Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Departamento de Engenharias

Sistema de localização híbrido para apoio à navegação de cegos no Campus da UTAD

Dissertação de Mestrado em Informática

Vítor Manuel Marinho Teixeira

Vila Real, 2010

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Departamento de Engenharias

Sistema de localização híbrido para apoio à navegação de cegos no Campus da UTAD

Dissertação de Mestrado em Informática
de
Vítor Manuel Marinho Teixeira

Dissertação submetida por Vítor Manuel Marinho Teixeira à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para obtenção do grau de Mestre em Informática, sob a orientação do Professor Doutor Paulo Nogueira Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, e sob a co-orientação do Professor Doutor Hugo Paredes, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Parte deste trabalho foi suportado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através do projecto SmartVision PTDC/EIA/73633/2006.

Vila Real, 2010

Agradecimentos

A execução deste trabalho não teria sido possivel sem a ajuda e o apoio constante de algumas pessoas. Ao longo desta jornada recebi o contributo directo e inderecto de diversas pessoas, incentivando-me para conseguir ultrapassar diversas dificuldades que foram surgindo e auxiliando-me no caminho a seguir.

Agradeço ao meus orientadores, professor Paulo Martins e professor Hugo Paredes, por todas as oportunidades criadas, pela disponibilidade, partilha de conhecimento e pelos sábios conselhos, que para além de terem sido muito uteis durante a execução desde trabalho, serão ainda mais no meu futuro profissional.

A todos os docentes e colaboradores da Universidade com quem tive oportunidade de trabalhar e que me ajudaram ao longo dos anos.

Agradeço a colaboração do Hugo Fernandes, não só pela paciência que teve mas também por todo o apoio e sugestões que foi dando ao longo de toda a Dissertação.

A todos os meus colegas da Universidade com quem partilhei bons momentos e cirei grandes amizades ao longo da minha vida académica.

Aos meus pais e irmãos que sempre me apioaram incondicionalmente e me forneceram todas as oportunidades para continuar a minha progressão académica e profissional.

Um agradecimento especial à Ana Carvalho, que com a sua paciência e carinho me levou a dar o melhor durante a dissertação.

Resumo

A orientação e a mobilidade de pessoas cegas em ambientes conhecidos ou desconhecidos são extremamente difíceis, sendo por vezes até perigosas. Com a massificação da utilização da tecnologia na vida quotidiana, os sistemas de navegação e orientação para utilizadores cegos tornaram-se uma realidade. No entanto, alguns problemas ainda permanecem nestes sistemas, nomeadamente a sua abrangência geográfica, a dependência de uma única tecnologia de localização e a versatilidade de utilização em diversos tipos de ambientes.

O SmartVision é um sistema de navegação e orientação para cegos que está a ser desenvolvido no campus da UTAD, apresentando algumas soluções inovadoras para alguns dos actuais problemas deste tipo de sistemas. Foi idealizado para funcionar em ambientes interiores e exteriores, recorrendo a diversas tecnologias de apoio. De entre estas tecnologias, destaca-se a localização híbrida que permitem aferir a posição do utilizador em interiores e exteriores de edificios de modo redundante, assegurando a localização em qualquer instante.

Este trabalho tem como objectivo apresentar o sistema de localização do SmartVision, desenvolvido de acordo com os principais requisitos de sistemas considerados de referência e de acordo com as limitações e potencialidade de diversas tecnologias de localização, elementos essenciais à obtenção de *know-how* nesta área. Durante esta exposição, será apresentado um conjunto de técnicas e tecnologias de localização e de que forma foram aplicadas em alguns sistemas de localização de referência. Posteriormente, é apresentada a arquitectura do SmartVision, evidenciando a importância do sistema de localização desenvolvido, bem como a sua aplicabilidade, recorrendo à apresentação de um conjunto de testes.

Abstract

The orientation and mobility of blind persons in known and unknown environments is extremely difficult, sometimes dangerous. With the expansion of the use of technology in everyday life, the guidance and navigation systems for blind users have become a reality. However, some problems still remain in these systems, including its geographic coverage, the dependence on a single location technology and versatility of it use in various types of environments.

The SmartVision is a guidance and navigation system that is being developed on the UTAD Campus, presenting some innovative solutions to some current problems of such systems. It is designed to work in indoor and outdoor environments using various technologies. Among these technologies, stands the hybrid location system that captures the user's location in both, indoor and outdoor, redundantly, ensuring the location at any instant.

This work main goal is to present the SmartVision location system, developed according to the main requirements of reference systems and taking in consideration the limitations and potential of multiple location technologies, essential elements to obtain know-how in this area. This document presents a set of techniques and location technologies and how they are applied in some reference location systems. Subsequently, we present the architecture of SmartVision, highlighting the importance of the location system and its applicability, referring to of a set of tests.

Índice

1 Introdução 1
1.1. Motivação 2
1.2. Objectivos 2
1.3. Estrutura da dissertação 3
2 Técnicas e tecnologias de localização 5
2.1. Introdução 5
2.2. Técnicas de localização 7
2.2.1. Triangulação 8
2.2.2. Proximidade 10
2.2.3. Análise de padrões 12
2.3. Tecnologias de localização 13
2.3.1. GPS 14
2.3.2. Redes celulares 16
2.3.3. RFID 18
2.3.4. Redes móveis / Wi-Fi 20
2.4. Considerações finais 22
3 Sistemas de localização 25
3.1. Introdução 25
3.2. Características dos sistemas de localização 27
3.3. Revisão dos sistemas de localização 29
3.3.1. Projecto RADAR 29
3.3.2. Projecto Landmarc 30
3.3.3. Projecto do Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School 32
3.3.4. Projecto SpotOn 33
3.3.5. Projecto Cricket 34
3.3.6. Projecto Active Badge 35
3.3.7. Projecto Ekahau 37
3.3.8. Projecto WiGuide 37
3.4. Considerações finais 38
4 SmartVision 41
4.1. Introdução 41
4.2. Arquitectura física 42

4.3. Arquitectura lógica 46
4.3.1. Áudio 47
4.3.2. Navegação 48
4.3.3. GIS 49
4.3.4. Visão 50
4.3.5. Localização 51
4.4. Considerações finais 52
5 Sistema de localização 55
5.1. Introdução 55
5.2. Especificação do sistema de localização 56
5.2.1. Tecnologia *indoor* 58
5.2.2. Tecnologia *outdoor* 59
5.3. Implementação do sistema de localização 60
5.3.1. Sub-módulo GPS 61
5.3.2. Sub-módulo Wi-Fi 65
5.4. Considerações finais 69
6 Testes e resultados 71
6.1. Introdução 71
6.2. Testes *indoor* 72
6.2.1. Comportamento das ondas Wi-Fi 73
6.2.2. Processo de localização 73
6.3. Testes *outdoor* 74
6.4. Considerações finais 77
7 Conclusão 79
7.1. Objectivos Alcançados 79
7.2. Trabalho futuro 80
Bibliografia 83

Índice de figuras

Figura 1 – Técnicas de localização, adaptado de (Borriello J. H., 2001) 8

Figura 2 – Triangulação de sinal de pontos de referência (PR1, PR2 e PR3), adaptado de (Borriello J. H., 2001) 9

Figura 3 - Triangulação 3D com três pontos de referência 9

Figura 4 – Angulação, adaptado de (Borriello J. H., 2001) 10

Figura 5 - Sistemas de localização por contacto físico 11

Figura 6 - Latitude do planeta (Dilão, 2002) 15

Figura 7 - Longitude do planeta (Dilão, 2002) 16

Figura 8 - Representação de uma rede celular (Zhu, 2006) 17

Figura 9 - Padrão de utilização de sete frequências (Zhu, 2006) 17

Figura 10 - Marcador RFID passivo 19

Figura 11 - Exemplo leitor RFID activo 19

Figura 12 - Representação gráfica de uma onda Wi-Fi (Carvalho, 2007) 21

Figura 13 - Componentes dos Sistemas de Localização (Stefan Steiniger, 2004) 26

Figura 14 - Sub-regiões de leitores RFID 31

Figura 15 - Etapas para a localização propostas por HITSGS 32

Figura 16 - Dispositivo SpotOn 34

Figura 17 - Equipamento Active Badge 36

Figura 18 - Componentes do sistema SmartVision 43

Figura 19 - Computador HP Mini-Note utilizado para o projecto SmartVision 43

Figura 20 - Terminal GPS com *bluetooth* 44

Figura 21 – Bengala do sistema SmartVision 45

Figura 22 - Câmara *stereo* Bumblebee 2 para a visão por computador 45

Figura 23 – Comando para interacção com o SmartVision 46

Figura 24 - Arquitectura lógica do SmartVision 47

Figura 25 - Fluxo de mensagem do módulo de áudio 48

Figura 26 - Fluxo de mensagem do módulo de navegação 49

Figura 27 - Fluxo de mensagem do módulo de GIS 50

Figura 28 - Fluxo de mensagem do módulo de visão 51

Figura 29 - Fluxo de mensagem do módulo de localização 51

Figura 30 - Fluxo de mensagem do SmartVision 52

Figura 31 – Diagrama de blocos do sistema de localização 57
Figura 32 - Processo de conversão de coordenadas 58
Figura 33 - Componentes lógicos do sistema de localização 60
Figura 34 - Dados do terminal GPS 61
Figura 35 - Dados da frase GPRMC 62
Figura 36 - Processo de filtragem do módulo GPS 63
Figura 37 - Exemplo de aplicação do filtro de Kalman 64
Figura 38 - Diagrama de funcionamento do agente de aquisição de dados 65
Figura 39 - Informação disponibilizada pelo interface de rede sem fios 66
Figura 40 – Processo de triangulação de sinal 67
Figura 41 - Processo de conversão de coordenadas 69
Figura 42 – Ambiente de testes *indoor* 72
Figura 43 – Variação de sinal em dois momentos distintos (Carvalho, 2007) 73
Figura 44 – Variação do erro do processo de localização 74
Figura 45 – Variação do erro médio em relação ao erro real 74
Figura 46 – Ambiente de testes *outdoor* 75
Figura 47 - (A) Percurso sem filtro, (B) Percurso com filtro de Kalman 76
Figura 48 – Diferença entre o percurso real e o percurso obtido pelo equipamento GPS com e sem filtro 76

Índice de tabelas

Tabela 1 - Canais 802.11b especificados (InformIT, 2007) 21
Tabela 2 - Sumário dos sistemas de localização 39

Índice de equações

Equação 1 - Modelo de propagação 68
Equação 2 – Modelo para determinar a distância em metros de valores de latitude e longitude 68
Equação 3 – Algoritmo de triangulação 68
Equação 4 – Modelo para converter as coordenadas no plano cartesiano em coordenadas esféricas 69

1 Introdução

No seu quotidiano, um cego para se movimentar utiliza todos os sentidos que possui de forma a construir uma "imagem" do mundo que o rodeia. A sua orientação e mobilidade em diferentes ambientes são extremamente difíceis, podendo em algumas circunstâncias constituir perigo. Em ambientes conhecidos, o cego aprende a movimentar-se e a identificar obstáculos naturais que já conhece, conseguindo identificar pontos de referência que o situam num determinado meio. Por outro lado em ambientes desconhecidos, a mobilidade pode constituir um problema, dadas as novas condições físicas do meio.

Com o evoluir e a massificação na utilização da tecnologia na vida das pessoas, foram surgindo soluções que auxiliam o utilizador cego no seu dia-a-dia durante a sua mobilidade. No entanto, a informação de localização nos sistemas nem sempre está disponível, ou não existe, verificando-se uma dependência em relação à tecnologia utilizada e à versatilidade de utilização em ambientes distintos.

O sistema SmartVision tem em conta todas estas limitações, apresentando um conjunto de soluções inovadoras para alguns dos sistemas de navegação actuais. O SmartVision foi idealizado para funcionar tanto no interior como no exterior de edifícios, recorrendo a diversas tecnologias de apoio. Um componente importante numa solução de navegação é, naturalmente, o sistema de localização que utiliza.

No SmartVision, o sistema de localização é responsável pela aquisição e processamento de dados de diferentes fontes de informação, fornecendo a posição do utilizador independentemente da tecnologia utilizada ou das fontes de dados disponíveis no momento. Este módulo é assim responsável pelo processamento de informação de localização, assegurando de forma contínua e com menor número de falhas possível a localização do utilizador independente da sua posição, tanto no interior como no exterior de edifícios, sem dependência numa única fonte de informação ou tecnologia, de forma a transpor algumas barreiras dos sistemas de navegação e orientação actuais.

1.1. Motivação

Os sistemas de navegação são largamente aceites como ferramentas poderosas, de fácil utilização e que auxiliam os utilizadores a movimentarem-se em ambientes conhecidos e desconhecidos. Actualmente é possível encontrar sistemas de navegação em automóveis, em equipamentos dedicados e sobre a forma de aplicações de telemóvel, entre outros tipos de dispositivos móveis.

