto a funcionar, como a seguir se descrevem:

- Configurações operacionais:  
A cada veículo está associado uma OBU e a cada ISU está associada uma zona ou compartimento.
- Configuração da granularidade temporal de localização:  
A granularidade temporal de localização da OBU é configurada pelo supervisor através da aplicação que se pode ver no *display*. O supervisor introduz o intervalo de tempo com que se pretende que determinada OBU ou conjunto de OBUs (através do seu ID) enviem a sua localização.

Associada a esta configuração existem dois tipos de operações:

- A operação com detecção de movimento, em que existe um período de adormecimento na ausência de movimento (transição movimento / parado) e um período de transição entre parado / movimento.
- ou
- A operação sem detecção de movimento.

É da responsabilidade do operador escolher o tipo de operação.

A mudança entre os dois estados de operação (com e sem movimento) depende da informação colhida num sensor de movimento do tipo acelerómetro, instalado nas OBU. O sinal proveniente do mesmo é designado por **Acc** e será zero (*latus sensus*, isto é, um sinal relativamente pequeno) na ausência de movimento e diferente de zero, ou pelo menos acima de um determinado nível, quando a OBU está em movimento.

Na imagem 3.2 apresenta-se o diagrama de estados que foi utilizado no sistema de localização proposto. Segue-se uma descrição sumária desse diagrama de estados.

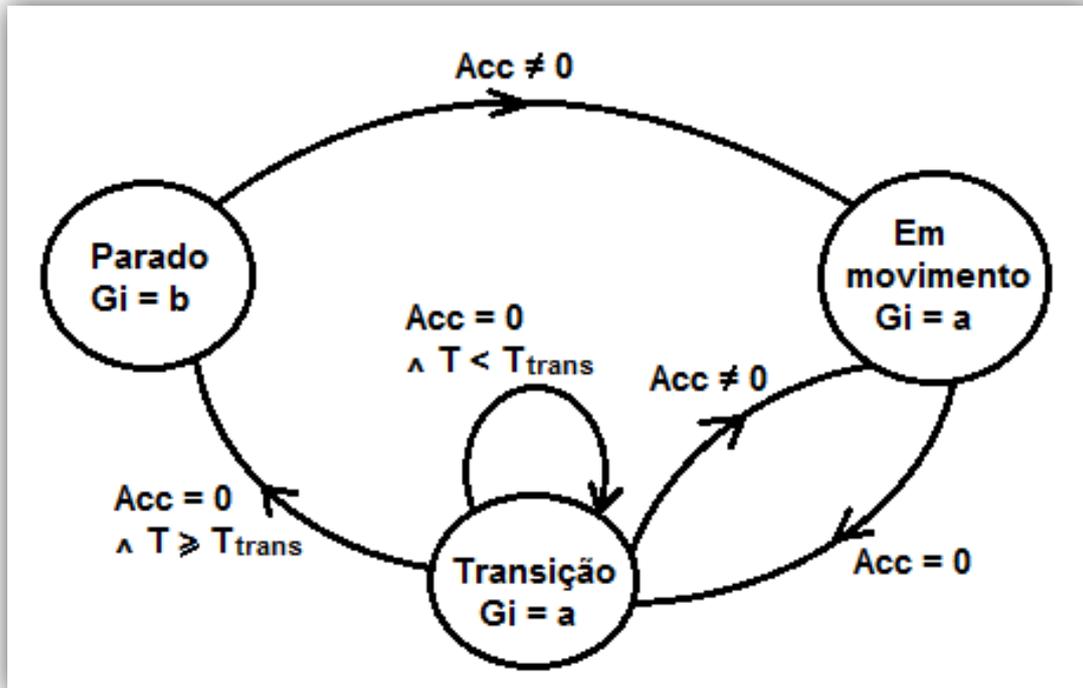


Imagem 3.2 – Operação de localização

Inicialmente, considerando que o veículo está “**em movimento**”, a granularidade temporal da localização é  $G_i = a$ . Esta granularidade como a definimos é um valor em segundos, correspondente ao intervalo entre duas transmissões espontâneas e consecutivas das OBU. Logo, um valor elevado implica um período longo e uma localização temporal grossa. Um valor pequeno implica um período de transmissão curto, logo uma localização temporal fina.

A partir do estado “**Em movimento**”, caso o tipo de operação esteja definido como sendo com detecção de movimento e a aceleração seja 0 (implica que o carro está parado), o veículo passa para o estado de “**Transição**” em que continua com a mesma granularidade temporal de localização  $G_i = a$ .

Nesse estado, caso o veículo continue parado ( $Acc = 0$ ) durante um intervalo de tempo superior a um tempo programável ( $T_{trans}$ ), o sistema comuta para o estado “**Parado**” no qual a granularidade temporal passa a ser  $b$ , em que  $b \gg a$ .

Se, durante a permanência no estado “**Transição**”, mesmo sem se ultrapassar o tempo pré-programado, o veículo entrar em movimento ( $Acc \neq 0$ ), então dá-se o regresso ao estado “**Em movimento**”, mantendo-se a granularidade temporal em  $G_i = a$ .

No sistema proposto existem ainda mais duas configurações adicionais:

- Configuração de energia:

Percentagem de carga de bateria que gera alarme amarelo e vermelho (semelhante às baterias dos computadores portáteis).

- Configuração de alarmes:

A aplicação é capaz de mostrar no *display* uma mensagem de alarme para o caso da bateria da OBU entrar em ruptura, existir ausência de actividade da OBU ou haver uma falha de funcionamento da ISU.

### 3.4.2. Caracterização do sistema de localização

Nesta secção apresenta-se uma formalização sumária do sistema de localização.

Considera-se uma série de medidas de potência de sinal correspondentes à visão que as ISUs têm das tramas emitidas pelas OBUs.

Essas medidas são dadas por:

$$p_{i,j}(k)$$

em que  $i$  é o número da OBU que emitiu,  $j$  é o número da ISU que recebeu e  $k$  é o número de série da medida, em que  $k = 0$  corresponde à primeira medida obtida.  $k$  é um número inteiro incrementado pela OBU e associado a cada envio de trama.

A numeração de sequência do  $k$  é definida como:

$$2, 3, 4 \dots k_{max}$$

Quando se recebe uma primeira trama com  $k = k_{max}$ , organizam-se os  $p_{i,j}(k)$  de tal forma que os valores com índice  $k_{max} - 1$  passam a ser correspondentes a  $k = 0$  e os com índice  $k_{max}$  passam a deter  $k = 1$ . Além disso são apagados do sistema todos os  $p_{i,j}(k)$  com índice  $ks$  inferiores a  $k_{max}$ . Caso sejam recebidos  $p_{i,j}(k)$  posteriores com  $k = k_{max}$ , são automaticamente reindexados para  $k = 2$ . Note-se que, uma vez recebido um  $p_{i,j}(k)$  com  $k = k_{max}$ , não será recebido posteriormente qualquer trama com  $k < k_{max}$ , excepto as que se encontrarem no extremo inferior da gama de  $ks$ . Desta forma simples resolve-se o problema de se atingir o limite máximo da contagem, podendo-se “dar a volta” à mesma. A partir daqui esta questão é ignorada e desenvolve-se a formalização como se os  $ks$  pudessem crescer indefinidamente.

A localização da OBU  $i$ , como estando na zona ou compartimento  $j$ , num instante de tempo específico, é feita através de uma tabela que serve de exemplo e que é apresentada a seguir:

OBU  $i$

ISU $j$	$k$	$p_{i,j}(k)$ (%)	Localização
1	324	30	
2	326	40	
3	327	60	
4	329	70	
5	329	80	X
6	279	20	

Tabela 3.1 – Processo de localização

Esta tabela apresenta todas as ISUs  $j$  do sistema, para uma dada OBU  $i$ . Sempre que as ISUs recebem uma trama proveniente da OBU, são registados na tabela os valores de  $k$  e de  $p_{i,j}(k)$ .

Imediatamente após ser pedida a localização da OBU  $i$ , determina-se o  $k_{max}$ .

Para  $k_{max}$  e  $k_{max} - 1$  verifica-se quais os valores mais altos de potência ( $p_{i,j}(k_{max})$ ).

A ISU que tiver o valor mais alto é a correspondente à posição em que o veículo se encontra. Neste caso ilustrativo a localização da OBU  $i$  seria o compartimento ou zona a que a ISU 5 está associada.

O processo de localização da OBU  $i$ , após ser feito o pedido de localização, será então:

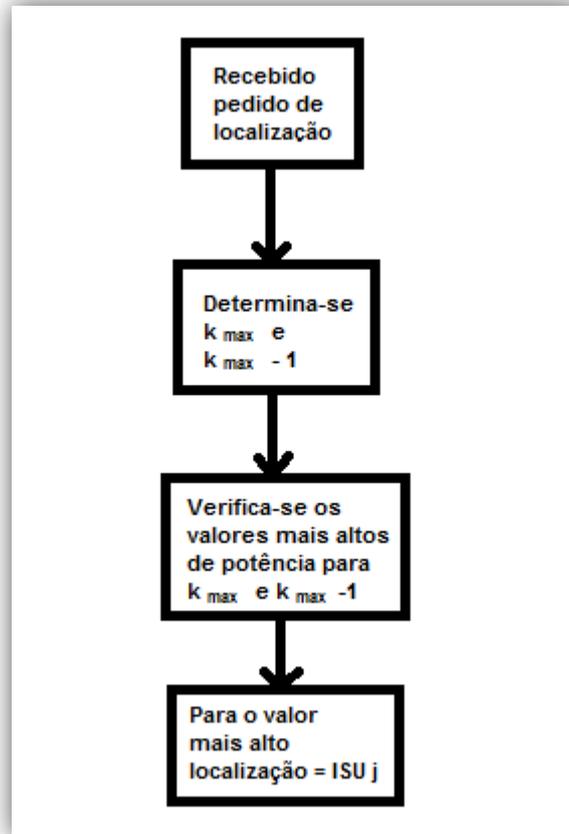


Imagem 3.3 – Processo de localização

A comunicação entre as diferentes unidades que constituem o sistema é feita com base no envio e recepção de tramas.

A trama enviada pela OBU  $i$  e recebida pelas ISUs tem os campos seguintes:

Trama 1 (RSSI  $i$ ):

#IDI,BAT,K\$

IDI – identificador da OBU

BAT – bateria total da OBU em percentagem

K – número de série da medida

A trama de *acknowledge* que a ISU envia para a OBU denomina-se RSSI ACK  $j$ , em que  $j$  corresponde à ISU que enviou o ACK e tem os campos seguintes.