Num ambiente de mobilidade de pedestres, os requisitos dos sistemas de navegação são substancialmente diferentes e mais exigentes, uma vez que o utilizador não segue leis da estrada, e pode movimentar livremente no ambiente de mobilidade, existindo desta forma uma menor margem de erro na localização obtida. Quando as aplicações são transpostas para utilizadores com deficiências visuais, ou cegueira, o desafio é ainda maior, uma vez que uma instrução do sistema de navegação errada pode colocar o utilizador em perigo.

A informação de localização de um sistema de navegação para cegos constitui desta forma uma fonte de informação extremamente importante, assegurando que o utilizador se desloca dentro de um percurso seguro e que simultaneamente mantenha informação do ambiente que o rodeia e para onde se dirige.

1.2. Objectivos

Com este trabalho pretende-se desenvolver um módulo de localização híbrido, de suporte ao sistema de navegação para cegos SmartVision, que providencie informação de localização dependendo das fontes de informação disponíveis no momento de uma forma redundante, e do ambiente em que se insere o utilizador durante a mobilidade. O módulo a desenvolver deverá estar de acordo com as seguintes vertentes:

- Interligação com o sistema de navegação para cegos SmartVision;
- Criação dos algoritmos necessários à determinação da localização do utilizador no interior de edifícios recorrendo à infra-estrutura de redes sem fios;
- Criação dos mecanismos necessários para interligar com a tecnologia RFID utilizada na cana criada para a mobilidade do utilizador;
- Criação do algoritmo capaz de adquirir informação de um receptor GPS no exterior de edifícios;
- Obter um erro igual ou inferior a um metro no exterior de edifícios;
- Obter um erro igual ou inferior a quatro metros no interior de edifícios, sem recurso a tecnologias auxiliares.

O módulo a desenvolver é assim responsável pelo processamento de informação de localização, assegurando de forma contínua e com o menor número de falhas possível a localização do utilizador independente da sua posição, tanto no interior como no exterior de edifícios, sem dependência numa única fonte de informação ou tecnologia, de forma a transpor algumas barreiras dos sistemas de navegação e orientação actuais.

Aos objectivos do módulo a desenvolver supra mencionados fazem ainda parte:

- Compreender os conceitos inerentes à localização de utilizadores no interior e exterior de edifícios;
- Estudar as diferentes tecnologias de localização e de que forma podem ser utilizadas para a localização de utilizadores cegos.

A implementação do módulo de localização permitirá colocar em prática todo o estudo teórico das tecnologias de localização adquiridas ao longo do trabalho.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação, com este capítulo, é constituída por 7 capítulos onde, para além da introdução e da conclusão, é apresentado o estado da arte dos sistemas de localização, é introduzido o projecto e a arquitectura do SmartVision, sendo ainda apresentados o sistema de localização desenvolvido e os respectivos testes efectuados.

Neste primeiro capítulo foi introduzido o problema abordado ao longo do trabalho, definidos os objectivos a alcançar e apresentada a estrutura da dissertação

O segundo capítulo faz uma abordagem às técnicas e tecnologias de localização utilizadas para a criação de um sistema de localização. Neste capítulo são apresentadas um conjunto de técnicas de localização genéricas que podem ser aplicadas a um conjunto de tecnologias, podendo estas ser ou não desenvolvidas especificamente para oferecer serviços de localização.

No terceiro capítulo é descrito e avaliado um conjunto de sistemas de localização considerados de referência na área. Neste capítulo é também apresentado um conjunto importante de características comuns a diversos tipos de sistemas de localização.

No quarto capítulo é apresentada a arquitectura lógica e física do sistema SmartVision, expondo os diversos componentes que a constituem e de que forma esses componentes comunicam, evidenciando a importância do sistema de localização no contexto geral da aplicação.

O quinto capítulo apresenta o sistema de localização desenvolvido para o SmartVision, especificando os diferentes sub-módulos desenvolvidos, bem como o seu processo de implementação e integração no sistema SmartVision.

O sexto capítulo expõe os resultados práticos do sistema de localização desenvolvido, demonstrando os resultados obtidos no processo de localização *indoor* e *outdoor*, evidenciando ainda a importância do sistema de localização numa aplicação de navegação para cegos.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões da dissertação, sendo realçados os objectivos alcançados. E por fim, são também apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros, nomeadamente a integração de novos módulos no sistema SmartVision.

2 Técnicas e tecnologias de localização

A localização de utilizadores denota especificidades e conceitos importantes de compreender. Para se proceder à localização, são utilizadas um conjunto de técnicas que tiram partido das características das tecnologias em uso, estando a sua utilização dependente do ambiente em que o utilizador se encontra e tipo de tecnologia utilizada a cada momento. A tecnologia a utilizar também afecta a qualidade da localização obtida e a complexidade necessária à sua determinação. Este capítulo apresenta as principais técnicas e tecnologias de localização utilizadas para determinar a posição de utilizadores em diversos tipos de ambientes.

2.1. Introdução

O conceito base inerente às tecnologias e técnicas que serão apresentadas é o conceito de localização. A localização é um termo usado em geografia e áreas afins para designar a posição de algo num determinado espaço físico (Location definition, 2000). Por exemplo, sobre a Terra usam-se mapas e coordenadas geográficas ou coordenadas cartográficas para determinar a localização absoluta de ruas, prédios, bairros, cidades, entre outros. As coordenadas geográficas permitem a localização num determinado ponto do globo terrestre em relação à linha do equador ou ao meridiano de Greenwich; e a localização cartográfica permite localizar um ponto num plano designado plano cartográfico, após a escolha de uma projecção cartográfica (Mendonça, 2010). A forma de obter a localização do utilizador vai depender do ambiente em que se encontra e das tecnologias utilizadas.

A localização corresponde a um elemento transversal a todo o processo de localização, tendo sido necessário implementar um dos sistemas de coordenadas aceites e reconhecidos internacionalmente, o *Worldwide Geodic System* (WGS84), que representa um sistema de referência terrestre convencional tridimensional (World Geodetic System , 2010). O WGS84 é representado por 3 eixos: latitude, longitude e altitude. A latitude e longitude serão definidas na

descrição da tecnologia GPS. A altitude indica a distância em metros à geoide[1] considerada pelo sistema de coordenadas. A geoide varia de acordo com o tipo de sistema de coordenadas usado e actualmente já existem modelos que se aproximam muito mais da realidade do que a geoide utilizada no WGS84. Uma vez que os marcadores RFID e os pontos de acesso do Campus Universitário foram georreferenciados com um equipamentos GPS, o sistema de coordenadas a usar é o WSG84.

A necessidade de compreender como a localização de dispositivos móveis é realizada em diversos ambientes de mobilidade, tornou imprescindível a realização de um estudo de algumas técnicas e tecnologias de localização. O processo para determinar a localização do dispositivo móvel é definido de acordo com o ambiente em que se encontra no momento, no interior ou exterior de edifícios, e que tipo de tecnologias tem ao seu dispor. As principais tecnologias utilizadas para a localização de dispositivos móveis, bem como as técnicas de localização que tiram partido das características das diferentes tecnologias, constituem o foco principal do presente capítulo.

Relativamente aos ambientes de mobilidade podem ser divididos em duas áreas: *outdoor*, representando o exterior de edifícios, e *indoor*, representando áreas de mobilidade no interior de edifícios. A complexidade de obtenção da localização no interior de edifícios é substancialmente mais elevada dada a não existência de equipamento dedicado, como acontece com a localização no exterior.

Para a localização no exterior de edifícios, a tecnologia utilizada recai sobretudo na utilização do sistema GPS, existindo no entanto outros sistemas com um funcionamento semelhante. O GPS possui uma grande maturidade no mercado, sendo possível encontrar sistemas de navegação para veículos e mesmo pedrestes. No exterior de edifícios podem ainda ser identificados dois subtipos de ambientes: rurais e urbanos. Em ambientes urbanos, o erro associado à localização do utilizador será mais elevado devidos às perdas de sinal provocadas pela densidade de obstáculos que o sinal tem que atravessar, por outro lado, em ambientes rurais não existem tantas interferências, sendo possível obter a posição com uma maior precisão.

No interior de edifícios, devido às características de propagação de sinal associadas ao sistema, não é possível a utilização do GPS, tendo surgido diversas alternativas para determinar a localização de utilizadores. As redes sem fios constituem uma das alternativas encontradas, potenciando o crescimento e evolução de sistema semelhantes. A sua utilização deveu-se essencialmente aos custos relacionados com a infra-estrutura física e tecnológica, não sendo necessário o investimento em equipamento dedicado à localização de dispositivos. As redes sem fios oferecem também uma maior fiabilidade e facilidade de implementação quando comparado com outras tecnologias.

A localização no interior de edifícios é actualmente utilizada para diversas funcionalidades e aplicações, no entanto, à medida que a necessidade neste tipo de soluções aumenta, a falta de acuidade na localização mantém-se. Muitos dos sistemas de localização para interiores de edifícios já desenvolvidos apresentam grandes erros de localização devido às características de propagação de sinal das redes sem fios.

[1] O geóide é um modelo físico da forma da Terra.

As secções seguintes apresentam as principais técnicas e tecnologias utilizadas para a criação de sistemas de localização. É primeiramente apresentado um conjunto de técnicas genéricas que podem ser aplicadas a diversos tipos de tecnologias, sendo posteriormente, apresentadas as tecnologias mais utilizadas para a localização de utilizadores, onde são evidenciandas as técnicas de localização que utilizam.

2.2. Técnicas de localização

As técnicas de localização podem ser definidas como os métodos utilizados pelas tecnologias de localização para determinar a posição de equipamentos. Existem diversos métodos para determinar a posição física de um utilizador ou objecto, no entanto, não existe uma única técnica que possa ser utilizada em todo o tipo de ambientes, com um grau de precisão desejável. As diferentes tecnologias utilizam diferentes meios para determinar a posição de pessoas ou objectos, sendo que determinado conjunto de técnicas é apenas utilizável em determinadas situações e nem todas as técnicas possuem os mesmos valores de cálculos. De um modo geral, é possível, e por vezes necessária, a utilização de uma multiplicidade de técnicas para assegurar a localização do utilizador com um grau de precisão desejado.

As técnicas de localização dependem primeiramente do ambiente em que o utilizador se encontra: no interior ou exterior de edifícios. Desta forma, torna-se relevante avaliar diversas técnicas de localização que podem ser utilizadas para determinar com a melhor precisão possível a posição do utilizador (Kao, 2005).

No exterior de edifícios, a localização do utilizador recai sobretudo pela utilização do sistema GPS, que fornece uma coordenada geográfica referente à sua localização. Por outro lado, no interior de edifícios existem diversas abordagens e técnicas que podem ser utilizadas para determinar a localização do utilizador.

Por seu lado, em (Hongpeng Wang, 2007) e (Jaime Lloret, 2009) são referenciados dois métodos para a criação de sistemas de localização no interior de edifícios baseados nas redes de comunicação sem fios: modelo de propagação de sinal, representando os métodos dedutivos, e modelo de *fingerprint*, representando os métodos indutivos. Estes dois tipos de modelos são baseados nas perdas da potência de sinal que ocorrem à medida que a distância ao transmissor ou ponto de acesso aumenta. O modelo de propagação é simples de implementar e consiste em encontrar uma relação matemática entre a potência de sinal recebida por um equipamento móvel e a distância a que se encontra do ponto de acesso. Um dos requisitos deste método é o conhecimento das coordenadas dos pontos de acesso ao alcance do equipamento móvel. Sabendo a distância a três pontos de acesso distintos, é possível utilizar um algoritmo de triangulação para determinar a posição do utilizador.

O segundo modelo referenciado possui uma maior acuidade. O método de *fingerprint* é dividido em duas fases: fase de treino e fase de posição. Durante a fase de treino é construída uma base de dados que contém a relação coordenada / potência de sinal, onde a coordenada representa a posição do dispositivo móvel e a potência de sinal é recebida de diferentes pontos de acesso que se encontram ao alcance do equipamento móvel. Na fase de posição, a coordenada do dispositivo móvel pode ser determinada comparando as potências de sinal recebidas no momento que se pretende localizar o dispositivo, com os valores de referência obtidos na fase de treino. Apesar de possuir uma maior acuidade em relação ao método de

propagação de sinal, possui a desvantagem de ser necessário realizar a fase de treino sempre que existe uma alteração no ambiente físico ou na topologia de rede.

A posição do utilizador pode desta forma ser determinada recorrendo a diferentes técnicas ou métodos de localização, verificando-se que a determinação da posição pode ser obtida através de métodos dedutivos, através de modelos de propagação de sinal, e indutivos, com utilização de técnicas como *fingerprint*. Borriello (2001) apresenta um modelo genérico das técnicas de localização que enquadram todas as técnicas referenciadas. Segundo o autor, existem essencialmente três metodologias de localização no interior de edifícios, sendo a sua estrutura apresentada na Figura 1:

- Triangulação;
- Proximidade;
- Análise de padrões.

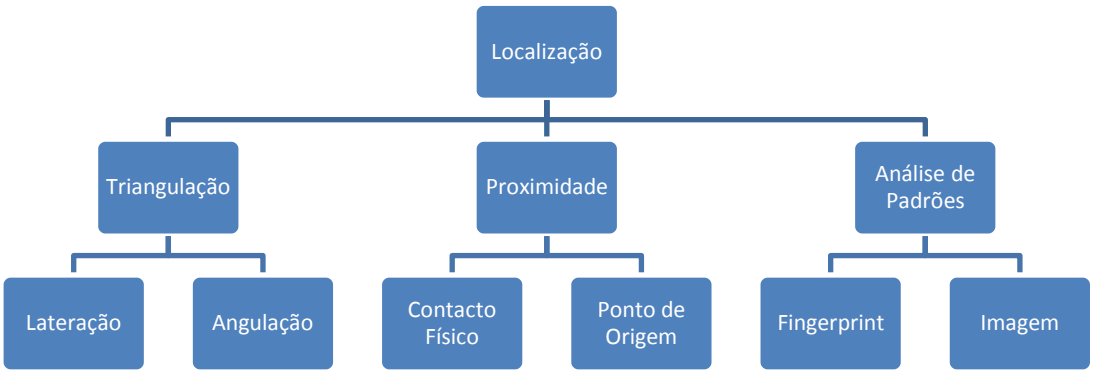


Figura 1 – Técnicas de localização, adaptado de (Borriello J. H., 2001)

2.2.1. Triangulação

A triangulação consiste em utilizar as propriedades geométricas dos triângulos para determinar a localização de um objecto. Pode ser divido em dois grupos: lateração, que utiliza distâncias, e angulação, em que são utilizados ângulos.

O princípio da lateração é bastante intuitivo: são necessários três pontos de referência, transmissores de sinal, cuja localização deve ser conhecida. Se a distância (d) entre o ponto de referência e o utilizador pode ser medida, é possível desenhar um círculo com raio (r). Depois repetem-se os mesmos passos para mais dois pontos de referência, a área onde as circunferências se interceptam representa a posição do utilizador. No entanto, os valores obtidos dos pontos de referência geralmente correspondem à potência de sinal emitida pelos mesmos e não à distância ao equipamento, sendo necessário converter a potência de sinal (Binghao Li J. S., 2006). Em duas dimensões é necessária a distância a três pontos de referência com coordenadas conhecidas, Figura 2.

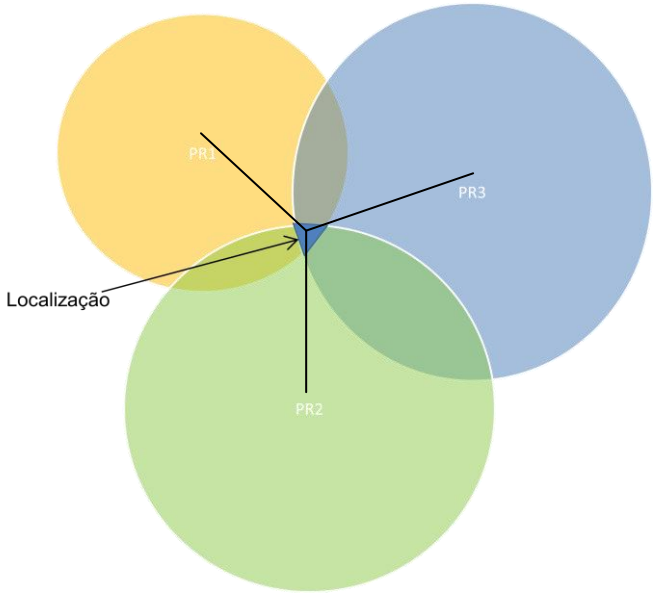


Figura 2 – Triangulação de sinal de pontos de referência (PR1, PR2 e PR3), adaptado de (Borriello J. H., 2001)

Em três dimensões são necessários quatro pontos de referência para determinar a posição do utilizador ou objecto, sendo introduzida uma nova dimensão, a altura. O processo de localização em três dimensões não é muito diferente do processo utilizado para duas, sendo apenas para três dimensões consideradas esferas, em vez de círculos. Na Figura 3 a) verifica-se que a sobreposição de duas esferas, referentes a dois pontos de acesso, cria uma zona possível onde o utilizador se encontra. Na Figura 3 b), o terceiro ponto de referência elimina o erro existente na zona de sobreposição dos pontos de referência anteriores, determinando desta forma duas posições possíveis do utilizador.

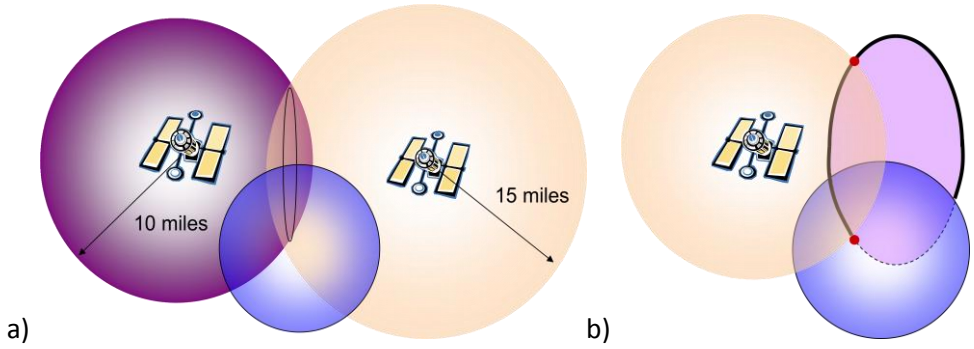


Figura 3 - Triangulação 3D com três pontos de referência

A grande dificuldade existente no algoritmo de triangulação é a obtenção da distância entre o ponto de referência e o equipamento do utilizador a partir da potência de sinal recebida. A propagação do sinal emitido pelos pontos de referência no interior de edifícios sofre diversas perdas: devido à distância que tem percorrer, obstáculos, interferências com outro tipo de sinais que trabalham na mesma frequência. A posição e orientação do corpo do utilizador também têm efeitos negativos na propagação de sinal. No exterior de edificos existem também diversos obstáculos que o sinal deve passar, o que provoca a sua perda ou degradação. É extremamente difícil construir um modelo de propagação de sinal que coincida com uma situação real (Hongpeng Wang, 2007).

Existem diversas formas para calcular ou medir a distância entre o equipamento móvel e os pontos de referência que são utilizados pela lateração (Borriello J. H., 2001):

- **Medição directa**: a medição direcção para determinar a distância implica uma acção física ou movimento, sendo necessário medir com recurso a algum instrumento a distância entre o equipamento terminal e o ponto de referência. As medições directas são difíceis de se implementar devido à complexidade inerente à criação de um mecanismo autónomo.
- **Tempo de voo (*time-of-flight*)**: o cálculo de distância baseado no tempo de voo de sinal consiste em medir o tempo que demora um sinal desde o ponto de acesso até um determinado dispositivo, a uma velocidade conhecida.
- **Atenuação**: a intensidade de sinal de transmitida diminui à medida que a distância percorrida aumenta, neste método são consideradas as perdas de sinal provocadas pela passagem de obstáculos de forma a estimar a distância ao ponto de acesso.

A angulação é muito semelhante à lateração, excepto na utilização de distâncias, utilizando ângulos para determinar a posição dos objectos. Geralmente, para calcular a posição em duas dimensões são necessários dois ângulos e a distância entre dois pontos de referência, Figura 4.

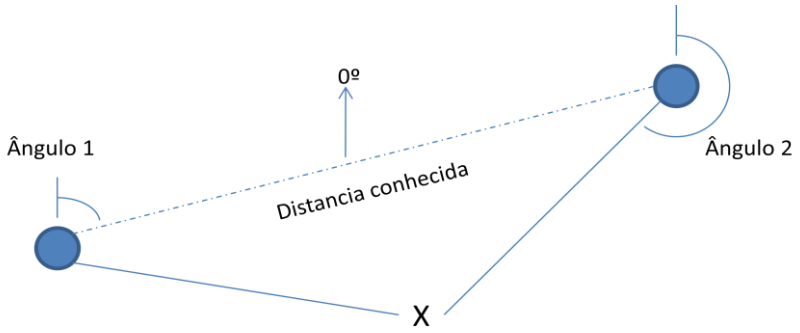


Figura 4 – Angulação, adaptado de (Borriello J. H., 2001)

Na localização em três dimensões são necessários dois ângulos, a distância entre dois pontos de referência e uma medida de azimute[2]. No entanto, a angulação exige que sejam utilizadas antenas específicas, capazes de determinar a origem, e ângulo, do sinal recebido (Borriello J. H., 2001).

2.2.2. Proximidade

A proximidade consiste na descoberta de pontos de referência próximos do objecto ou pessoa a localizar. A precisão da localização obtida está directamente relacionada com o número de pontos de referência a serem utilizados (Borriello J. H., 2001).

Existem três abordagens utilizadas para a localização por proximidade. Na primeira abordagem é utilizada uma detecção por contacto físico, sendo a forma mais básica para a localização de uma pessoa ou objecto. Abowd (Abowd, 2000) apresenta um sistema de

[2] Um azimute é uma direcção definida em graus, variando de 0º a 360º. A direcção de 0 graus corresponde ao Norte, e aumenta no sentido directo dos ponteiros do relógio.

proximidade desenvolvido no *Georgia Institute of Technology* que utiliza um tapete com sensores de pressão que identifica a presença de pessoas na sala (ver Figura 5). Este projecto representa uma localização por contacto físico na medida em que o sistema sabe que os utilizadores se encontram numa determinada divisão do edifício, conseguindo identificar o seu percurso. A localização por contacto físico levanta alguns problemas relacionados com a escalabilidade do sistema: não é viável a instalação de sensores num vasto ambiente de mobilidade. Uma forma de evitar a colocação de um grande número de sensores é a utilização de sistemas de identificação automáticos.

Actualmente é comum encontrar sistema de controlo de acesso, sendo possível saber por onde os utilizadores passam e possivelmente onde se encontram num determinado momento. Sistemas como os propostos por (Roy Want, 1992) e (LIU, 2004) utilizam dispositivos de identificação que permitem determinar a posição do utilizador baseado na sua passagem pelos sensores, ou proximidade destes.

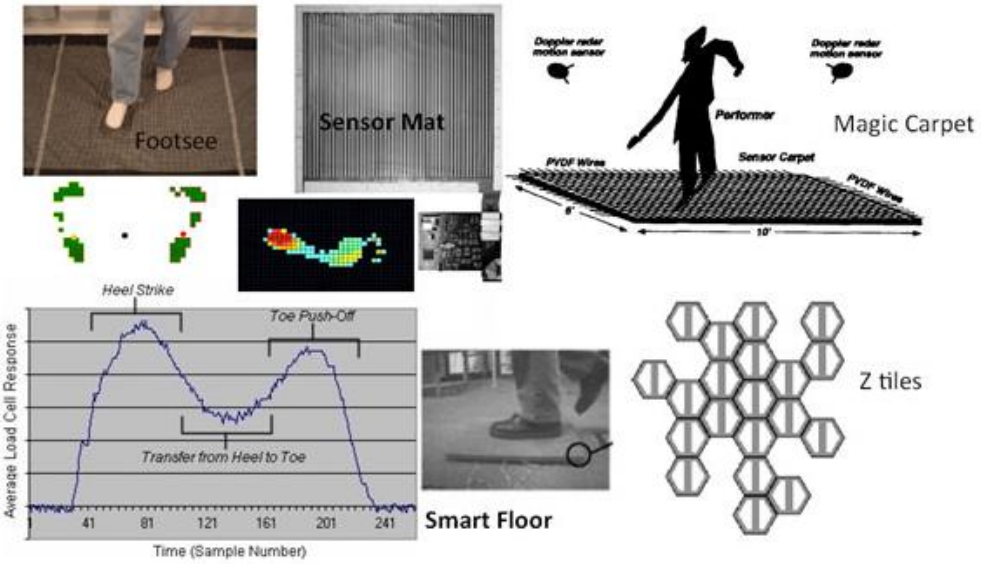


Figura 5 - Sistemas de localização por contacto físico

A última abordagem utilizada para a localização por proximidade consiste na monitorização de pontos de acesso, tais como células de redes de telecomunicações móveis ou pontos de acesso de uma infra-estrutura de rede Wi-Fi. Quando o utilizador se liga a um ponto de acesso, a sua localização terá um erro máximo tão grande quando a abrangência do ponto de acesso ao qual se encontra ligado. Ou seja, se o utilizador se encontra ligado a uma célula de rede por telemóvel, é possível determinar uma localização aproximada, cujo erro está directamente relacionado com o raio de cobertura da célula. Em áreas rurais o erro da localização será maior, devido à grande cobertura da célula; por outro lado, numa área urbana, a área de cobertura da célula será substancialmente menor devido ao número de utilizadores que a célula deve suportar, sendo possível determinar que o utilizador se encontra numa área muito reduzida. O mesmo processo pode ser utilizado nas redes sem fios, sendo possível determinar o ponto de acesso ao qual o utilizador se encontra ligado e, consequentemente, estimar a sua área de localização.

Os métodos de proximidade não permitem obter uma localização absoluta do utilizador, apenas determinam uma área aproximada onde este se possa encontrar num determinado momento.