Trama 2 (RSSI ACK  $j$ ):

#IDO,IDI,FLAG,RRSIOK\$

IDO – identificador da OBU

IDI – identificador da ISU

FLAG – *flag* de configuração da granularidade  
RSSIOK – identificador de recepção da trama RSSI

As tramas enviadas pelas ISUs e recebidas pelo servidor têm os campos seguintes:

Trama 3:  
#IDO,IDI,RSSI,BAT,K,TIME\$  
IDO – identificador da OBU  
IDI – identificador da ISU  
RSSI – potência do sinal  
BAT – bateria total da OBU em percentagem  
K – número de série da medida  
TIME – instante de recepção

A trama de configuração da granularidade enviada pela ISU  $j$  para a OBU  $i$  tem os campos seguintes:

Trama 4 (CFG,  $j$ ):  
#IDO,IDI,CFG\$  
IDO – identificador da OBU  
IDI – identificador da ISU  
CFG – intervalo de tempo da nova granularidade

A trama de *acknowledge* que a OBU envia para a ISU a dizer que foi correctamente configurada tem os campos seguintes:

Trama 4 (CFG ACK,  $j$ ):  
#IDO,IDI,CFGOK\$  
IDO – identificador da OBU  
IDI – identificador da ISU  
CFGOK – identificar de recepção da trama CFG

### 3.4.3. Interface de comunicação

Interface de comunicação OBU – ISU – Servidor:

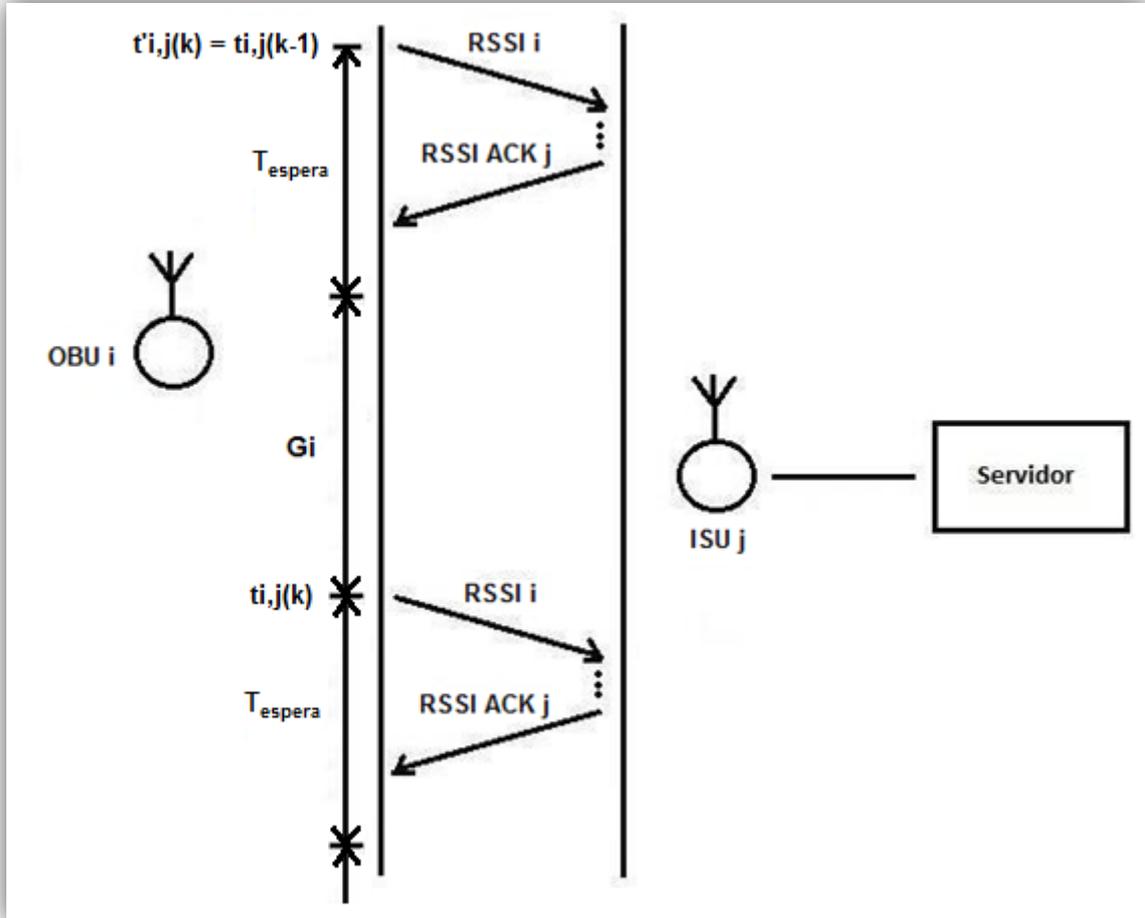


Imagem 3.4 – Interface de comunicação OBU, ISU, servidor

A OBU  $i$  desloca-se em ambiente *indoor* onde se encontram as ISUs. Consoante a granularidade definida pelo utilizador ( $G_i$ ) a OBU  $i$  faz um *broadcast* da trama RSSI  $i$  e espera um intervalo de tempo pré-definido ( $T_{espera}$ ) pela trama de *ACKnowledge* (RSSI ACK  $j$ ).

As ISUs que estiverem ao alcance da OBU  $i$  recebem a trama, e enviam-na logo de seguida para o servidor através de cabo de rede *Ethernet*. No servidor é feita a selecção da ISU que vai enviar a trama de RSSI ACK de volta para a OBU  $i$  (processo explicado mais à frente).

A OBU  $i$ , após receber a trama RSSI ACK  $j$  adormece, e só acorda passado um intervalo de tempo  $G_i$  para fazer o *broadcast* da trama RSSI  $i$ .

O *timestamp*  $t'_{i,j}(k-1)$  representa o instante de tempo em que é feito o *broadcast* da trama RSSI. Numa transmissão normal, isto é, em que existe trama RSSI ACK o  $t'_{i,j}(k-1)$  é igual ao  $t_{i,j}(k-1)$ .

Nota: Para este caso ilustrativo apenas a ISU  $j$  está ao alcance da OBU  $i$ .

Neste caso específico a OBU  $i$  transmite num instante dado pela seguinte expressão:

$$t_{i,j}(k) = t_{i,j}(k-1) + G_i + T_{espera}$$

**Interface de comunicação OBU – ISU – Servidor (sem que haja trama de RSSI ACK da ISU – OBU)**

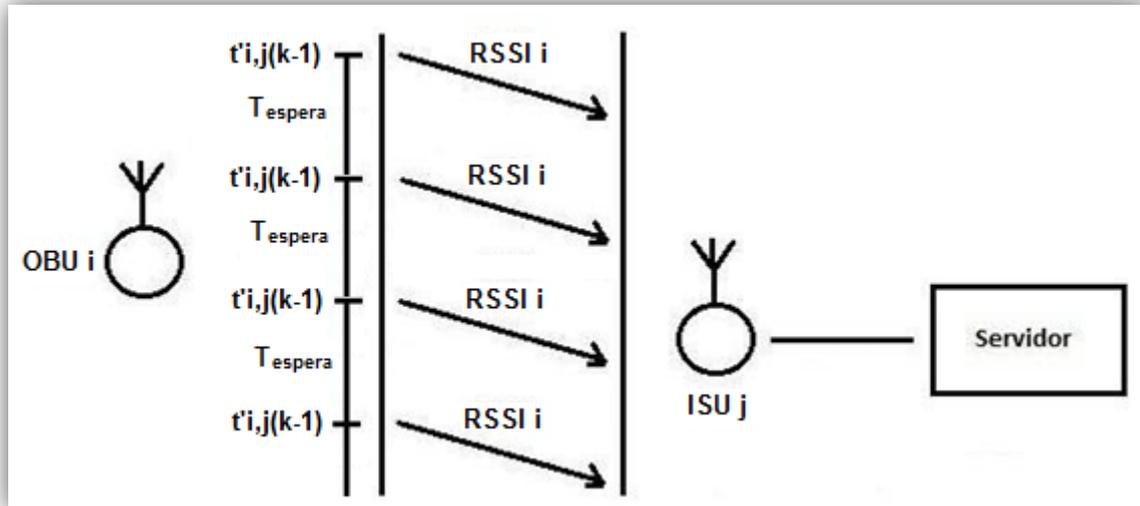


Imagem 3.5 – Interface de comunicação OBU, ISU, servidor sem trama de ACK

As OBUs possuem um intervalo máximo de espera do RSSI ACK chamado tempo de espera ( $T_{espera}$ ), que corresponde a um tempo de *timeout*.

Posteriormente a este tempo de espera, e se não receberem nenhuma trama de RSSI ACK, as OBUs retransmitem a trama RSSI (o número de retransmissões é configurável).

Após este processo de retransmissão se a OBU não receber o RSSI ACK da ISU na última retransmissão a nova transmissão do RSSI é escalonada para:

$$t_{i,j}(k) = t_{i,j}(k-1) + G_i + (x * T_{espera})$$

em que  $x$  corresponde ao número de retransmissões efectuadas.

Após receberem a trama RSSI das OBUs, as ISUs enviam-nas para o servidor. O servidor faz a selecção da ISU que vai enviar a trama RSSI ACK através da tabela seguinte que serve de exemplo:

**OBU 1**

ISU j	k	$p_{i,j}(k)$ (%)	RSSI ACK
1	327	30	
2	328	40	
3	328	60	X
4	326	70	
5	325	80	
6	279	20	

Tabela 3.2 – Selecção da ISU de ACKnowledge

Determina-se o  $k_{max}$ .

Para  $k_{max}$  e  $k_{max} - 1$  verifica-se quais os valores mais altos de potência ( $p_{i,j}(k_{max})$ ).

A ISU que tiver o valor mais alto é a que envia a trama de RSSI ACK de volta para a OBU.

Neste caso ilustrativo seria a ISU 3 a enviar a trama de RSSI ACK para a OBU 1.

O processo de troca de ISUs é semelhante. É determinado novamente o  $k_{max}$  e para  $k_{max}$  e  $k_{max} - 1$  verifica-se quais os valores mais altos de potência ( $p_{i,j}(k_{max})$ ). Caso haja uma ISU com um valor mais alto de potência que o actual é feita a troca e é essa nova ISU que passa a enviar a trama de RSSI ACK de volta para a OBU.

Nota: O código usado para a escolha e troca da ISU, que envia o RSSI ACK, encontra-se num documento à parte [20].

### **Configuração da granularidade de localização:**

O utilizador introduz a granularidade que pretende que determinada OBU (através do seu ID) envie a sua trama.

De seguida a aplicação irá procurar a ISU  $j$  que está associada à OBU  $i$ , ou seja, a ISU  $j$  que está a enviar a trama RSSI ACK  $j$  para a OBU  $i$  que se pretende configurar.

A ISU  $j$  envia então o RSSI ACK  $j$  com a *flag* de configuração a 1 o que pressupõe que a OBU  $i$  vai ter a sua granularidade alterada.

Após a recepção da trama RSSI ACK  $j$  a OBU  $i$  espera então um intervalo de tempo de configuração ( $T_{conf}$ ) para que a ISU  $j$  envie uma trama de configuração.

A OBU  $i$  após a recepção da trama de configuração, envia uma trama de CFG ACK a dizer que foi correctamente configurada e adormece, só acordando passado um intervalo de tempo  $G_i$  para fazer o *broadcast* da trama RSSI  $i$ .