2.2.3. Análise de padrões

A análise de padrões consiste em observar um determinado ambiente durante um período de tempo, de forma a encontrar um modelo de comportamento que possa ser utilizado como referência. Geralmente, a análise de padrões consiste na obtenção de dados demonstrativos do ambiente que possam ser utilizados para futuras comparações (Borriello J. H., 2001).

A análise de padrões apresenta como vantagem a possibilidade de inferir a posição dos objectos, sem ser necessário saber o ângulo de recepção ou a distância entre o utilizador e os pontos de acesso. No entanto, para existir valores de comparação, é necessário realizar uma fase de treino ou aprendizagem, no primeiro momento em que o sistema vai ser utilizado e sempre que existam alterações no ambiente físico que provoquem a alteração dos padrões de comparação.

A localização por análise de padrões pode ser obtida de duas formas (Borriello J. H., 2001). Por um lado, pode ser utilizada visão por computador para detectar a presença de utilizadores dentro de determinada sala ou ambiente. Um sistema deste tipo poderia apenas estar constantemente a capturar imagens do ambiente e sempre que existem alterações, provocadas essencialmente devido ao aparecimento de um utilizador, despoletar um conjunto de acções. Contudo, determinar quem são os utilizadores que se encontram no ambiente constitui uma tarefa complexa em processamento digital de imagem.

Uma alternativa à captura normal de imagens para determinar a existência de utilizadores num determinado ambiente é apresentada por (Sylvie Treuillet, 2007). O sistema apresentado foi desenvolvido para interior e exterior de edifícios e utiliza visão por computador. A localização é dividida em duas fases: numa primeira fase é realizado um percurso de treino em que são recolhidas imagens para a criação de modelos de objecto do mundo real. Na segunda fase, durante a navegação, à medida que o utilizador se vai movimentando, recebe imagens pela câmara que são processadas e comparadas com os modelos previamente criados.

O segundo método apresentado por (Borriello J. H., 2001) consiste na análise de padrões de comportamento do sinal no interior de edifícios, sendo utilizado o método de *fingerprint*. Este método é também constituído por duas fases: uma fase de treino, em que é criada uma base de dados de posicionamento que contém o par coordenada e potência de sinal recebido, onde a coordenada representa a posição do equipamento móvel, e a potência de sinal é referente à intensidade de sinal recebida de diversos pontos de acesso, construindo desta forma o mapa de comportamento de potências de sinal. Na fase de tempo real, em que, baseado num valor obtido em tempo real, são utilizados algoritmos para calcular, com base no mapa de *fingerprint*, a coordenada que mais se aproxima da posição do utilizador.

2.3. Tecnologias de localização

As actuais tecnologias de localização provocaram transformações profundas na sociedade moderna, onda a possibilidade de ter acesso a mapas de todo o mundo, recorrendo a um pequeno dispositivo móvel, permite encontrar e visualizar todo o percurso entre dois pontos distintos. Grande parte dos dispositivos móveis encontrados no mercado já possui diversos recursos de localização, com maior ou menor precisão. O GPS constitui uma das tecnologias mais importantes, não sendo no entanto universal.

A possibilidade de localizar um determinado dispositivo num determinado ambiente favorece o contínuo aparecimento de aplicações dependentes da localização, tornando as aplicações móveis mais úteis e poderosas. As tecnologias de localização utilizam um conjunto de técnicas que permitem determinar a posição do utilizador. A utilização destas técnicas não é também universal, dependendo fortemente da tecnologia em uso e do ambiente em que se insere o utilizador.

Uma das tecnologias de localização mais utilizada é o Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* - GPS), composto por 24 satélites colocados em orbita com o planeta terra. O sistema GPS é utilizado para localização de pessoas ou objectos no exterior de edifícios. No entanto, devido às características de propagação de sinal, não é possível utiliza-lo no interior de edifícios. Desta forma, foram surgindo diversas técnicas para localizar equipamentos móveis no interior de edifícios, recorrendo a tecnologias que não foram criadas especificamente para localização, tal como Wi-Fi e RFID.

Para além do GPS, actualmente existem diversos tipos de tecnologias que podem ser utilizados, ou adaptados, para o desenvolvimento de sistemas de localização, tais como:

- **Infravermelhos**: foram desenvolvidos diversos sistemas que utilizavam esta tecnologia, no entanto, a necessidade de linha de vista para a troca de dados entre equipamentos e o curto alcance, constituem duas desvantagens que levam à sua escolha para o desenvolvimento de sistemas de localização.
- **Ultra-sons**: normalmente, os sistemas baseados em ultra-sons utilizam o tempo de voo dos sinais para determinar a distância a objectos, de forma a obter a localização do utilizador. Uma grande desvantagem da utilização desta tecnologia é o custo associado à infra-estrutura tecnológica necessária para criar um sistema com grande precisão.
- **Redes celulares**: os recentes avanços na tecnologia de rede celular têm aumentado bastante as funcionalidades dos equipamentos móveis existindo avanços em aplicações que permitem a recepção de informação em tempo real, conectividade à Internet e integração de sistemas de navegação. Uma rede celular está dividida num conjunto de células interligadas. Os clientes móveis podem permanecer ligados a uma célula à medida que se deslocam, ou movem para regiões de células vizinhas. Enquanto o utilizador se move, todo o sistema deve ser capaz de saber onde o utilizador se encontra em tempo real. A localização do utilizador pode ser obtida a partir da célula à qual se encontra ligado, sendo que a precisão da sua localização esta directamente relacionada com a área de abrangência da célula.

- **RFID**: os sistemas de localização baseados na tecnologia RFID possuem duas abordagens para a sua utilização. Por um lado, são utilizados marcadores RFID georreferenciados e com informação contextual sobre o ambiente em que o utilizador se movimenta, sendo que é o leitor RFID que é transportado pelo utilizador. Por outro lado, existe a possibilidade de utilização de leitores RFID georreferenciados e espalhados por uma área geográfica, em que o utilizador transporta algum tipo de dispositivo portador de um marcador RFID, tanto activo como passivo. O reduzido custo de marcadores RFID viabiliza a sua implementação numa área geográfica alargada, podendo ser utilizado no interior e exterior de edifícios. Constituindo desta forma uma tecnologia a ser analisada para o desenvolvimento de um sistema de localização.
- **Redes móveis / Wi-Fi**: as redes móveis utilizam diversas técnicas para determinar a posição do utilizador no interior de edifícios, tais como a triangulação de sinal e análise de padrões. As grandes vantagens da utilização das redes móveis para a localização de utilizadores são a facilidade de implementação, uma vez que não requer muitos pontos de acesso, e o custo, não sendo necessária a aquisição de equipamento específico para a localização de utilizadores. Contudo, as redes móveis também possuem algumas desvantagens: a propagação das ondas rádio Wi-Fi sofre diversas perdas ao passarem por obstáculos, dificultando os cálculos necessários à localização de equipamentos. Devido ao seu reduzido custo e facilidade de implementação, as redes móveis são analisadas para a sua utilização no sistema de localização para o interior de edifícios.

2.3.1. GPS

O sistema GPS foi criado e desenvolvido pela Força Aérea dos Estados Unidos da América, colocando em orbita com o planeta terra 24 satélites que tornasse possível determinar a nossa posição em qualquer parte do planeta. O GPS é o sistema de localização mais popular e conhecido, sendo o primeiro passo estabelecido para se criar serviços de localização, no entanto, é ineficaz no interior de edifícios devido às características da propagação de sinal (Z. Xiang, 2004).

Para determinar a localização, um equipamento GPS utiliza um princípio de triangulação, método anteriormente descrito. A posição de cada satélite é conhecida com grande precisão e o terminal GPS utiliza os dados recebidos de cada satélite para determinar a distância a que se encontra deste. Em teoria, são apenas necessário três satélites para calcular a posição do utilizador, no entanto, devido a erros de relógio, inerentes à distância que o sinal percorre, é necessária informação de um quarto satélite para calcular a posição com maior precisão (Niche, 2008).

A informação que é transmitida de cada satélite inclui um sinal de tempo e o hemisfério do satélite, ou a sua posição. O sinal de tempo é gerado a partir de relógios atómicos[3] existentes

[3] O Relógio Atómico é um tipo de relógio que usa um padrão ressonante de frequência como contador. Como o próprio nome diz, é um medidor de tempo que funciona baseado numa propriedade do átomo, sendo o padrão a frequência de oscilação da sua energia.

no satélite e o hemisfério corresponde a um conjunto de parâmetros associados à sua orbita utilizados para calcular a sua localização e orientação.

2.3.1.1. Componentes do sistema GPS

O GPS é uma tecnologia que fornece aos utilizadores informações sobre localização, navegação e tempo. O sistema é constituído por três segmentos (Global Positioning System - Serving the World):

- **Espaço**: mantido e desenvolvido pela Força Aérea dos EUA e que consiste na manutenção de uma constelação de 24 satélites em orbita do planeta terra que enviam sinais referentes à sua posição e tempo.
- **Controlo:** mantido e desenvolvido pela Força Aérea dos EUA e que consiste num centro de monitorização e controlo global que mantêm os satélites na orbita correcta e que ajustam o relógio do mesmo. Mantém a localização, informação de localização e estado da constelação de satélites.
- **Utilizador:** consiste num equipamento receptor GPS e que recebe sinais dos satélites e utiliza a informação recebida para calcular a posição tridimensional do utilizador e o tempo.

A posição sobre a terra é referenciada em relação ao equador e ao meridiano de Greenwich[4] sendo traduzida por valores: latitude, longitude e altitude (Dilão, 2002):

- A latitude corresponde à distância ao Equador ao longo do meridiano de Greenwich. Esta distância mede-se em graus, podendo variar entre 0 e 90 para Norte ou para Sul (ver Figura 6);

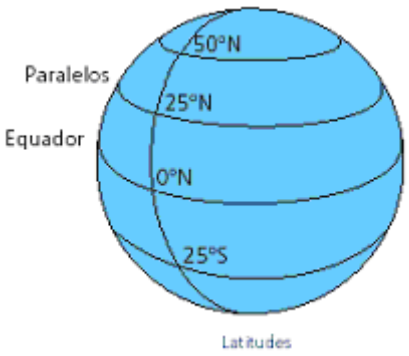


Figura 6 - Latitude do planeta (Dilão, 2002)

- A longitude corresponde à distância ao meridiano de Greenwich medida ao longo do equador, esta distância mede-se em graus podendo variar entre 0 e 180 para Este ou para Oeste (ver Figura 7);

[4] Linha imaginaria que corta a Terra verticalmente, reconhecido como referência.

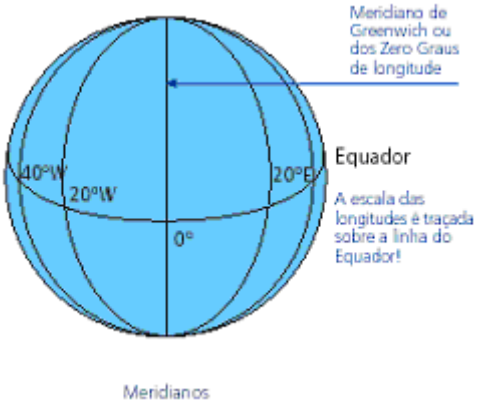


Figura 7 - Longitude do planeta (Dilão, 2002)

A terra é aproximadamente esférica, com um ligeiro achatamento nos pólos, para se definir a altitude de um ponto sobre a Terra define-se uma esfera, ou geoide, com um raio de aproximadamente 6378 km. A altitude num ponto da Terra é a distância na vertical à superfície desta geóide (Dilão,2002).

2.3.1.2. Características do sinal

Os satélites transmitem constantemente duas ondas portadoras, situadas na banda L (bandas utilizadas para rádio). A primeira onda portadora, L1, é transmitida a 1575.42Mhz e contém dois códigos modulados: o código de aquisição livre e o código P, de *Precise/Protected*. A segunda onda portadora, L2, é transmitida a 1227.60 MHz e contém apenas o código P. Cada onda portadora é modulada com mensagens de navegação contendo as informações necessárias à determinação da posição do satélite (Guerreiro, s/a).

Existem diversos fenómenos que podem provocar uma baixa precisão no sistema GPS. Por exemplo, quando os sinais são transmitidos, estes são distorcidos pela troposfera e pela ionosfera, podendo ocorrer situações em que o satélite se encontre demasiado baixo (Global Positioning System - Serving the World).

2.3.2. Redes celulares

Milhões de pessoas em todo o mundo utilizam telemóveis, que permitem a comunicação sem fios a baixo custo e praticamente em qualquer local. As redes moveis celulares permitem uma grande cobertura geográfica através da divisão de uma região em pequenas regiões chamadas células. As células desempenham um papel fundamental nas redes móveis uma vez que permitem a reutilização do reduzido número de frequências rádio. À medida que um utilizador se vai movimentando entre diferentes células, são despoletados os mecanismos necessários que permitem a manutenção da conectividade sem perdas ou quebras de ligação (Ayers, 2007).

A área de cobertura de uma antena numa rede móvel é representada por um hexágono. A escolha do hexágono para representar uma célula reflecte sobretudo a cobertura: se fossem utilizados círculos, existiriam zonas “escuras” onde não era possível obter cobertura, ou, se existe sobreposição de cobertura circular, existiram zonas com interferências nas frequências (Hoek, 2006). A Figura 8 representa um conjunto de células hexagonais.

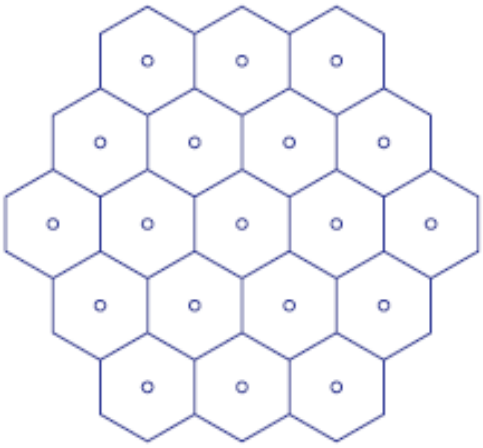
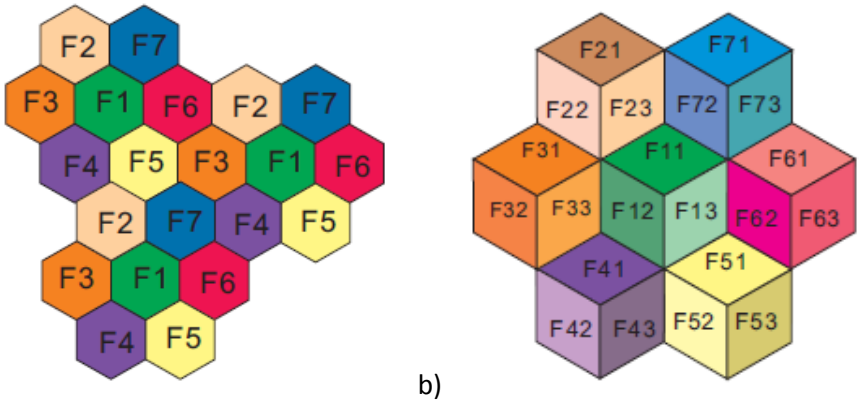


Figura 8 - Representação de uma rede celular (Zhu, 2006)

Uma vez que as células possuem um número de frequências limitadas, a cada uma das células representadas são atribuídas múltiplas frequências. O mesmo grupo de frequências pode ser reutilizado noutras células, desde que as mesmas frequências não sejam utilizadas em células vizinhas, o que poderia causar interferências entre canais.

Se todas as frequências, 'S', podem ser partilhadas por 'N' células vizinhas, cada célula poderá ter k = S/N frequências atribuídas. Na Figura 9 a) é apresentado um padrão de utilização de sete frequências. Para reduzir ainda mais a interferência entre células vizinhas, cada estação base pode utilizar antenas bidireccionais, criando sectores. A Figura 9 b) apresenta uma configuração de sectores, estrutura que permite ainda a redução na potência de transmissão e o aumento da capacidade do sistema.



a) b)

Figura 9 - Padrão de utilização de sete frequências (Zhu, 2006)

Quando o utilizador liga o equipamento, é estabelecida uma ligação à célula mais próxima da sua posição, sendo enviado um sinal para uma base de dados central indicando que determinado utilizador se ligou a uma célula específica numa região. É esta base de dados que permite determinar onde o utilizador se encontra sempre que existem chamadas, ou qualquer tipo de serviço associado às redes celulares. As operadoras de telecomunicações possuem sempre a informação de localização aproximada do utilizador, baseados na célula onde este se encontra ligado (Hielm, 2002).

Todas as células possuem um identificador único, designado de *Cell Global Identity* (CGI). Dependendo do tamanho da célula, a acuidade da localização está relacionada com a área de cobertura máxima da mesma, podendo variar entre 100 metros e 35 quilómetros (Zhu, 2006).

Uma vez que existe uma grande competitividade entre as operadoras de telecomunicações, estas raramente providenciam as coordenadas das células que utilizam. Com a coordenada da célula seria possível às empresas concorrentes determinar a área de cobertura da célula, quantos utilizadores pode suportar, qual o valor de investimento da infra-estrutura de telecomunicações, entre outros. Desta forma, a operadora apenas providencia uma área muito alargada onde o utilizador se pode encontrar, área que está directamente relacionada com a área de cobertura da célula (Hielm, 2002).

Todos os dispositivos móveis quando ligados à rede conhecem a célula e podem obter informação da mesma, sendo o mecanismo utilizado para determinar a posição do utilizador. Em células com grande cobertura, utilizadas nas zonas rurais, a informação de localização não possui grandes benefícios porque a localização do utilizador é muito vasta e relativa. Por outro lado, em zonas urbanas, a cobertura da célula é mais reduzida, pode ser possível determinar que determinado utilizador se encontra numa rua de uma cidade (Hielm, 2002).

2.3.3. RFID

RFID é uma tecnologia que tem vindo a substituir os actuais sistemas de identificação, como o código de barras. Oferece grandes vantagens para as empresas, na medida em que permite uma gestão de *stocks* mais eficiente, monitorizar a evolução de determinados produtos numa linha de produção, entre outros tipos de soluções (Sweeney, 2005).

O RFID tem a sua origem na segunda guerra mundial: os países envolvidos na guerra, Alemanha, Japão, EUA, entre outros, utilizam a tecnologia RADAR (Radar Basics, 2009), para os avisar com antecedência sobre o aparecimento de aviões, enquanto estes se encontravam a uma longa distância; o problema era identificar de entre estes aviões, qual era o inimigo e qual era o aliado. Os alemães então descobriram que se os pilotos girassem os seus aviões quando regressassem à base, modificava o sinal de rádio que era reflectido para o RADAR. Com esta técnica simples, era possível saber se os aviões eram inimigos ou aliados (Sweeney, 2005). Este é considerado o primeiro sistema passivo de RFID (Francisco Teixeira S. P., 2009). Mais tarde, os ingleses desenvolveram um identificador activo, de “amigo” ou “inimigo”, em que era colocado um transmissor nos aviões que, quando estes transmissores recebiam um sinal das estações Radar no solo, começavam a emitir o seu identificador que identificava unicamente o seu avião. Este foi considerado como o primeiro marcador RFID activo (Francisco Teixeira S. P., 2009).

Um sistema RFID é constituído por diversos componentes essenciais ao seu funcionamento. O primeiro componente, Figura 10, representa um exemplo de um marcador RFID passivo. Os marcadores utilizam geralmente plástico e polímeros condutores em vez dos *micro-chips* em base de silício. Existem também marcadores que utilizam matérias que reflectem as ondas rádio recebidas, sendo normalmente utilizadas em casos em que não é necessário identificar unicamente um objecto, mas apenas ter conhecimento de que ele existe (Sweeney, 2005).

Figura 10 - Marcador RFID passivo

O segundo componente do sistema RFID é o leitor utilizado para ler os marcadores. Os leitores podem ser de dois tipos: leitores activos ou passivos. Os leitores activos, Figura 11, possuem não só a capacidade de lidar com diversos protocolos, mas também de filtrar dados e até correr aplicações. Essencialmente, é um computador que comunica com os marcadores.

Figura 11 - Exemplo leitor RFID activo

Um leitor passivo apenas permite ler um tipo de marcadores que trabalha numa determinada frequência e sobre um protocolo. Este tipo de leitores possui pouco poder computacional, pelo que não é possível armazenar dados nem mesmo filtra-los (Francisco Teixeira S. P., 2009).

A utilização da tecnologia RFID sofreu um grande interesse nos recentes anos pela comunidade científica e, apesar de não ser uma tecnologia de localização e não ter sido desenvolvido para esses efeitos, foram surgindo soluções que, recorrendo aos componentes de um sistema RFID, permitem determinar a localização do utilizador com grande precisão. O processo de localização passa pela georreferenciação de marcadores RFID, podendo os marcadores serem implantados em passeios de pedestres, corredores de edifícios, portas de acesso, entre outros. Os marcadores podem ainda conter informação sobre o ambiente circundante do utilizador, que obstáculos podem encontrar ou outro tipo de informações relevantes para a segurança do utilizador. Neste tipo de sistemas o utilizador transporta um leitor que, à medida que se vai deslocando, vai recebendo informação de diferentes marcadores espalhados pelo ambiente.

Outra abordagem ao processo de localização, recorrendo a tecnologia RFID, consiste na colocação de leitores espalhados num determinado espaço físico de localização. O processo de

localização utilizado nesta abordagem é muito semelhante ao processo utilizado para a identificação de objectos. Por exemplo, nos postos de correios, os objectos possuem um marcador RFID que contém informação sobre o objecto, o destino, o remetente, entre outros, que quando passa em determinados postos de controlo, o identificador do objecto é lido e o sistema sabe por onde este passou, permitindo determinar a sua localização. Este processo foi também utilizado para a determinar a posição de utilizador no interior de edifícios, em que este transporta um marcador RFID e à medida que se vai deslocando pelo edifício, os vários leitores espalhados vão obtendo informação dos utilizadores.

2.3.4. Redes móveis / Wi-Fi

As redes Wi-Fi foram criadas em 1999 por um conjunto de entidades de diversas indústrias, que pretendiam criar uma organização sem fins lucrativos, para a criação e desenvolvimento de um *standard*, capaz de oferecer conectividade sem fios e com elevada velocidade (Glossary, 2009). Actualmente, existem mais de 300 membros espalhados por mais de 20 países, e os números continuam a crescer. As redes Wi-Fi continuam a expandir-se nas empresas, *hotspot* públicos e redes domésticas, o que leva a que a compatibilidade dos dispositivos seja essencial. A Wi-Fi Alliance tem como objectivo certificar dispositivos que implementem a especificação IEEE 802.11, de forma a garantir uma total compatibilidade entre dispositivos de diversos fabricantes, dado que antes do aparecimento da Wi-Fi Alliance, o mercado encontrava-se dominado por um conjunto de tecnologias rádio proprietárias muito semelhantes à norma 802.11, contudo não garantiam a interoperabilidade entre fabricantes. Até à data de 2009, já foram certificados mais de 5000 produtos (Glossary, 2009).

Os sinais Wi-Fi pertencem à família das ondas rádio, e, como tal, são uma forma de energia electromagnética que, em condições ideais, se propaga sob a forma de ondas electromagnéticas, em linhas rectas e à velocidade da luz (Netwalk, 1997) (Oliveira C., 2005). Contudo, ao colidirem com objectos vários fenómenos ocorrem, como atenuação na potência electromagnética da onda, reflexão no material e mesmo refracção no objecto.

Os sinais Wi-Fi são caracterizados pela frequência, amplitude e comprimento de onda. Estas características são fundamentais a diversos cálculos, como por exemplo, para determinar a cobertura de um ponto de acesso, para a distância do dispositivo móvel ao ponto de acesso ou para efectuar cálculos probabilísticos da distribuição dos sinais Wi-Fi.

A frequência é uma grandeza física que representa o número de ciclos de uma dada onda num ponto do espaço em cada segundo, medindo-se em Hertz (Hz). As radiofrequências ocupam o espectro electromagnético entre os 3 KHz os 300 GHz. As aplicações principais da gama de radiofrequência do espectro electromagnético centram-se na área das telecomunicações, sendo exemplos a difusão de rádio e televisão, os sistemas de comunicações móveis, os sistemas de comunicação das forças militares e de segurança, e as comunicações por satélite (Oliveira C., 2005).

Actualmente as redes Wi-Fi comunicam numa frequência que ronda os 2.45 GHz, integrando a banda Industrial, Scientific and Medical (ISM), a qual é reconhecida pela Internacional Telecommunication Union (ITU) como sendo de uso livre (Union, 2007).

O comprimento de onda está intrinsecamente relacionado com a frequência, uma vez que a velocidade de propagação (c) de ondas electromagnéticas é de $3x10^8$ m/s em vácuo e a frequência (f) é de 2,437 GHz para um comprimento de onda (λ) de 12,3 cm (Figura 12).

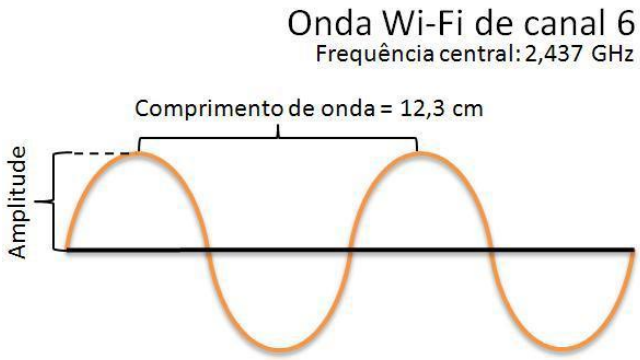


Figura 12 - Representação gráfica de uma onda Wi-Fi (Carvalho, 2007)

O IEEE definiu a norma 802.11 e os canais nos quais os sinais Wi-Fi poderiam operar, de modo a ser possível coexistirem diferentes redes Wi-Fi no mesmo local, atenuando a interferência entre redes. Tal foi conseguido atribuindo a cada canal uma frequência central diferente (Tabela 1) e uma margem para cada um poder operar.