Exemplo ilustrativo da interface de comunicação da OBU:

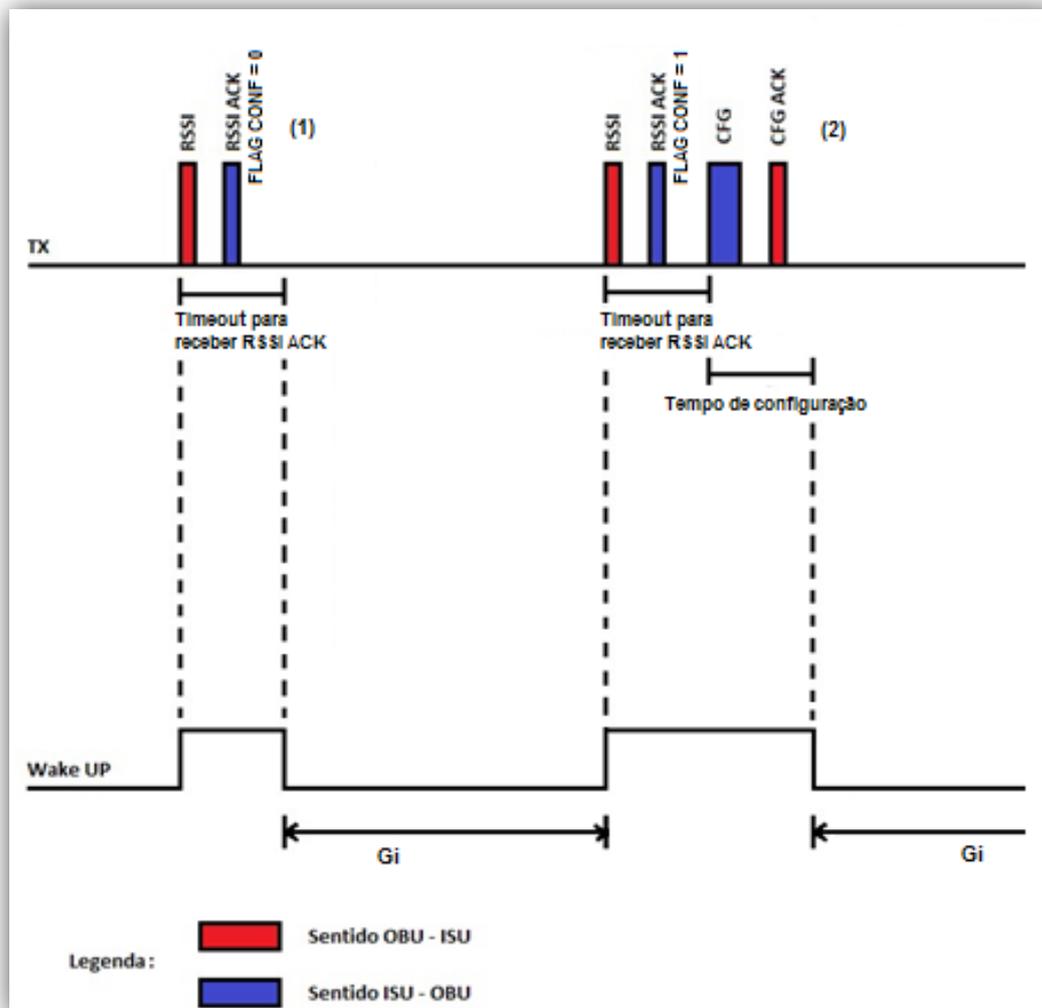


Imagem 3.6 – Interface de comunicação da OBU

A situação (1) ilustra o envio da trama de RSSI e recepção do RSSI ACK em que a *flag* de configuração vem a 0.

A situação (2) corresponde ao envio da trama de RSSI e recepção do RSSI ACK em que a *flag* de configuração vem a 1. Neste caso a OBU espera então um dado intervalo de tempo de configuração. Dentro deste intervalo, a ISU envia a trama de configuração e após receber a trama a OBU envia o CFG ACK para a ISU a dizer que foi correctamente configurado.

## Interface de comunicação ISU:

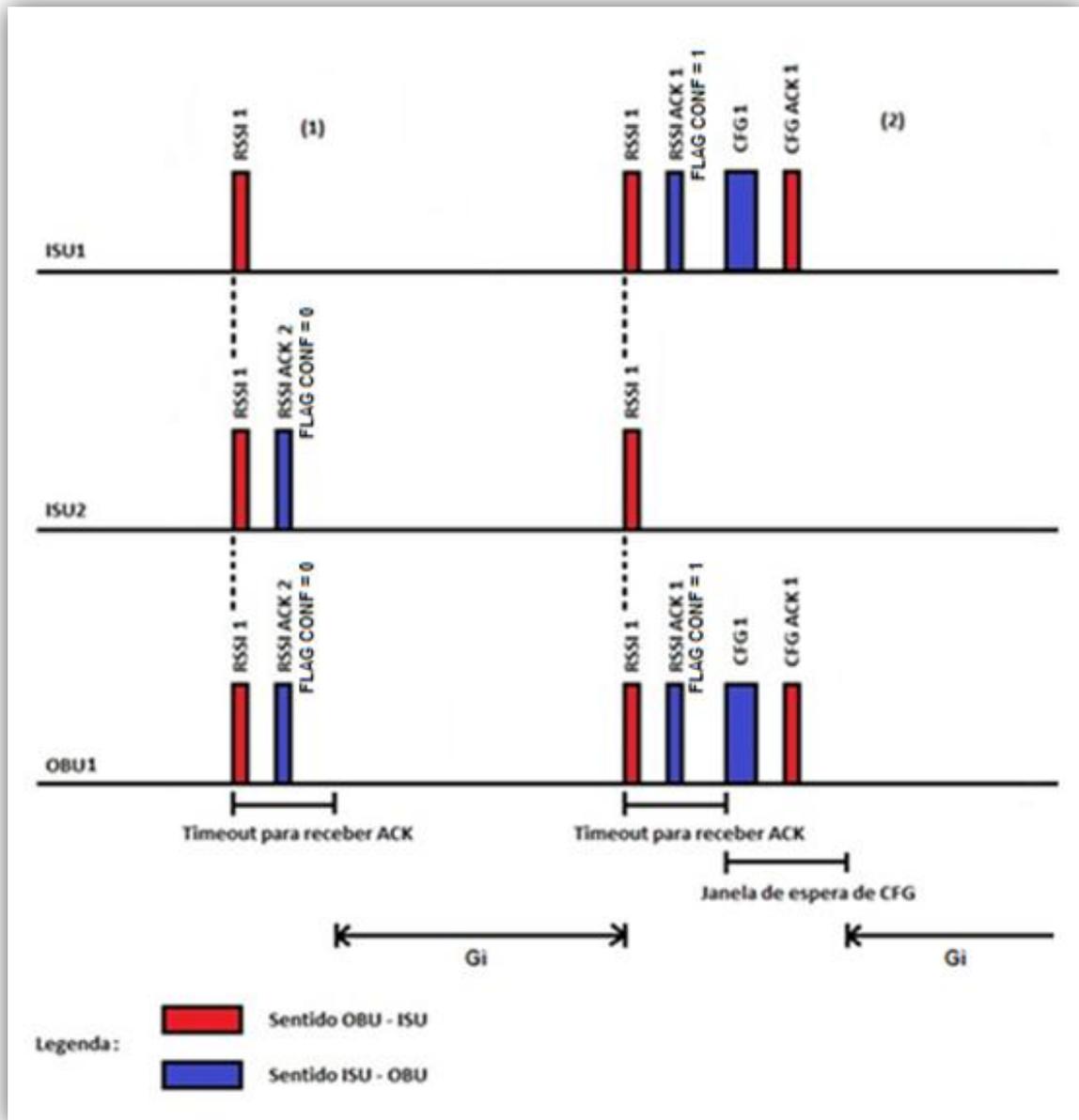


Imagem 3.7 – Interface de comunicação da ISU

Para o exemplo (1) da figura:

A OBU1 envia a trama RSSI 1.

A ISU1 e a ISU2 recebem a trama e enviam-na para o servidor.

O servidor faz a selecção da ISU que vai enviar a trama RSSI ACK através da tabela exibida anteriormente. Neste caso é a ISU2 que faz o envio.

O campo FLAG é enviado a 0 e portanto não há configuração de nova granularidade.

Após o tempo de espera para a OBU1 receber o RSSI ACK, esta adormece durante um intervalo de tempo  $G_i$ .

Para o exemplo (2) da figura:

A OBU1 envia a trama RSSI 1.

A ISU1 e a ISU2 recebem a trama e enviam-na para o servidor.

O servidor faz a selecção da ISU que vai enviar a trama RSSI ACK através da tabela exibida anteriormente. Neste caso é a ISU1 que faz o envio.

O campo FLAG é enviado a 1 e portanto há configuração de nova granularidade.

A OBU1 espera então durante um dado intervalo de tempo (janela de espera do CFG) pela trama de configuração.

A ISU1 após enviar a trama RSSI ACK1 envia a trama CFG1, que corresponde à trama de configuração da nova granularidade da OBU1.

A OBU1 após receber a trama de configuração da ISU1 envia a trama CFG ACK1 a dizer que foi correctamente configurada.

#### 3.4.4. Integração com sistema de localização outdoor

Para procedermos à integração do sistema de localização *indoor* com o sistema de localização *outdoor* e para o caso da oficina automóvel, usa-se uma ISU, denominada de “baliza” para cada uma das suas entradas.

Sempre que a OBU passa pela “baliza” é ligado o *driver* do GPS e a OBU começa a receber a informação da sua posição. Quando acontece a situação inversa, ou seja, a OBU entra na oficina, o *driver* do GPS é desligado.

Nota: A razão para não se ter o *driver* do GPS sempre activo é devido a custos energéticos.



Imagem 3.8 – Transição GPS *on-off* e *off-on*

A imagem representa a transição do estado do GPS.

Inicialmente, o veículo está “dentro da oficina” e aí permanece até que “veja” a ISU “baliza”. Nesse estado o GPS está no modo *off*, ou seja, o *driver* do GPS está desligado.

Quando o veículo só “vê” a ISU “baliza”, passa para o estado de transição “a entrar ou a sair”. Nesse estado caso “veja” outras ISUs retorna ao estado “dentro da oficina” e caso deixe de “ver” a “baliza” passa para o estado “fora da oficina”.

Nesse estado o GPS transita para o modo *on*, ou seja, o *driver* do GPS é ligado.

Assim que o veículo “vê” a “baliza”, passa novamente para o estado de transição **“a entrar ou a sair”**.

Nota: O conceito de “ver” significa a OBU receber a trama RSSI ACK da ISU.

## 4. Localização *outdoor* com base em GPS e GPRS

### 4.1.Introdução

Neste capítulo do documento propõe-se um sistema de localização *outdoor* inspirado na aplicação de localização de veículos que pode ser completamente autónomo ou que pode interagir com o sistema de localização *indoor*, sob a coordenação deste. Esta interacção foi já abordada no capítulo 3.4.4.

### 4.2.Arquitectura do sistema

O sistema de localização é constituído pelas seguintes unidades:

- OBU (On Board Units)
- Servidor para o qual as OBUs enviam a localização.
- *Display*

Estas OBUs podem ser específicas do sistema de localização *outdoor* ou podem estar integradas (ou vice-versa, já que estas são mais volumosas) nas OBUs do sistema de localização *indoor*. As OBUs são unidades que se encontram ligadas à bateria do carro, estão dentro da viatura a localizar e possuem uma bateria de emergência, com uma autonomia de cerca de duas horas, que entra em funcionamento caso a bateria do veículo deixe de funcionar, prevenindo portanto, possíveis perdas de informação. Estas unidades enviam periodicamente a sua localização.

As OBUs deslocam-se em ambiente *outdoor* (imagem 4.1), e periodicamente, através da antena GPS, recebem as coordenadas com a sua posição. Consoante a granularidade definida pelo utilizador, e através de GPRS, as OBUs fazem o envio de uma trama com as suas coordenadas para o servidor.

Imagem 4.1 – Arquitectura do sistema de localização *outdoor*

O servidor analisa as coordenadas e determina a posição do veículo, fazendo posteriormente o seu *display* numa página Web, através da API do *Google Maps*.

### 4.3. Funcionamento do sistema

Funcionalidades do sistema:

- Dar uma indicação da localização dos veículos a partir dos dados do mesmo (matrícula e marca).
- A localização pode ser fornecida numa lista englobando todos os veículos ou ser fornecida a pedido, a partir da indicação da matrícula.
- É gerado um ficheiro de localização para cada um dos veículos que inclui a hora e o percurso efectuados pelo mesmo.

Actores que interagem com o sistema:

- Supervisor – determina a granularidade com que as OBU's enviam as suas tramas
- Recepcionista – associa as OBU's às matrículas dos veículos e procede também às suas substituições sempre que haja ruptura das mesmas.
- Clientes – podem aceder a uma página Web desde que tenham permissões para tal e observar a localização do seu veículo.

À semelhança do sistema de localização *indoor*, é atribuído ao veículo uma OBU, pelo recepcionista. Através de uma aplicação Web é registada e associada a OBU à matrícula do veículo, por esse mesmo responsável. A partir desse instante, num *display*, é mostrada a localização do veículo em tempo real ou com uma granularidade temporal definida pelo supervisor, através da aplicação. Sempre que é necessário, pode usar-se a aplicação para saber a localização de um veículo num dado instante de tempo. Toda a informação da localização, incluindo hora e percurso efectuados pelo veículo, é registada através da aplicação, sendo possível gerar um ficheiro com todos esses dados.

A informação do estado das baterias de emergência das OBUs encontra-se no *display*, e portanto pode ser consultada sempre que necessário. A aplicação é capaz de gerar alarmes e mostrá-los no *display*, como é o caso da ausência de actividade da OBU ou a bateria deste entrar em ruptura.

A comunicação entre OBUs e servidor é feita através de GPRS.

## 4.4. Soluções tecnológicas

### 4.4.1. Configuração e operação

As configurações e operações necessárias para que o sistema de localização *outdoor* esteja pronto a funcionar são semelhantes às do sistema de localização *indoor* (ver capítulo 3.4.1).

As únicas excepções dizem respeito à configuração operacional, à configuração de alarmes, em que não há ISUs. No que diz respeito à configuração de energia, a bateria mencionada corresponde à bateria de emergência da OBU.

### 4.4.2. Caracterização do sistema de localização

Imediatamente após a OBU ser ligada, o GPS começa a funcionar. Caso não se conheça a hora actual e a última posição da OBU o sistema arranca em *Cold Start*. Caso se conheça e não existam dados efemérides<sup>1</sup> recentes, o sistema arranca em *Warm Start*. Caso se conheçam a hora actual e a última posição da OBU e existam dados efemérides recentes, o sistema arranca em *Hot Start*.

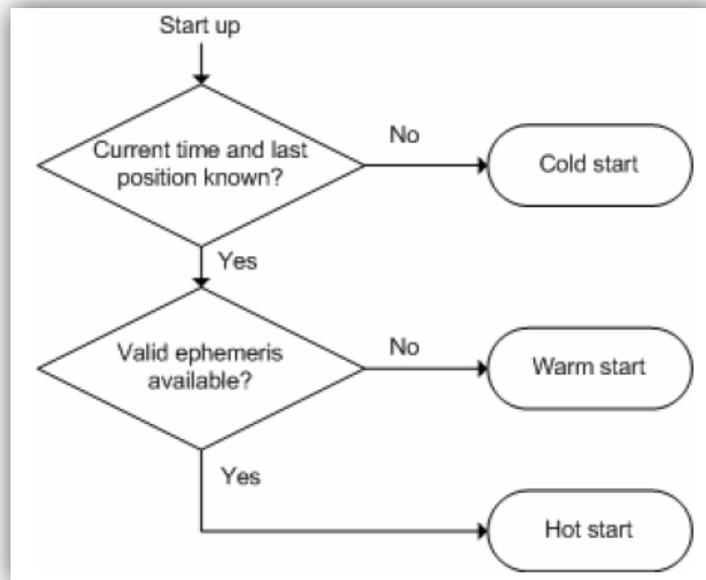


Imagem 4.2 – Start up do GPS [13]

De acordo com o manual [13], em *Cold Start* o sistema demora cerca de 34 segundos até determinar pela primeira vez a posição, velocidade e tempo. Em *Warm Start* demora 33 segundos e em *Hot Start* menos de 3.5 segundos. Nos ensaios efectuados estes números não foram confirmados e tendem a ser optimistas.

<sup>1</sup> Uma **efemérides**, **efeméride** ou **efemeris** é uma tabela de valores que dá as posições dos objectos astronómicos no céu em um momento ou momentos dados.

Após este processo, os sinais dos satélites são seguidos continuamente e a posição é calculada periodicamente.

Uma vez que, para determinar pela primeira vez a posição, velocidade e tempo, o GPS pode demorar um tempo razoável, usa-se o A-GPS (GPS assistido), que é uma versão aprimorada do GPS.

O A-GPS recebe dados de suporte através de uma ligação de dados, por exemplo, GPRS ou 3G (neste caso GPRS), de maneira a ajudar a OBU a calcular as coordenadas da sua posição actual quando recebe informações de satélites. O A-GPS é muito útil quando o veículo está em movimento e a passar em áreas urbanas onde se pode perder o sinal, nos chamados “desfiladeiros urbanos” [14].

Com o GPS assistido (A-GPS) a ligação inicial não é feita directamente com o satélite, mas sim com um servidor que previamente armazenou a localização destes satélites, através de uma antena, e as transmite para o GPS com uma velocidade até 40 vezes maior. Este recurso só é possível em aparelhos com ligação GPRS.

Além do tempo de inicialização, o A-GPS também usa o ‘apoio’ dos dados enviados pela antena para o servidor quando o sinal GPS está fraco, ajudando a manter o sinal estável até mesmo em regiões cercadas por edifícios muito altos.

Consoante a granularidade definida pelo utilizar, a trama com a informação relativa à localização do veículo é enviada para o servidor através de GPRS.

No servidor a informação é analisada, é calculada a posição do veículo, e posteriormente mostrada num *display*.

A comunicação entre as OBUs e o servidor é feita através do envio da seguinte trama:

Trama 1(GPS *i*):

#IDI%BAT%GPS\$

IDI – identificador da OBU

BAT – bateria total da OBU em percentagem

GPS – trama GPS

A trama GPS tem os campos seguintes separados por vírgulas:

<GpsDate>, <GpsUTCTime>, <GpsLatitude>, <N-S-Indicator>, <GpsLongitude>, <E-W-Indicator>, <GpsAltitude>, <GpsSpeed>, <GpsCourse>, <GpsStatus>

<GpsDate>: corresponde à Data.

“yyyy/mm/dd“ - os caracteres indicam o ano, seguido do mês e dia.

<GpsUTCTime>: corresponde à hora UTC.

“hh:mm:ss“ – tempo em horas(hh). minutos(mm) e segundos(ss)

<GpsLatitude>: corresponde à longitude.

000.000000...180.000000 (exemplo: 048.2050000 = 48 deg 12', 30")

<N-S-Indicator>: corresponde ao indicador norte ou sul.

“N“ – Norte

“S“ – Sul

<GpsLatitude>: corresponde à latitude.

00.000000...90.000000 (exemplo: 48.2050000 = 48 deg 12', 30")

<E-W-Indicator>: corresponde ao indicador este ou oeste.

“E” – Este

“W” – Oeste

<GpsAltitude>: corresponde à altitude.

Altitude, dada em metros. O valor do interval é de 32 bits (2<sup>32</sup> -1 resp. 4294967296).

-2147483648...2147483648

<GpsSpeed>: corresponde à velocidade.

000.00...999.99 (exemplo: 61.26 km/h)

<GpsCourse>: corresponde à direcção.

000.00...359.99 (exemplo: 152.50 = 152 deg 30' )

<GpsStatus>: corresponde ao estado do *fix* do GPS.

0 - Not *fix*

1 - Reserved for future use

2 - 2D-*fix*

3 - 3D-*fix*

4 - Reserved for future use

5 - Reserved for future use

#### 4.4.3. Interface de comunicação

##### Interface de comunicação GPS – OBU:

Para que o GPS comece a enviar dados para a OBU é necessário, através de *software*, ligar o *driver* do GPS. Assim que o *driver* é ligado temos acesso à informação enviada pelo GPS.

A periodicidade do envio da informação do GPS para a OBU é de 500 milissegundos, o que pressupõe que a granularidade do envio da OBU para o servidor nunca pode ser inferior a meio segundo.

Imediatamente após o *driver* do GPS ficar activo, a OBU liga-se à rede GSM e os dados GPS são transferidos para este a partir da estação base, sendo usados como referência para apressar e melhorar o processo de localização.

Toda a informação ao nível dos comandos AT enviados encontra-se num documento à parte [20].

##### Interface de comunicação OBU – servidor (GPRS):

Para enviar a informação do GPS, da OBU para o servidor através de GPRS, é necessário fazer uma série de configurações:

Inicialmente configuram-se os parâmetros e o tipo de ligação. De seguida define-se o IP e o porto a usar, e finalmente abre-se o canal de dados para escrita e leitura.

O código necessário para proceder a esta configuração encontra-se num documento à parte [20].

#### 4.4.4. Implementação do hardware

A OBU implementada consiste num dispositivo móvel *plug and play* que possui as funcionalidades de GSM e GPS e é baseado no módulo Cinterion XT65 GPS-GSM.

Neste caso particular é um aparelho projectado para a indústria automóvel, mais especificamente para fazer o *tracking* de veículos, embora possa ser usado noutras áreas, tais como segurança pessoal, investigações, etc.

### Funcionalidades:

A OBU permite transferir informação de localização e outros dados, por exemplo início de movimento, da viatura para um computador remoto. A transferência é efectuada por GPRS, através de um servidor via operadora de telecomunicações.

A OBU inclui uma antena GPRS e uma antena GPS para receber dados de satélite.

Está ainda equipada com um sensor que permite detectar movimentos e tem integradas duas portas de entrada digital.

Possui uma bateria recarregável que oferece uma completa autonomia ao aparelho em caso de emergência, sem que este precise de alimentação externa.

Uma máquina JAVA incorporada com motor TCP/IP completa as características do dispositivo. Tal permite a um utilizador desenvolver as suas próprias aplicações de software e carregá-las para a OBU.