Canal	Frequência central (GHz)
1	2.412
2	2.417
3	2.422
4	2.427
5	2.432
6	2.437
7	2.442
8	2.447
9	2.452
10	2.457
11	2.462
12	2.467
13	2.472
14	2.484

Tabela 1 - Canais 802.11b especificados (InformIT, 2007)

Foram criados pelo IEEE as seguintes normas Wi-Fi: 802.11a, 802.11b, 802.11g e 802.11n. A 802.11a foi a primeira norma Wi-Fi a ser definida e funcionava a 5 GHz (Corporation, 2003), as normas que se seguiram operam todas perto dos 2.4 GHz.

Um método de localização baseado nas redes Wi-Fi é semelhante ao que é utilizado nas redes celulares, designado de célula de origem. Nas redes Wi-Fi não existem células de redes, mas é possível determinar a localização do utilizador com base no ponto de acesso a que se encontra ligado. Esta localização pode ser obtida de duas formas: através da consulta dos diversos pontos de acesso existentes na infra-estrutura de comunicações, pesquisando o ponto de acesso que contém determinado endereço de hardware, ou a localização pode ser determinada no próprio equipamento, a partir da melhor potência de sinal recebida de

diferentes pontos de acesso. A localização do utilizador estará na abrangência de determinado ponto de acesso e o erro máximo da localização será o raio máximo de cobertura do ponto de acesso.

Para a localização de utilizadores numa rede Wi-Fi podem ainda ser utilizados dois métodos descritos anteriormente: triangulação, podendo ser por lateração ou angulação, e análise de padrões do comportamento de sinal. Ambas as técnicas utilizam a potência de sinal recebido de diversos pontos de acesso, bem como a sua localização física, para determinar a posição do equipamento móvel. Estas técnicas possuem uma maior precisão quando comparadas com o método de célula de origem, no entanto, existem todas as limitações associadas à complexidade de propagação de ondas rádio do interior de edifícios.

2.4. Considerações finais

O estudo das técnicas de localização e das tecnologias para localização permitiu verificar que é possível criar um sistema que determine a localização no exterior e interior de edifícios. No exterior de edifícios os problemas prendem-se sobretudo com a precisão do sistema GPS na utilização em aplicações para pedestres, em que o erro de localização obtido é demasiado elevado. No interior de edifícios existe um grande número de problemas a ter em conta, sendo que existem diversos objectos, como por exemplo paredes, portas e pessoas, que influenciam a propagação de sinal.

A localização no exterior de edifícios recai sobretudo na utilização do GPS, que possui uma grande maturidade no mercado. Actualmente é possível encontrar sistemas de navegação GPS para automóveis, motociclos, tendo também sido desenvolvidos equipamentos para ciclismo e até mesmo para caça. O sistema GPS, apesar da sua grande massificação, é muito útil em situações em que o utilizador pode ver o que o rodeia, e pode decidir e agir perante determinadas condições ou acontecimentos do ambiente.

No interior de edifício, a localização de utilizadores apresenta mais problemas e possui uma maior complexidade de implementação. As redes sem fios são muito dinâmicas, podendo mesmo ser adaptativas ao ambiente mediante o número de utilizadores que se encontrem ligados à infra-estrutura de rede. Ao longo dos anos foram desenvolvidos e aparecendo novos *standards* Wi-Fi para a conectividade e interoperabilidade de dispositivos, no entanto, na sua especificação original, as redes sem fios não foram pensadas para determinar a localização de utilizadores, tendo sido criados mecanismos, utilizando sobretudo a potência de sinal recebida de diferentes pontos de acesso, para estimar a posição do utilizador num determinado ambiente.

O RFID e as redes móveis correspondem a tecnologias que podem ser utilizadas tanto no interior de edifícios, como no exterior. A localização através de RFID passa pela utilização de marcadores RFID georreferenciados num determinado ambiente, para que se mantenha o mesmo sistema de coordenadas que é utilizado pelo GPS. A colocação de marcadores RFID, em pontos de interesse e pontos relevantes à mobilidade do utilizador, permite obter com grande precisão a posição do utilizador num determinado momento. Por outro lado, a localização com base nas redes móveis obtém melhores resultados quando utilizada em ambiente urbano, em que a cobertura das células é mais reduzida e existem com maior densidade, do que nas zonas

rurais onde uma célula de rede possui uma grande cobertura, sendo apenas possível determinar a área onde o utilizador se encontra com base na posição da antena da célula.

A compreensão do modo de funcionamento das tecnologias de localização permite o estabelecimento de uma base tecnologica para a criação de um sistema que determine a localização no interior e no exterior de edifícios, independentemente das fontes de informação disponíveis a cada momento.

No capítulo seguinte são analisados um conjunto de sistemas já desenvolvidos com o intuito de estabelecer um conjunto de requisitos essenciais à criação de uma aplicação de navegação.

3 Sistemas de localização

A localização do utilizador constitui uma informação essencial em qualquer sistema de localização. Saber a cada momento a posição do utilizador, para onde se dirige e possivelmente características do ambiente físico que o rodeia, torna possível e viável a criação de aplicações de navegação para utilizadores.

No capítulo anterior foram apresentadas as principais técnicas e tecnologias utilizadas para a criação de sistemas de localização. A utilização de determinada técnica ou tecnologia está dependente do ambiente em que o utilizador se encontra, no exterior ou interior de edifícios. As técnicas e tecnologias de localização constituem a base tecnológica para o desenvolvimento de um sistema de localização que auxilie o utilizador dentro de diversos ambientes, não descurando das suas limitações físicas, e das limitações do ambiente em que se insere.

Para demonstrar qual o estado actual dos sistemas de localização existentes baseados nas tecnologias apresentadas anteriormente, foi elaborada uma descrição de vários sistemas de localização que são referências nesta área e demonstram as diversas aproximações existentes para se localizar utilizadores. Antes da descrição dos sistemas, são apresentados um conjunto de importantes conceitos associados a sistemas de localização, constituindo a base para a definição e criação de novos tipos de sistemas.

3.1. Introdução

Os sistemas de localização podem ser definidos como aplicações móveis ou serviços de localização que se baseiam na posição do utilizador e no seu contexto para disponibilizar informação ou outro tipo de serviços. Um dos elementos fundamentais de um sistema de localização é a fonte de dados que alimenta o sistema e permite determinar a localização do utilizador (Binghao Li J. S., 2006).

Geralmente, num sistema de localização são utilizados um conjunto de elementos essenciais ao seu funcionamento (Stefan Steiniger, 2004). Na Figura 13 são apresentados os diversos elementos, sendo que a descrição de cada um deles é:

- **Dispositivo móvel**: corresponde ao equipamento que é transportado pelo utilizador. Nos sistemas existentes os resultados da localização podem ser fornecidos utilizando um sintetizador de voz, uma aplicação de navegação, um interface de texto, entre outros.
- **Sistema de posicionamento**: num determinado ambiente de mobilidade é necessário saber sempre onde o utilizador se encontra, assim o sistema de posicionamento corresponde a um elemento muito importante. Nos sistemas estudados, a localização pode ser obtida essencialmente através de RFID, Wi-Fi e GPS, existindo no entanto a possibilidade de utilização de outro tipo de tecnologias.
- **Fornecedor de serviços e conteúdos**: constitui um elemento importante num sistema de localização na medida em que pode providenciar informação relevante sobre o ambiente onde o utilizador se encontra. Este tipo de informação pode ser descarregado para o dispositivo móvel durante a execução de um determinado percurso, ou numa fase anterior à navegação. No entanto, nem todos os sistemas analisados possuem uma aplicação central que fornece serviços aos equipamentos móveis. Exemplo de fornecedor de serviços e conteúdos são os servidores de informação geográfica, ou servidores de GIS (*Geographic Information Systems*).
- **Rede de comunicações**: este componente está directamente relacionado com a infra-estrutura física de comunicações. É necessária uma rede de comunicações para estabelecer uma comunicação entre o equipamento móvel e o fornecedor de serviços. Por vezes, a rede de comunicações está relacionada com o sistema de posicionamento, quando a localização do utilizador é determinada no próprio dispositivo. Por exemplo, se o sistema de localização utilizar um serviço de um servidor de informação geográfica, é utilizada um tipo de ligação para obtenção de dados. Por outro lado, a mesma infra-estrutura que foi utilizada para obter os dados pode ser utilizada para determinar a localização.

Figura 13 - Componentes dos Sistemas de Localização (Stefan Steiniger, 2004)

3.2. Características dos sistemas de localização

Um amplo conjunto de questões surge quando se pretende desenvolver e implementar um sistema de localização para utilizadores. Os problemas que surgem são geralmente independentes das tecnologias em uso ou do sistema de posicionamento que utiliza. Cada abordagem ao processo de localização é diferente, sendo necessário avaliar qual o melhor método de localização a utilizar bem como as tecnologias necessárias ao processo de localização. O conjunto de características apresentado a seguir é independente da tecnologia utilizada, embora não possa ser utilizado em todo o tipo de sistemas, constituíndo linhas de orientação para a caracterização e desenvolvimento de sistemas de localização (Borriello J. H., 2001):

- **Posição física e posição simbólica**: um sistema de localização pode providenciar dois tipos de localização: física e simbólica. A posição física está directamente relacionada com a posição obtida em coordenadas do dispositivo a localizar, como por exemplo as coordenadas que são obtidas de um dispositivo GPS. Por sua vez, a posição simbólica não indica especificamente a posição do utilizador, mas sim a sua posição dentro de um determinado contexto, por exemplo, dentro do Campus Universitário podemos indicar ao utilizador que se encontra na secretaria, nao sendo no entanto necessário especificar as coordenadas geográficas da mesma. Geralmente, um sistema físico de localização pode consultar uma base de dados com localizações simbólicas, de forma a fornecer ao utilizador a sua localização baseado nas coordenadas geográficas. A distinção entre localização física e simbólica é mais evidenciada num tipo de tecnologias do que em outros, por exemplo, o GPS é um sistema de posicionamento físico (Borriello J. H., 2001).
- **Posição absoluta e posição relativa**: num sistema de posição absoluta existe uma grelha de referência onde todo o tipo de objectos podem estar referenciados. Por exemplo, o sistema GPS utiliza latitude e longitude para indicar a posição do utilizador, verificando-se que se dois equipamentos estiverem no mesmo espaço físico e local, a posição obtida em ambos será a mesma independentemente do equipamento utilizado. Num sistema de localização relativa, cada objecto referenciado tem os seus próprios valores ou objectos de referência. Tal como acontece no caso da posição física e simbólica, é possível transformar uma posição absoluta numa posição relativa, no entanto nem sempre é possível o inverso. A posição absoluta e relativa denota desta forma que informação está disponível para o utilizador e como o sistema irá utilizar essa informação (Borriello J. H., 2001).
- **Localização do processamento**: alguns sistemas possuem a capacidade de se localizarem sem recurso a serviços de uma infra-estrutura, assegurando desta forma a privacidade da localização, uma vez que outro equipamento não consegue obter os dados da localização. No entanto, também existem outro tipo de sistemas, que devido a sua arquitectura ou necessidades de processamento, utilizam um servidor para realizar os cálculos de localização. Esta escolha depende dos recursos computacionais necessários e disponíveis. Mesmo no caso em que o equipamento móvel possui os recursos necessários, a realização de alguns tipos de cálculos pode afectar a sua autonomia. Por outro lado, se o sistema de localização estiver num servidor único, é necessária conectividade constante de forma a obter os dados do

servidor, e no caso de dispositivos móveis, o interface Wireless é responsável por uma grande percentagem de consumo energético. Simultaneamente, é necessário ter em conta o número de clientes que um servidor suporta de forma a fornecer os dados em tempo útil (Sabbour, 2007). Esta diferenciação em relação ao local onde a localização pode ser processada leva a que os sistemas de localização possam ser classificados como implícitos ou explícitos. Na localização implícita, a própria aplicação do dispositivo móvel processa toda a informação relativa a sua posição, por outro lado, na localização explícita, a informação de localização é fornecida à aplicação móvel através de serviços externos, disponibilizados de um modo centralizado através de servidores (Carvalho, 2007).