O acesso às funções do equipamento pode ser feito portanto através de 3 protocolos diferentes, um já referido para acesso remoto (GPRS), e dois para acesso local, linha série local e USB.

### Arquitectura da OBU:

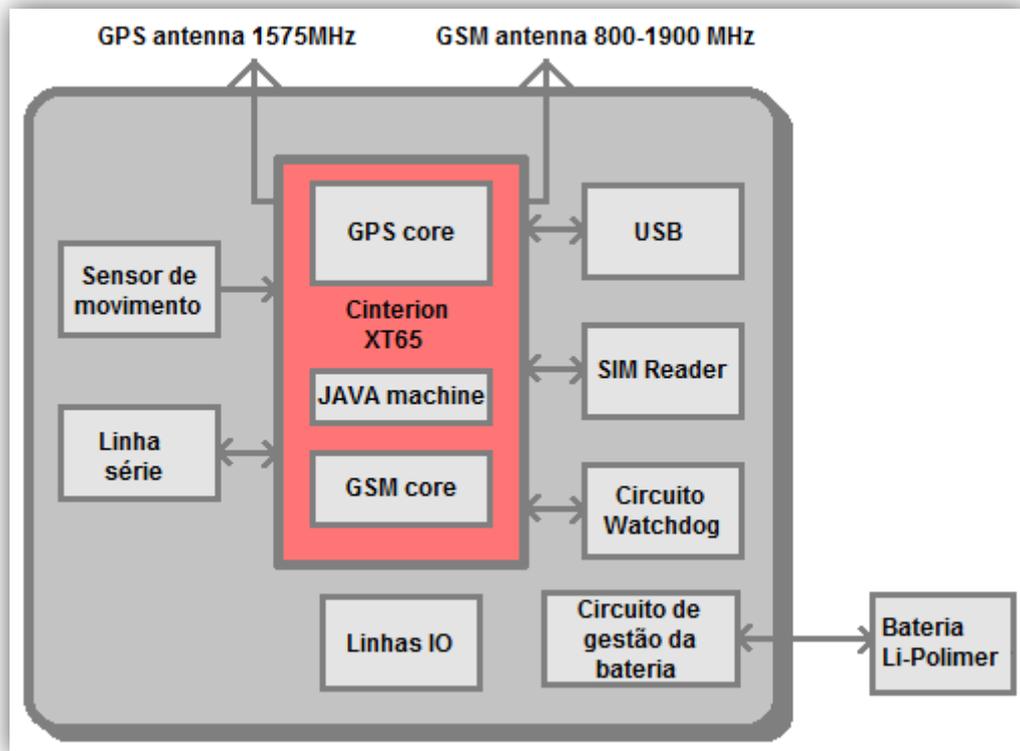


Imagem 4.3 – Blocos que integram a OBU

Tomando como ponto de partida o módulo Cinterion XT65, que possui uma máquina JAVA incorporada com motor TCP/IP e tecnologia GSM 2G, GPRS e GPS, introduziram-se algumas funcionalidades:

- **Sensor de movimento:**

A OBU está equipada com um sensor de movimento de 3 eixos que consegue detectar movimento com grande sensibilidade. O sensor é capaz de acordar o dispositivo quando ocorre vibração, assim como adormecê-lo na ausência de movimento. Este sensor é responsável pelo tipo de operação, com ou sem detecção de movimento.

- **Circuito Watch dog:**

Este circuito foi desenvolvido para assegurar uma maior fiabilidade do *software* de aplicação.

- **SIM Reader:**

Indispensável para que a OBU seja capaz de se ligar à operadora e através de GPRS enviar a informação para o servidor.

- **Alimentação externa e circuito de carregamento:**

Este circuito corresponde ao da alimentação da OBU. Assegura também o carregamento da bateria interna, que possui um circuito de protecção. Sempre que se está na presença de alimentação externa proveniente da bateria do carro, a bateria interna não tem qualquer influência na alimentação da OBU.

- **Funções que podem ser usadas através de 2 protocolos para acesso local: linha série local RS232 e USB:**

O dispositivo está equipado com interface USB *slave* e linha série local RS232, que permite ao utilizador programar o equipamento e extrair dados armazenados no *flash file system* do módulo.

- **Set de inputs que faz a recolha de sinais para transmissão de dados e geração de mensagens:**

A OBU possui um *ignition input* que serve para ligar e desligar o aparelho sem ser preciso desligar a alimentação, um *reset input* que serve para fazer *reset* ao dispositivo e dois *digital inputs*.

## **5. Prova de conceito, ensaios e resultados**

### **5.1. Protótipo DRIVE-IN**

A OBU referida no capítulo 4 foi desenvolvida e concluída apresentando-se completamente a funcionar.



Imagem 5.1 – Vista exterior do protótipo DRIVE-IN (OBU)

A imagem 5.1 representa a vista exterior do protótipo DRIVE-IN onde se pode ver toda a interface externa. Esta interface conta com:

- Antenas GPS e GSM localizadas por cima da OBU
- Uma ficha externa com 14 pinos:

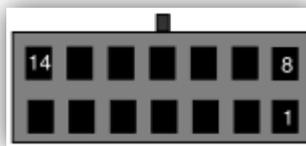


Imagem 5.2 – Molex Microfit3.0 – 14 pinos – vista da frente

Pino	I/O	Descrição		Cor (fios exteriores)
1	I	+VIN	Alimentação 8-32 VDC	Vermelho
3	O	232TX	Linha série RS232 tx	Branco
4	I	RST	<i>Reset</i>	Azul/Preto
5	I	IN1	<i>Digital Input</i>	Azul claro
8	-	GND	<i>Power Ground</i>	Preto
10	I	232RX	Linha série RS232 rx	Amarelo
11	I	IGT	Ignição	Verde
12	I	IN2	<i>Input digital</i>	Cinzentos
14	-	GND	<i>Signal Ground</i>	Branco/Preto

Tabela 5.1 – Descrição da pinagem da ficha externa

Nota: Os pinos 2, 6, 7, 9, 13 não estão ligados.

- **3 Leds:**

A OBU está equipada com 3 *leds*: GPS, Carregamento e sinal de GSM.

Led	Ligação interna
CPU/GPS	XT65 DAC_OUT
Charge	Estado do carregamento
GSM	XT65 SYNC

Tabela 5.2 – Ligação interna dos *leds* da OBU

Apenas o primeiro *led* depende de *software*, o comportamento dos outros está dependente do *hardware*.

A lista a seguir apresentada representa o comportamento dos *leds* dependentes de *hardware*:

<b>Charge – Amber Led</b>	
OFF	Bateria completamente carregada
ON	Bateria em carregamento

Tabela 5.3 – Estado do *led* de carregamento

<b>GSM – Yellow Led</b>	
<i>OFF</i>	A OBU está desligada ou o módulo GSM está em modo <i>SLEEP</i>
600 ms ON/600 ms <i>OFF</i>	O SIM <i>card</i> não está presente ou não foi introduzido PIN ou está à procura de rede ou a ligar à rede
75 ms ON/3 s <i>OFF</i>	Ligado à rede, nenhuma chamada em progresso
75 ms ON/75 ms <i>OFF</i> /75 ms ON/3 s <i>OFF</i>	Um ou mais contextos GPRS activos
<i>Flashing</i>	Indica transferência de dados GPRS. A duração do <i>flashing</i> é de cerca de 0.5s
<i>ON</i>	Ligação de voz: ligado remotamente Ligação de dados: ligado remotamente ou troca de parâmetros enquanto está a haver configuração ou uma chamada foi desligada

Tabela 5.4 – Estado do *led* do GSM

Nota: O USB não se encontra acessível na interface externa porque serve apenas para programação.

Posteriormente a se ter implementada a interface externa referida anteriormente, e para que fosse mais prático testar o dispositivo, incluiu-se:

- Uma entrada para se ligar um transformador que faz o carregamento da bateria.
- Um *switch* que tem a posição *Power ON* em que o dispositivo se encontra ligado, estando o transformador desligado, e uma posição *Charger* em que a bateria se encontra a carregar, estando o transformador ligado.

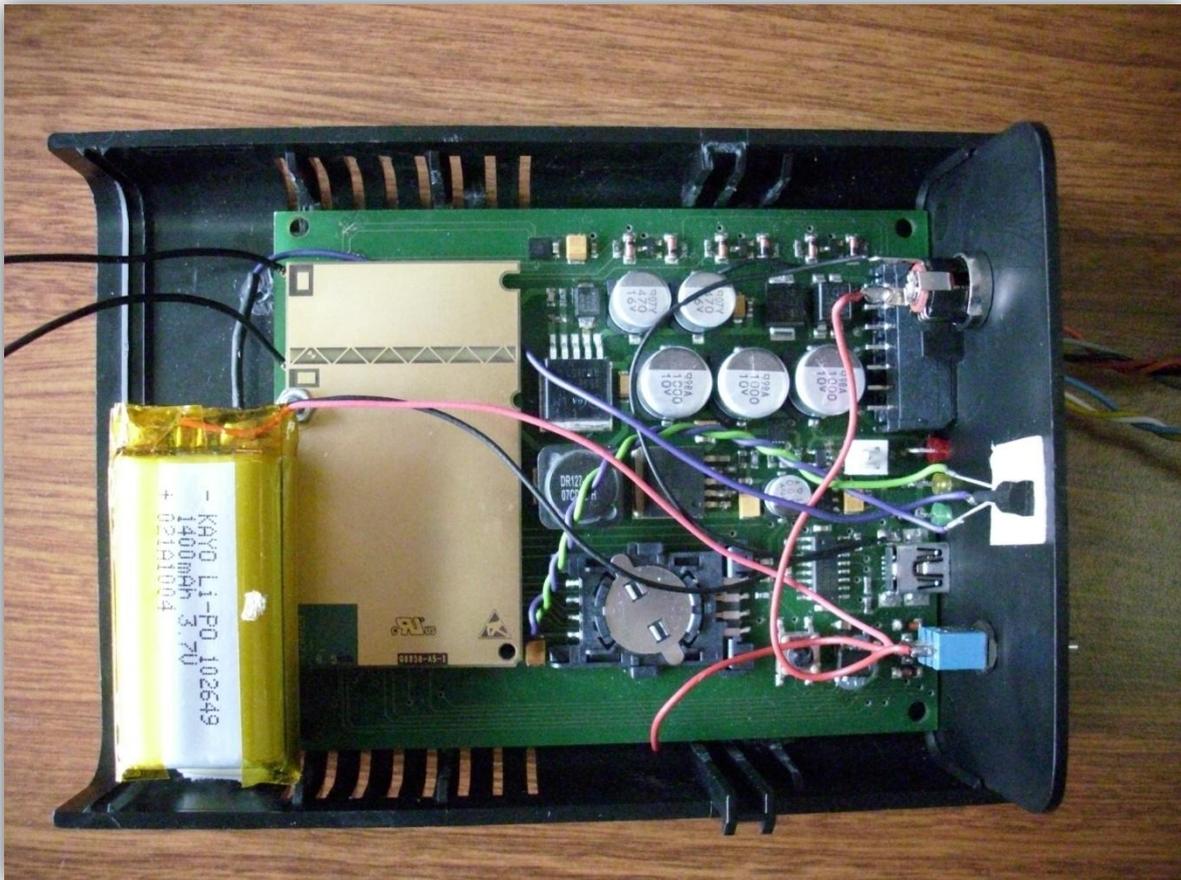


Imagem 5.3 – Vista da placa do protótipo DRIVE-IN (OBU)

## 5.2. Consumos relativos à OBU

Os consumos foram medidos nas seguintes condições:

$T_{AMB}$ : 20° C

$V_{in}$ : 12 VDC

Bateria interna completamente carregada (*charging current*  $\approx 0$ )

GSM banda 1800/1900 MHz.

GPS com antena ligada (consumo médio da corrente da antena 20 mA)

Alimentação externa – corrente média @ 12VDC		
<i>Low power mode</i>	5 mA	GPS power down, GSM power down, XT65 low power mode
GSM on	25 mA	GPS off, GSM idle (registered waiting for calls)
GPS-GSM on	60 mA	GPS on, GSM idle
GPS-GPRS on	300 mA	At maximum transfer rate

Tabela 5.5 – Consumo de corrente a partir da alimentação externa

Alimentação através de bateria interna – corrente média @ 4.1 VDC		
<i>Low power mode</i>	< 300 $\mu$ A	GPS power down, GSM power down, CPU low power mode
GSM on	35 mA	GPS off, GSM idle (registered waiting for calls)
GPS-GSM on	95 mA	GPS on, GSM idle
	360 mA	GPS on, GSM in CSD call
GPS-GPRS on	600 mA	At maximum transfer rate

Tabela 5.6 – Consumo de corrente a partir de bateria interna

### 5.3. Aplicação Web

Foi desenvolvida uma pequena parte da aplicação Web e fizeram-se alguns testes com a API do *Google Maps* relativamente ao sistema de localização *outdoor*. No que diz respeito ao sistema de localização *indoor* fez-se apenas a ilustração de uma possível representação do veículo numa planta de uma oficina de automóveis.

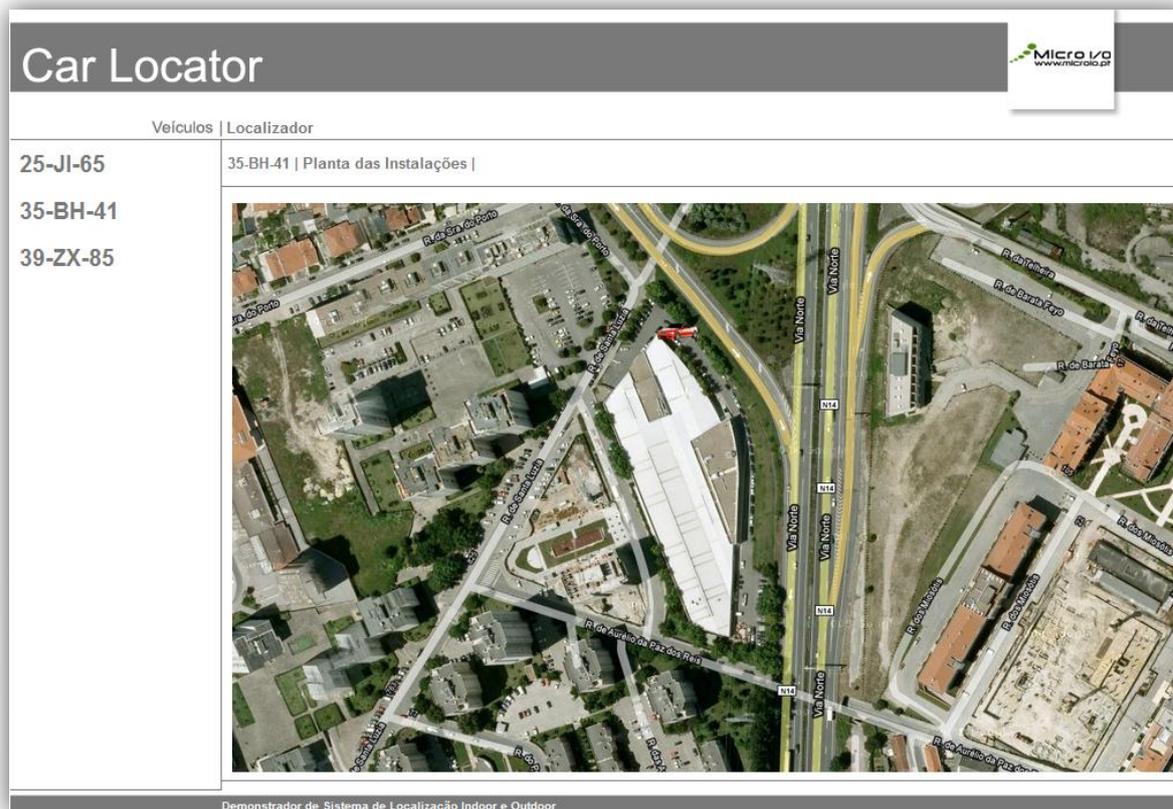


Imagem 5.4 – Página Web de exemplo da localização de um veículo fora da oficina

O carro a vermelho na imagem 5.4 representa, no *Google Maps*, a localização do veículo com a matrícula 35-BH-41 fora da oficina.

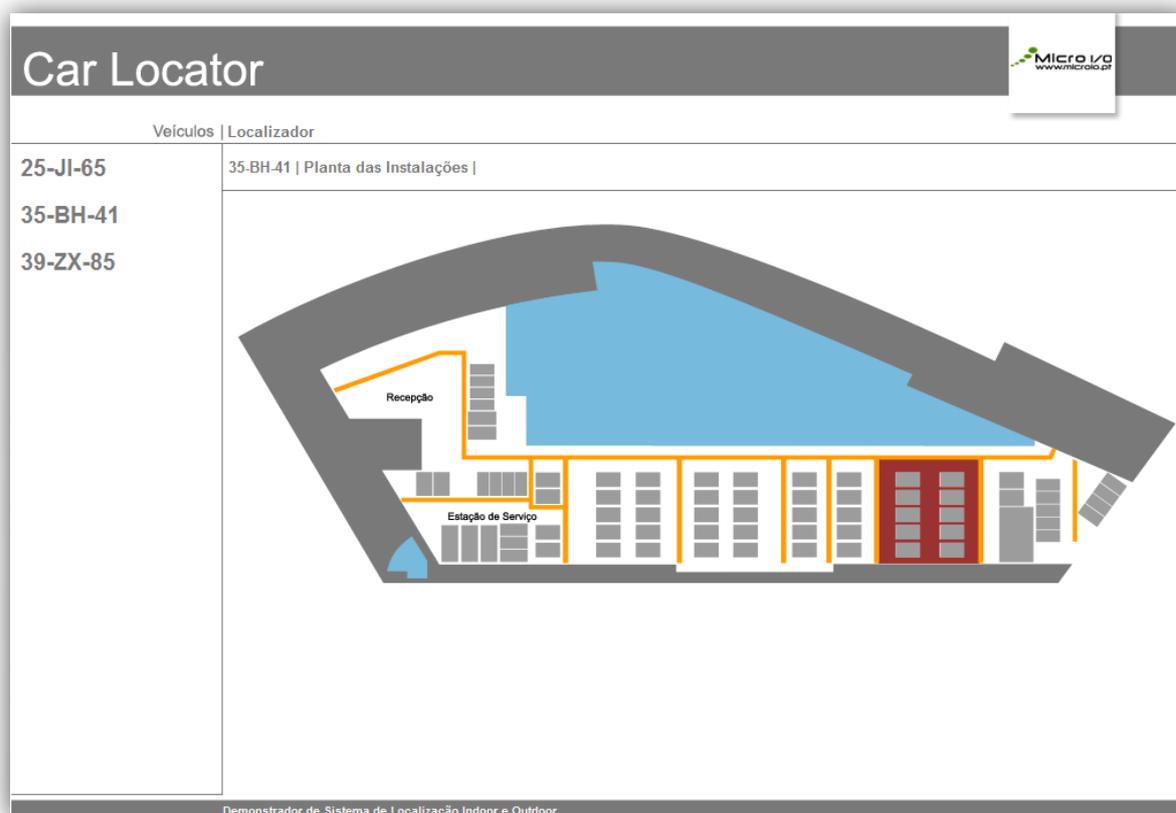


Imagem 5.5 – Página Web de exemplo da localização de um veículo fora da oficina

A imagem 5.5 representa a vermelho, uma possível representação de um veículo com a matrícula 35-BH-41 como estando nessa zona ou compartimento da oficina.

Ambas as ilustrações representam uma possível parte da interface da aplicação do rececionista, uma vez que a página possui informação de várias matrículas, ou seja vários veículos, podendo o rececionista, se solicitado, rapidamente informar o cliente da localização do respectivo.

A página Web para o cliente, apenas teria a informação relativa ao seu veículo, e não a todos os que se encontram na oficina.

### 5.4. Ensaios e resultados relativos ao GPS e A-GPS

Fizeram-se uma série de medidas no que diz respeito ao GPS e a à maneira como o A-GPS influencia o tempo de *fix* e o erro de precisão das coordenadas associado a esse mesmo *fix*.

O método utilizado para fazer os ensaios foi o seguinte:

Ligando-se o dispositivo em *Cold Start*, *Warm Start* ou *Hot Start*, mediu-se o tempo que ele demorava a fazer o *fix time*, ou seja a receber as coordenadas de latitude e longitude e registaram-se essas mesmas coordenadas para esse instante e para passados 30s, 60s e 90s. Posteriormente, inserindo as coordenadas no *Google Maps*, verificou-se qual o erro em metros, relativamente ao ponto onde a OBU efectivamente se encontrava.

Para cada uma das cinco OBUs fizeram-se três ensaios.

A coluna OBU representa a sua identificação, o *fix time* corresponde ao tempo em segundos que a OBU demora a receber as coordenadas de latitude e longitude, e as restantes colunas correspondem aos erros de precisão, em metros, associados a esse mesmo *fix time*.