- **Exactidão e precisão**: um sistema de localização deve reportar a posição do utilizador com exactidão e consistência à medida que este se vai movimentando. Por exemplo, enquanto alguns dispositivos GPS mais baratos podem localizar o utilizador com um erro médio de 10 metros em 95% dos casos, sistemas mais robustos e mais caros providenciam uma posição com um erro entre 1 e 3 metros. A distância reportada pelos dois tipos de GPS denota a exactidão do sistema de localização. A percentagem dos casos em que obtemos menor erro denota a precisão do sistema, ou com que frequência se pode obter uma dada exactidão. A exactidão e precisão pretendidas estão directamente relacionadas com o tipo de aplicações e contexto em que serão utilizadas, bem como a qualidade e características do equipamento em uso.
- **Capacidade de resposta e latência**: para uma determinada aplicação ser eficaz, o tempo de resposta da mesma deve ser reduzido, o que significa que a localização do equipamento deverá ser realizada em tempo real. Em algumas circunstâncias os dados não são obtidos em tempo real devido à latência existente nos modelos de propagação de sinal. No caso em que o processamento seja realizado do lado do equipamento do utilizador, a capacidade de processamento do mesmo também pode afectar o seu desempenho e a velocidade com que os dados são obtidos (Sabbour, 2007).
- **Escala**: um equipamento móvel pode ser localizado num qualquer ponto do planeta terra, numa área metropolitana, dentro de um Campus ou num edifício em particular. O número de equipamentos que pode ser localizado de acordo com uma determinada infra-estrutura também pode variar. Por exemplo, um número ilimitado de terminais GPS pode localizar a sua posição em qualquer parte do globo, por outro lado, um leitor RFID apenas consegue ler, em geral, um marcador de cada vez ao seu alcance. Assim, a escala de um sistema está relacionada com a sua área de cobertura e com o número de equipamentos que suporta num determinado momento e contexto (Borriello J. H., 2001).
- **Reconhecimento**: alguns sistemas necessitam de um mecanismo de identificação quando reconhecem ou classificam um determinado objecto, sendo necessário realizar determinadas acções mediante o objecto encontrado. Por exemplo, num aeroporto existe um sistema de divisão de bagagem que faz a divisão mediante o destino do avião, ou chegada de bagagem. Esta identificação é realizada a partir da etiqueta presente na bagagem. Por outro lado, o sistema GPS não permite nenhum reconhecimento do terminal que recebe o sinal (Borriello J. H., 2001). O

reconhecimento de objectos constitui uma importante fonte de informação em sistemas que necessitem de uma grande fiabilidade, de forma a garantir a segurança do utilizador.

- **Custo**: o custo do sistema de localização está relacionado com diversos factores: custos de instalação de equipamento, custo de administração do sistema, custo dos componentes da infra-estrutura física, custos de desenvolvimento do hardware, entre outros tipos de custos (Borriello J. H., 2001).
- **Limitações**: alguns sistemas não funcionaram em determinados ambientes. Por exemplo, o sistema GPS não consegue detectar informação de satélites no interior de edifícios. Esta limitação apresenta algumas dificuldades no desenvolvimento de aplicações que utilizem o GPS. Na tecnologia RFID também existe diversas limitações relacionadas com o alcance do leitor e marcadores RFID. Os marcadores, devido ao facto de trabalharem a frequências baixas sofrem de interferência de vários objectos (Borriello J. H., 2001).

3.3. Revisão dos sistemas de localização

A necessidade de compreender como a localização de dispositivos móveis é realizada em diferente ambientes, tornou imprescindível a realização de um estudo de alguns sistemas de localização, analisando as várias arquitecturas utilizadas, bem como os métodos de localização que certos investigadores utilizaram para conseguirem atingir bons resultados.

Os sistemas apresentados são analisados de acordo com as características anteriormente apresentadas, avaliando a sua complexidade de desenvolvimento e ambientes de utilização. Os sistemas escolhidos reflectem sobretudo uma pluralidade de sistemas para diversos ambientes, de forma a ser possível o estabelecimento de uma arquitectura para a localização de utilizadores no interior e exterior de edifícios, recorrendo a diferentes tecnologias e técnicas de localização.

3.3.1. Projecto RADAR

O projecto RADAR foi desenvolvido por um grupo de investigação da Microsoft, utilizando a tecnologia IEEE 802.11 *WaveLan*. O Projecto RADAR mede, nas estações base, a potência de sinal e a relação sinal ruído dos sinais emitidos pelos pontos de acesso da rede, sendo utilizados estes dados para estimar a localização 2D do utilizador dentro de edifícios. Este projecto sofreu duas abordagens na sua implementação: a primeira foi através de análise de padrões e a segunda através de triangulação por lateração (Borriello J. H., 2001).

No projecto foram utilizados três computadores pessoais, que serviam de estações base, equipados com um interface sem fios baseado na tecnologia *WaveLan* e um equipamento móvel que era utilizado pelo utilizador durante a realização dos vários testes. A realização dos cálculos para determinar a posição do utilizador era efectuada num servidor central. Uma vez que a medição de sinal para determinação da localização era efectuada nas estações fixas, a tecnologia utilizada levantava diversas limitações, sendo que, caso fosse necessário fazer o seguimento de diversos equipamentos, o servidor de dados não teria o desempenho computacional necessário para efectuar todos os cálculos. No entanto, a evolução da tecnologia nos últimos anos proporcionou maiores capacidades de processamentos dos equipamentos, fazendo com que os sistemas de localização fiquem centralizados num único sistema (Carvalho, 2007).

O projecto RADAR funciona em duas fases: a fase *off-line*, em que se procede a recolha de dados, e a fase *on-line* ou *real-time*, de determinação da localização. Na fase *off-line* são registados dados de sinal baseados na posição do utilizador. Estes dados serviram posteriormente para construir modelos de propagação de sinal. Na fase *off-line* são seguidos alguns passos na recolha de dados: primeiro, os relógios das estações base e do equipamento móvel são sincronizados, de seguida, o equipamento móvel começa a transmitir pacotes UDP, com tamanhos iguais e velocidade uniforme, com uma taxa de transferência periódica. Cada estação base irá guardar a potência de sinal (SS – *Signal Strength*) recebida juntamente com um *timestamp* (t). Para além destes valores, durante a fase *off-line* o utilizador tem que indicar num mapa a sua posição, sendo guardadas as suas coordenadas no formato (x, y) e um *timestamp* (t).

Durante a aquisição de informação constatou-se que a potência de sinal numa determinada posição sofre variações significativas dependendo da orientação do utilizador, desta forma tornou-se também necessário guardar a orientação do utilizador (d) no momento em que a aquisição de informação era realizada. Assim, os registos associados ao equipamento móvel possuem a seguinte estrutura: (t,x,y,d). Em suma, durante a primeira fase é recolhida informação em cada 4 direcções (com o utilizador voltado para norte, sul, este e oeste) em 70 pontos diferentes no local de estudo. Para cada combinação de orientação/localização, são recolhidas 20 amostras de sinal.

Numa segunda fase, para calcular a posição do dispositivo móvel era necessário comparar as potências dos sinais recebidos pelas três estações fixas com as amostras recolhidas na fase *off-line* de treino. Ao encontrar a amostra que mais se assemelha ao sinal actual, encontravam qual era a posição em coordenadas respectivas para aquele conjunto de potências de sinais (Padmanabhan, 2000).

Nesta investigação foi usada a técnica de *Multiple Nearest Neighbour* (MNN), que consiste no cálculo da diferença dos sinais Wi-Fi medidos na fase *on-line* em relação a todos os sinais registados na fase *off-line*. A menor diferença entre os valores já registados e os que o dispositivo móvel recebe, indicará qual a posição que o algoritmo estimou, uma vez que é a posição que mais se aproxima das potências de sinal recebidas (Padmanabhan, 2000).

Durante as experiências realizadas, os investigadores verificaram que, numa dada posição, a potência do sinal variava de cerca de 5 dBm[5] e que esta variação era aleatória. Provaram também que a orientação do utilizador numa qualquer localização influenciava a potência de qualquer sinal Wi-Fi recebido (Padmanabhan, 2000).

3.3.2. Projecto Landmarc

O projecto Landmarc foi desenvolvido na Universidade de Ciência e Tecnologia de Hong Kong e utiliza como base a tecnologia RFID para localização de objectos dentro de edifícios. Segundo os autores, um dos grandes contributos que foi atingido neste projecto foi a precisão obtida no processo de localização. Neste projecto, os autores demonstram que a tecnologia RFID é viável e eficiente na localização no interior de edifícios, e que, apesar de não ser uma

[5] O dBm é uma unidade de medida utilizada, principalmente, em telecomunicação para expressar a potência absoluta mediante uma relação logarítmica. O dBm define-se como o nível de potência em decibéis em relação a um nível de referência de 1 mW.

tecnologia de localização, propõem funcionalidades que podem ser adicionadas para ser considerada como tal (LIU, 2004).

A primeira abordagem que foi utilizada pelos autores foi instalar um conjunto de leitores como mostra a Figura 14. Nesta abordagem, cada leitor possui um determinado nível de potência, definindo de certa forma o alcance de leitura do mesmo. Colocando os leitores em pontos estratégicos e bem definidos, toda a região de leitura pode ser dividida em sub-regiões, que são identificadas unicamente por um conjunto de leitores. Dado um marcador RFID baseado no subconjunto de leitores que a conseguem alcançar, é possível associar o marcador como estando presente em determinada sub-região. A precisão do sistema é determinada pelo número de leitores existentes, pela potência de sinal que cada leitor emite, bem como pelo local onde são instalados. No entanto, a leitura de marcadores RFID sofre do mesmo problema que existe nas redes *Wireless*: a movimentação de utilizadores e objectos existentes no meio físico afecta a sua leitura, podendo um marcador ser identificado em diferentes sub-regiões simultaneamente (LIU, 2004).

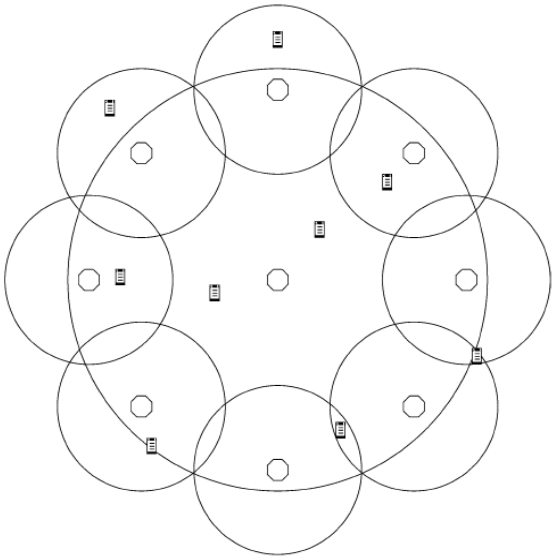


Figura 14 - Sub-regiões de leitores RFID

Numa segunda abordagem, de forma a poder melhorar a localização de objectos, os autores procederam à colocação de marcadores de referência junto de leitores específicos sem, no entanto, aumentar o número de leitores disponíveis. Estes marcadores servem como pontos de referência para o sistema, apresentando como vantagens a utilização de marcadores em vez de leitores RFID, o ambiente pode ser modificado facilmente uma vez que os marcadores que servem de referência para um leitor podem facilmente ser alteradas para outro leitor e a localização torna-se mais precisa e confiável (LIU, 2004).

O sistema Landmarc não utiliza informação de potência de sinal recebida por um leitor de um marcador, uma vez que os leitores apenas retornam o nível de potência (de 1 a 8) do marcador encontrado. Desta forma, os autores realizaram um estudo preliminar para determinar a que distância corresponde uma determinada potência. No entanto, esta abordagem apenas funcionava em ambientes sem obstáculos, tendo sido necessário desenvolver um algoritmo que reflectisse as relações entre a potência de sinal recebida e os níveis de potência de cada leitor.

O ambiente de testes desenvolvido para o Landmarc consiste numa rede de sensores, constituída pelos leitores e marcadores RFID, que permite a localização dos utilizadores e uma infra-estrutura de rede sem fios que possibilita a comunicação entre dispositivos móveis e a Internet. A rede sem fios existente funciona como meio de ligação entre os terminais da rede de sensores e a infra-estrutura lógica do sistema, localizada num servidor central. Os testes realizados pelos autores demonstram que em 50% dos casos existe um erro de aproximadamente 1 metro, enquanto o erro máximo é inferior a 2 metros (LIU, 2004).

3.3.3. Projecto do Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School

O projecto desenvolvido pela Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School (HITSGS) apresenta um modelo de localização híbrido, combinando a simplicidade de implementação do modelo de propagação com a grande acuidade de localização do modelo de *fingerprint* (Hongpeng Wang, 2007).

O modelo de localização proposto pelo HITSGS está dividido em três fases: na primeira fase é construída uma base de dados com informação sobre a distância/potência de sinal da área a analisar; na segunda fase são estimadas as distâncias entre os equipamentos móveis e os pontos de acesso; e na terceira fase é aplicado o algoritmo de triangulação para obter a posição de determinado equipamento móvel (Hongpeng Wang, 2007).

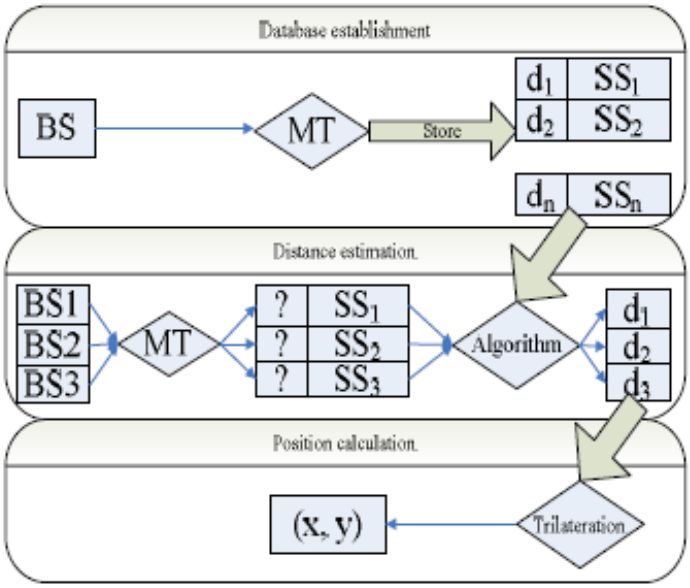


Figura 15 - Etapas para a localização propostas por HITSGS

A primeira fase deste sistema consiste na criação de uma base de dados que será utilizada nas fases posteriores. Como referido anteriormente, no modelo de *fingerprint* a potência de sinal recebida é associada às coordenadas do equipamento móvel, sendo necessário recolher informação em todos os pontos de interesse durante a fase de treino. No entanto, utilizando um modelo híbrido, a potência de sinal está apenas associada à distância entre o equipamento móvel e o ponto de acesso à rede, sendo que desta forma, apenas é observada a distribuição de potência de sinal durante um percurso e guardado na base de dados a distância associada à potência de sinal. Utilizando a base de dados é possível estimar a distância do

equipamento móvel a cada ponto de acesso. Através do método híbrido é possível construir uma base de dados com grande acuidade de localização e com pouca complexidade.