Em *Cold Start*, ou seja, caso o GPS não conheça a hora actual e a última posição da OBU obtiveram-se os seguintes valores:

OBU	<i>Fix Time</i> (s)	Erro aos 0s (m)	Erro aos 30s (m)	Erro aos 60s (m)	Erro aos 90s (m)
1	49	1000	500	200	20
1	33	500	200	100	20
1	101	200	100	20	20
2	120	1000	500	200	20
2	111	200	100	20	20
2	68	100	100	20	20
3	53	1000	500	100	20
3	62	500	300	100	20
3	50	300	100	20	20
4	124	100	100	20	20
4	95	500	200	100	20
4	154	500	100	20	20
5	41	200	200	100	20
5	55	300	100	20	20
5	88	400	200	100	20

Tabela 5.7 – *Fix* e erros associados à inicialização em *Cold Start*

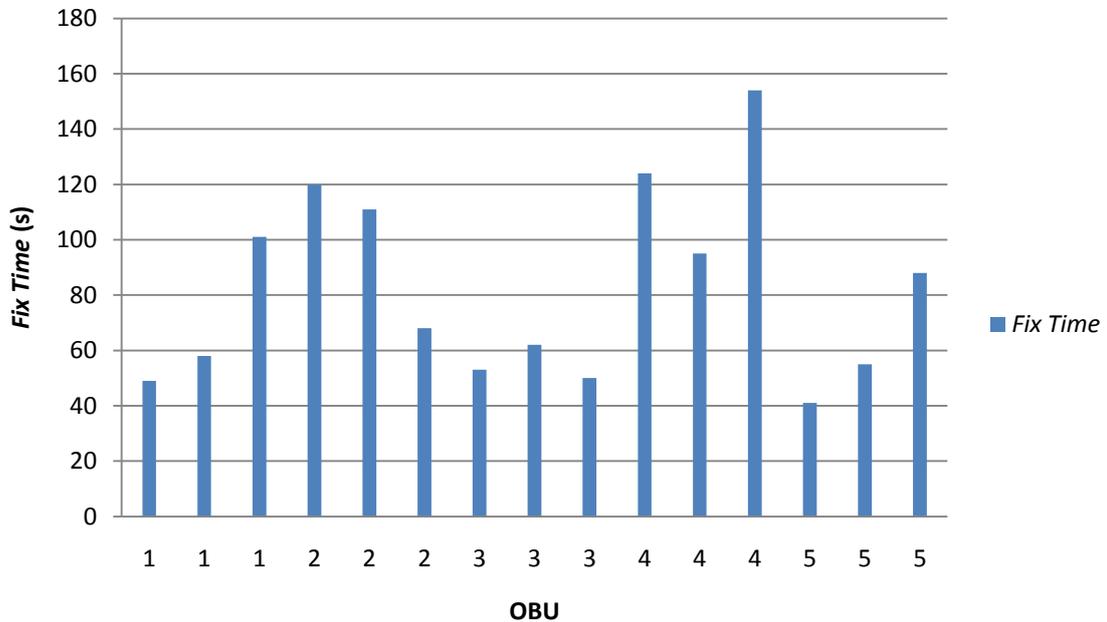


Gráfico 5.1 – *Fix Time* em *Cold Start*

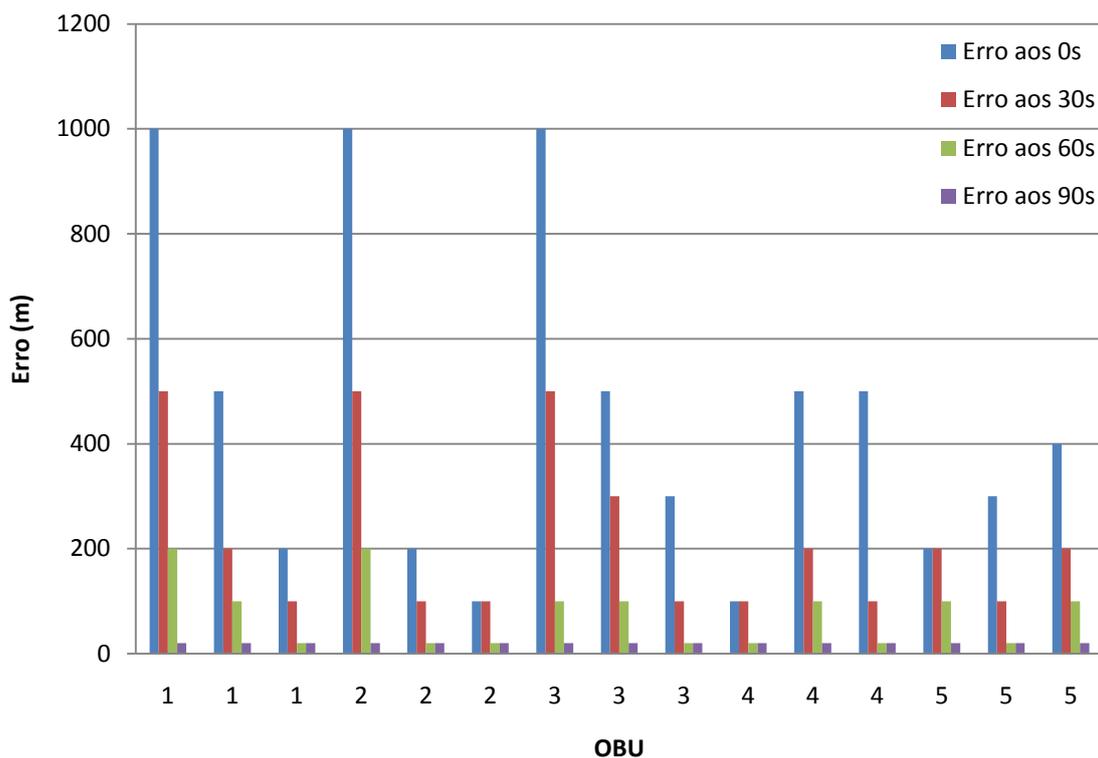


Gráfico 5.2 – Erros associados ao *fix* em *Cold Start*

Neste caso, o *fix* é bastante demorado e o erro associado a este *fix* é bastante grande durante pelo menos 60 segundos. Só ao fim de 90 segundos se tem uma boa precisão.

Em *Warm Start*, ou seja, caso se conheça a hora actual e a última posição da OBU, mas não haja dados efemérides recentes obtiveram-se os seguintes valores:

OBU	<i>Fix Time</i> (s)	Erro aos 0s	Erro aos 30s
1	92	50	20
1	78	20	20
1	87	50	20
2	56	50	20
2	47	20	20
2	48	50	20
3	66	20	20
3	40	20	20
3	94	50	20
4	35	20	20
4	51	20	20
4	85	50	20
5	81	50	20
5	47	50	20
5	93	20	20

Tabela 5.8 – *Fix* e erros associados à inicialização em *Warm Start*

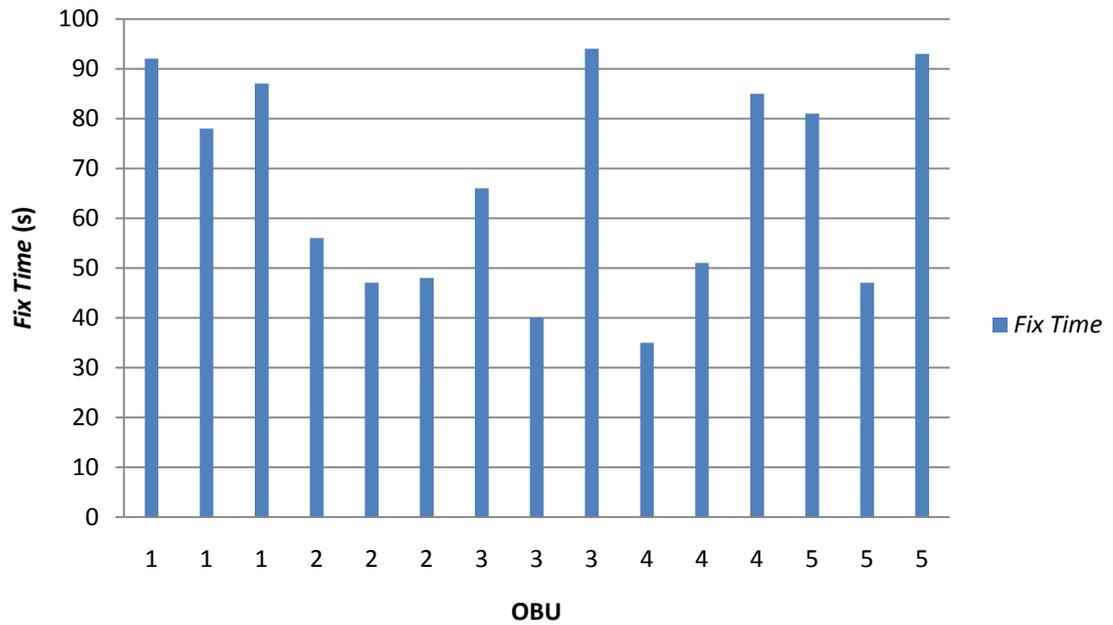


Gráfico 5.3 – Fix Time em Warm Start

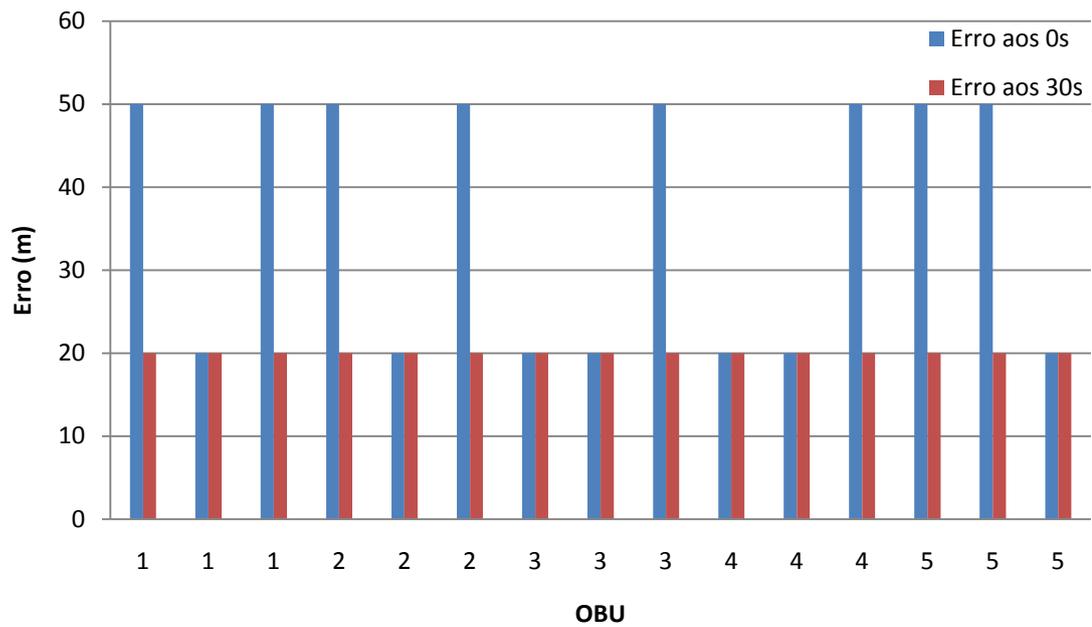


Gráfico 5.4 – Erros associados ao fix em Warm Start

Neste caso, o *fix* é igualmente um pouco demorado embora não tanto como em *Cold Start*. A diferença mais significativa que se verifica, é em termos de precisão. O erro aos 0 segundos é de cerca de 50 metros e aos 30 segundos é de cerca de 20 metros.

Em *Hot Start*, ou seja, caso se conheça a hora actual, a última posição da OBU e haja dados efemérides recentes obtiveram-se os seguintes valores:

OBU	Fix Time (s)	Erro aos 0s
1	18	20
1	10	20
1	10	20
2	20	20
2	16	20
2	12	20
3	13	20
3	9	20
3	7	20
4	9	20
4	12	20
4	18	20
5	11	20
5	11	20
5	12	20

Tabela 5.9 – Fix e erros associados à inicialização em *Hot Start*

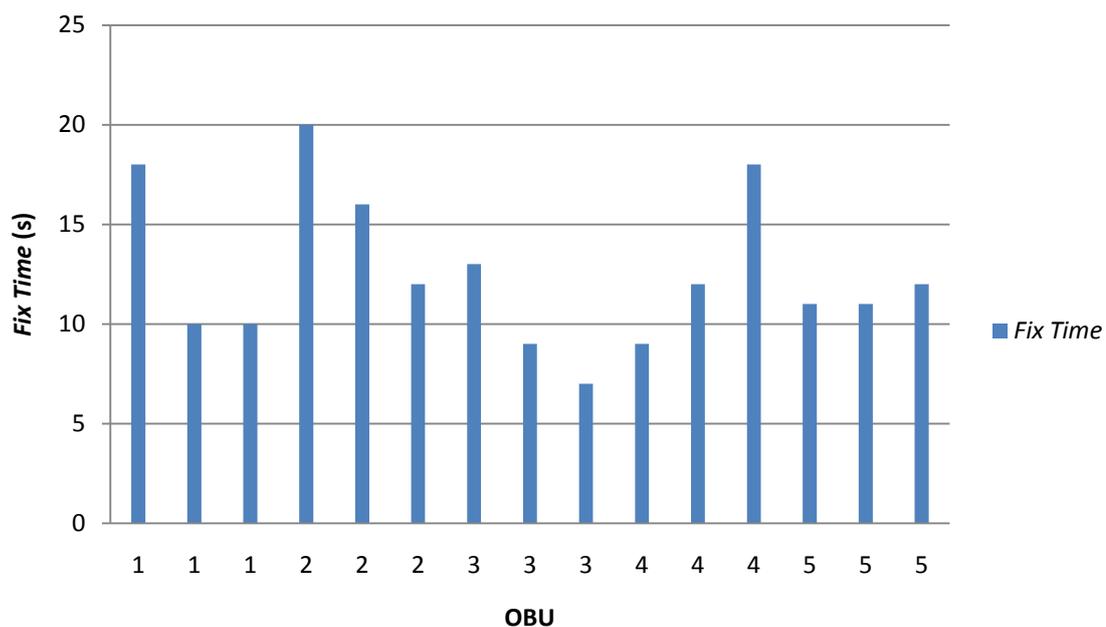
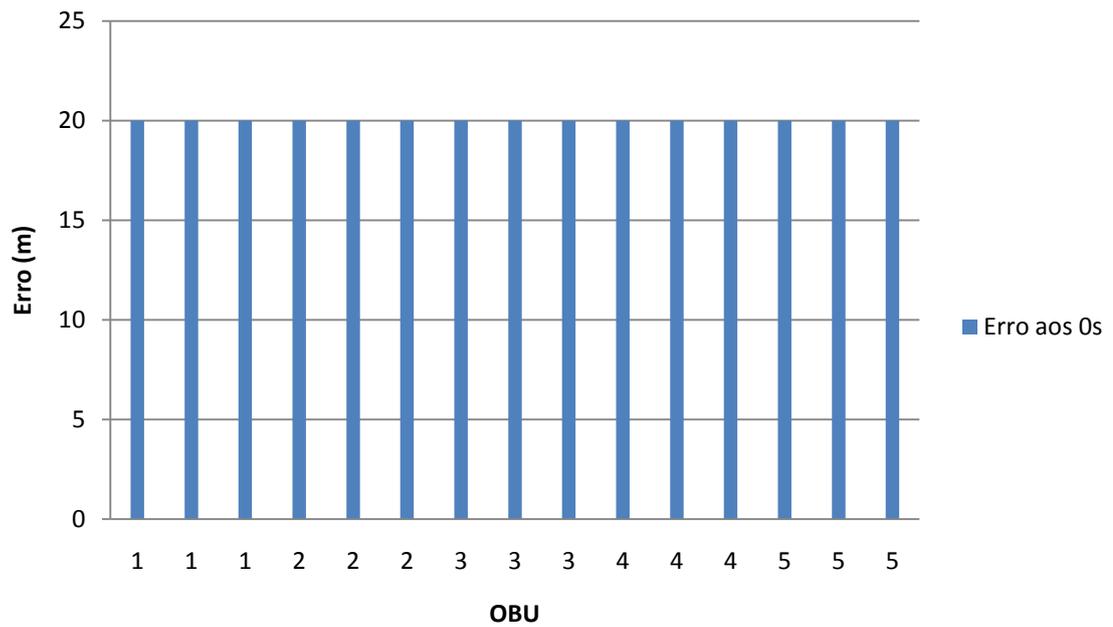


Gráfico 5.5 – Fix Time em *Hot Start*

Gráfico 5.6 – Erros associados ao *fix* em *Hot Start*

Neste último caso o *fix* é bastante rápido e o erro associado é muito pequeno.

O A-GPS corresponde ao modo *Hot Start*, e pode concluir-se que influência de maneira positiva o processo de localização. Neste modo, e no pior dos casos, o *fix time* demora 20s, o que para o sistema de localização *outdoor*, constitui uma grande vantagem relativamente a todos os outros modos. É portanto imperativo que se use este modo.

## 6. Conclusão e trabalhos futuros

Tal como referido no capítulo 1 a localização de pessoas e objectos é um tema que tem suscitado grande interesse actualmente. Hoje em dia os sistemas de localização têm as mais variadas aplicações, tais como, a localização de veículos, frotas, itens hospitalares, pessoas, o controlo de *stocks* de mercadorias, controlo estatístico de preferência dos clientes, entre muitos outros. O sistema de localização proposto neste documento é destinado a utilização no âmbito de uma oficina automóvel, mais precisamente, na localização de veículos dentro e fora da oficina.

No trabalho que foi apresentado fez-se, no capítulo 2, um estudo e revisão do estado da arte sobre localização, tendo-se aprofundado os sistemas baseados em RSSI sobre IEEE802.15.4 já que esta tecnologia nos pareceu adequada para a aplicação em causa.

No âmbito do projecto DRIVE-IN foi especificado, desenvolvido e ensaiado um protótipo de OBU que cumpre os requisitos para a aplicação em causa. Este protótipo, associado a uma simples aplicação Web demonstrativa permitiu-nos fazer a prova de conceito. Para garantir o cumprimento das especificações a nível de posicionamento e de consumos energéticos foram efectuados vários testes e ensaios relativos à parte *outdoor* com este mesmo protótipo. Este trabalho foi reportado nos capítulos 4 e 5 desta dissertação.

A aplicação em causa implicava soluções para a localização *indoor* orientada ao compartimento ou a “grandes” áreas. Optou-se por conceber um sistema baseado na medida da RSSI (“força” do sinal RF) das emissões de sub-sistemas móveis por parte de estações fixas. Uma conceptualização com formalização do sistema proposto está efectuada no capítulo 3. Os estudos permitem verificar que será possível desenvolver um sistema simples e funcional para a aplicação desejada. A utilização de uma unidade localizada à saída das instalações permite distinguir a localização do móvel dentro ou fora e, a partir daí, ligar o sistema de localização *outdoor* apenas quando o móvel sai das instalações. Isto é importante já que a utilização de GPS/GPRS implica significativos consumos energéticos na unidade.

Como é habitual, existem muitos trabalhos que terão de ser desenvolvidos na sequência dos realizados no âmbito desta dissertação. Como mais significativos, temos:

- Conclusão do sistema de localização *indoor*.
- Ensaios de desempenho do mesmo, incluindo validação do protocolo, dos consumos energéticos, do funcionamento na presença de um número significativo de unidades.
- Avaliação das interfaces homem-máquina do sistema.
- Interligação dos sistemas *indoor/outdoor* e validação da solução proposta para comutação entre ambos.

## 7. Referência bibliográfica

- [1] **Urruela, A.; Pags-Zamora, A. and Riba, J.**; “*Divide-and-Conquer based closed form Position Estimating for AOA and TDOA Measurements*”, ICASSP 2006, IEEE Proceedings on; Volume IV, May 2006, pp.: 921-924.
- [2] **Paolo Barsocchi, Stefano Lenzi, Stefano Chessa, Gaetano Giunta**; “*Virtual Calibration for RSSI-based Indoor Localization with IEEE 802.15.4*”, 2009
- [3] **Carlos E. Morimoto**; “*Uma introdução ao GPS*”, <http://www.guiadohardware.net/artigos/gps/> 2009.
- [4] <http://fisicaquimica11gps.blogspot.com/>, visualizado em Abril 2010.
- [5] **Ludimar Barreto Ximbo Guenda**; “*Controlo de Sistemas M2M e Interface com Google Earth*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2009.
- [6] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Servi%C3%A7o\\_de\\_R%C3%A1dio\\_de\\_Pacote\\_Geral](http://pt.wikipedia.org/wiki/Servi%C3%A7o_de_R%C3%A1dio_de_Pacote_Geral), visualizado em Abril 2010
- [7] **R. Want, A. Hopper, V. Falção and J. Gibbons**; “*The active badge location system*” Cambridge England 1992
- [8] **A. Ward, A. Jones, and A. Hopper**; “*A new location technique for the active office*”, Personal Communications 1997
- [9] **P. Bahl and VN Padmanabhan**; “*Radar: an in-building rf-based user location and tracking system*” Tel Aviv, Israel 2000
- [10] Ubisense, <http://www.ubisense.net/> visualizado em Abril 2010
- [11] **Tadakamadla, S.**; “*Indoor Local Positioning System For ZigBee, Based On RSSI*”, M.Sc. Thesis report within Electrical Engineering D, Electronics Design Programme, ITM Mid Sweden University; Oct. 2006.
- [12] **José Eduardo Gomes Oliveira**; “*Correcção de interferência electromagnética em sistemas de localização*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2008
- [13] “*XT65/XT75 Hardware Interface Description*”, versão 01.001, 2007-1-8
- [14] [http://www.oficinadanet.com.br/artigo/1185/o\\_que\\_e\\_a-gps](http://www.oficinadanet.com.br/artigo/1185/o_que_e_a-gps), visualizado em Abril 2010
- [15] **Linnarsson, F.; Cheng, P. and Oelmann, B.**; “*SENTIO: A Hardware Platform for Rapid Prototyping of Wireless Sensor Networks*”, Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd IEEE Annual Conference on, Nov. 2006, pp.: 3002-3006.
- [16] Chipcon *Products from Texas Instruments*, CC2430DK Development Kit User Manual, [Online], Available (June 2008): <http://focus.ti.com/lit/ug/swru133/swru133.pdf>
- [17] **Oliveira, J.; Bartolomeu, P.; Fonseca, J.; Costa, L.**; “*Evaluating Severe Noise Interference in IEEE 802.15.4 based Location Systems*”, Proceedings 13 th IEEE International

Conference on - Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'2008), , Hamburg, Germany, Sept. 2008.

[18] **A. Monteiro**; “*Projecto LOPES – Máquina de Localização*”, Relatório Final (IT-Aveiro), Março'08.

[19] “*Fast Artificial Neural Network Library*”. [Online], Available: <http://leenissen.dk/fann/>

[20] **Rui F. Matos**; “*Sistema de tracking de veículos para projecto DRIVE-IN: Relatório técnico*”, Micro I/O 2010

[21] **Luís Pedro Marques Brás**; “*Desenvolvimento de sistema de localização Indoor de baixo consumo*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro 2009