A potência de sinal extraída é muito importante nos sistemas de localização. As redes sem fios são complexas uma vez que factores como tempo, temperatura e obstáculos afectam a qualidade do sinal recebido por um equipamento. Desta forma, na implementação da base de dados, os autores não armazenam a potência de sinal recebida mas sim a média de dez valores recebidos.

Depois de estabelecida a base de dados, a potência de sinal recebida pelo equipamento móvel será utilizada para estimar a sua distância aos pontos de acesso. O processo para estimar a distância é obtido a partir de duas fases. Numa primeira fase é utilizado o algoritmo *BinSearch*, para procurar 'm' amostras contínuas de sinal. Na segunda fase é utilizada a versão modifica do algoritmo de *improved k-Nearest-Neighbor* (IKNN) nas 'm' amostras de sinal. A distância é estimada de acordo com a potência de sinal recebida.

Para obter a localização de um equipamento móvel num plano 2D é necessária a distância do equipamento móvel a três pontos de acesso, sendo utilizado o algoritmo de triangulação para estimar a posição do utilizador.

Para a realização de testes foram recolhidas 250 amostras de sinal numa área de interesse. Nos testes realizados verificou-se que o erro médio do modelo híbrido desenvolvido era de 186 cm, no modelo de propagação de sinal era obtido um erro médio de 400 cm e no modelo de *fingerprint* era obtido um erro médio de 175 cm. Os resultados mostraram que o modelo híbrido possui um erro menor do que apenas utilizando o modelo de propagação, possui um erro maior do que apenas utilizando o modelo *fingerprint*, no entanto, possui uma menor complexidade na fase de criação da base de dados.

3.3.4. Projecto SpotOn

O projecto SpotOn possui uma abordagem diferente na localização de pessoas ou objectos: não é utilizada uma infra-estrutura de telecomunicações pré-definida nem existe um núcleo central de processamento de dados, apenas são utilizados os conceitos das redes de computadores *ad-hoc* (Jeffrey Hightower, 2001).

Neste projecto foi desenvolvida uma solução de hardware para servir como marcadores de identificação, designados por SpotOn. Para estimar a sua posição, os marcadores SpotOn trocam mensagens com outros equipamentos vizinhos ao seu alcance, criando desta forma um *cluster* de objectos, estimando a posição do utilizador com base nas informações trocadas entre os marcadores. Cada objecto no *cluster* possui a sua localização relativa a outro objecto, excepto no caso em que os objectos possuam uma posição conhecida, possuindo desta forma uma localização absoluta (Jeffrey Hightower, 2001). A Figura 16 representa o protótipo SpotOn desenvolvido.

Figura 16 - Dispositivo SpotOn

Os marcadores desenvolvidos encontram-se fixados em objectos que se pretendem localizar, emitindo sinais com periodicidade aleatória, permitindo evitar colisões na faixa de frequência de 916.5 MHz. Qualquer marcador quando escuta um sinal na vizinhança, mede a potência de sinal recebida, construindo o seu modelo de calibração. De forma a facilitar os cálculos de localização, os sinais emitidos contêm informação sobre o objecto que está a emitir o sinal, bem como um histórico de sinais emitidos (Jeffrey Hightower, 2001).

Como acontece com outros sistemas de localização, o SpotOn também necessita de uma fase de calibração dos sensores, permitindo a criação de mapas de rádio. A informação de calibração é importante para que um marcador específico emita a potência de sinal com a mesma intensidade que outros marcadores na vizinhança, e para que possam providenciar uma localização mais fiável e aproximada. No estudo realizado no projecto, identificou-se a dependência em relação à potência de transmissão dos vários marcadores, bem como o nível de ruído existente. No desenvolvimento do projecto também foram tidas em contas as perdas de sinal provocadas por objectos (Jeffrey Hightower, 2001).

O sistema desenvolvido resulta de uma combinação de ideias de localização de objectos e redes dinâmicas. Um método de localização dinâmico possibilita determinar a posição relativa e absoluta do equipamento móvel.

3.3.5. Projecto Cricket

O sistema de localização Cricket utiliza ultra-sons para criar a infra-estrutura de localização e receptores incorporados nos objectos que se pretendem localizar. Esta abordagem implica que todos os dispositivos móveis sejam capazes de realizar os seus cálculos de localização (Borriello J. H., 2001).

O projecto Cricket utiliza *beacons* ou transmissores para disseminar informação sobre um determinado espaço para receptores, ou *listeners*. Os transmissores correspondem a pequenos dispositivos colocados em locais sem obstruções de outros objectos, como armários ou paredes, e transmite informação sobre o ambiente geográfico onde foi colocado. O *beacon* transmite apenas uma pequena frase, que pode ser por exemplo o nome de um servidor ao qual o utilizador se pode ligar para obter recursos (Balakrishnan, 2000).

Cada dispositivo móvel possui um leitor, que recebe informações recebidas dos diferentes *beacons* que tem ao seu alcance. Estes leitores correspondem a pequenos dispositivos que estão à escuta de mensagens emitidas pelos *beacons* e que são utilizadas para inferir a posição em que o equipamento se encontra no momento. Este tipo de leitores pode estar em diferentes tipos de dispositivos, podendo estes estar sempre na mesma posição ou serem móveis. Quando é colocado um leitor num dispositivo estático, o leitor começa a escutar os *beacons* que encontra na sua redondeza de forma a poder determinar a sua posição. O mesmo acontece com os dispositivos móveis, excepto no facto de estes estarem constantemente à escuta de *beacons* e a sua posição variar com muita frequência (Balakrishnan, 2000).

As fronteiras entre os espaços podem ser reais, como por exemplo uma parede a separar duas salas, ou podem ser uma separação virtual, em que é utilizada uma divisão não física para separar uma sala em duas partes. A precisão do sistema é determinada com base na qualidade de reconhecimento de divisões ou fronteiras, enquanto a granularidade do sistema está relacionada com o tamanho da divisão, sendo que quanto mais pequenafor a divisão, maior será a precisão da localização.

Para calcular a posição do utilizador foi utilizada uma combinação entre sinais ultra-sónicos e de rádio frequência. A localização é conseguida através da medição do tempo de voo do sinal ultra-sónico, tirando vantagem da menor velocidade de propagação de sinal, e, paralelamente ao envio do sinal ultra-sónico, é enviado um sinal de rádio com informação sobre o espaço onde se encontra o *beacon*. Quando um leitor de um dispositivo móvel recebe um sinal rádio, utiliza os primeiros *bits* como informação de treino e activa o receptor ultra-sónico. O leitor utiliza a diferença de tempo existente entre o primeiro *bit* recebido e a recepção do sinal ultra-sónico para determinar a que distância se encontra do *beacon* (Balakrishnan, 2000).

3.3.6. Projecto Active Badge

O sistema Active Badge é provavelmente o primeiro sistema de localização para interior de edifícios, tendo sido desenvolvido pelo Olivetti Research Laboratory (Binghao Li A. D., 2005). Neste sistema, o crachá ("*Badge*") transportado por utilizadores, emite um sinal por infra-vermelho a cada 15 segundos ou a pedido do utilizador. Os sensores, colocados em posições conhecidas, captam os sinais emitidos pelos crachás, e enviam-nos para uma aplicação de gestão centralizada (Roy Want, 1992). A Figura 17 apresenta o crachá ("*Badge*") desenvolvido.

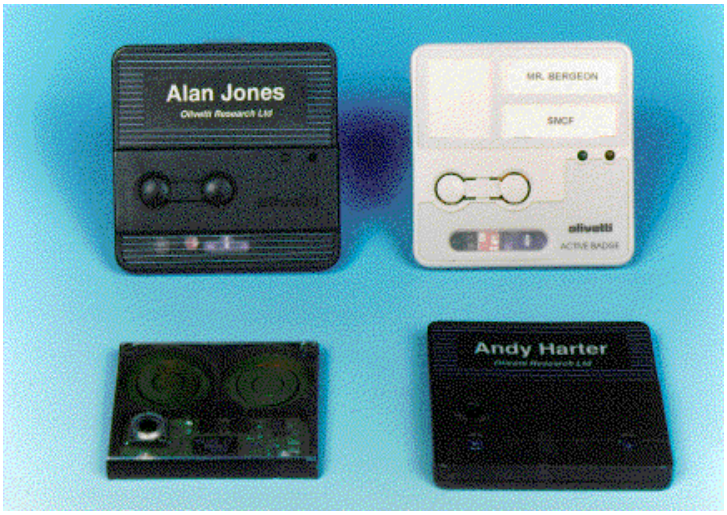


Figura 17 - Equipamento Active Badge

Para a comunicação entre os sensores e os crachás transportados pelos utilizadores, foi utilizada a tecnologia de infra-vermelhos (IR – *Infra-Red*). Os crachás emitiam impulsos IR em intervalos de tempo periódicos, 10 segundos, ou a pedido do utilizador. Os crachás podiam ser fabricados com dimensões reduzidas, tendo sido desenvolvidos para trabalhar num raio de 6 metros. Os infra-vermelhos eram fortemente utilizados numa grande variedade de aplicações domésticas, o que tornou possível a sua exploração (Roy Want, 1992).

O sistema Active Badge providencia uma localização absoluta do utilizador, por outro lado, o crachá representa uma localização simbólica, pois permite determinar a divisão ou sala onde o utilizador se encontra.

Na construção do Active Badge foi necessário ter em consideração a taxa de frequência de emissão do identificador único do crachá. A taxa de transmissão era um factor essencial devido a consumos energéticos e a possíveis interferências que poderiam ocorrer dentro do mesmo espaço físico. Se existisse um grande número de utilizadores, a probabilidade de colisão de sinal era de 1/150. Para um número reduzido de utilizadores, existia uma grande probabilidade de o sinal nunca colidir com outro (Roy Want, 1992).

Uma desvantagem do sistema proposto está relacionada com a taxa de frequência de emissão do sinal: uma vez que o sinal é apenas emitido a cada período de 15 segundos, a melhor localização do utilizador poderia estar desactualizada nesse período de tempo, determinando erradamente a sua posição em algumas situações (Roy Want, 1992).

A aplicação original desenvolvida tinha como objectivo ajudar uma recepcionista, em que o sistema providenciava uma tabela dinâmica que continha a extensão de telefone mais próxima, bem como uma descrição da localização da mesma. O mesmo registo armazena a probabilidade de existir alguém na proximidade desse local. A última localização recebida do utilizador permanece como sendo a melhor até existir uma actualização; se o crachá do utilizador permanecer um longo período sem actualizações, o seu estado é definido como "Ausente" (Roy Want, 1992).

3.3.7. Projecto Ekahau

Ekahau é considerado o único sistema baseado em redes sem fios capaz de oferecer informação de localização relativa a pequenas salas e identificação do piso onde se encontra o utilizador com grande acuidade e precisão. Ekahau é baseado nos actuais *standards* de rede, não necessitando de novos equipamentos. O sistema utiliza algoritmos de software patenteados para fazer o seguimento de objectos dentro de edifícios (Real Time Location System (RTLS) Overview , 2009).

Neste sistema são recolhidas amostras de sinal de diferente localização conhecidas para construir um modelo de potências de sinal baseado no sinal recebido de vários pontos de acesso no edifício. O modelo construído é armazenado na base de dados do *Position Engine*. O equipamento cliente também recebe valores de potência de sinal que posteriormente envia para o servidor para se proceder à localização. O ambiente no interior de edifícios é muito dinâmico, o modelo de propagação de sinal não é determinístico, desta forma, durante a recolha de amostras é construído um modelo empírico do ambiente de localização, caso haja alterações na topologia da rede, o modelo guardado na base de dados ficará inconsistente. A variação da potência de sinal em diferentes zonas implica uma nova construção do modelo de propagação de sinal (Paul Hii, 2005).

A localização no sistema Ekahau é exposta na forma (x, y, piso) e possui uma precisão de um metro se existirem no mínimo sete pontos de acesso na vizinhança do equipamento. Em condições normais, o erro médio é de 1.5 metros, com a divisão do edifício vazia, e de 3 metros quando existem pessoas (Paul Hii, 2005).

O sistema Ekahau é comercial e já implementado em diversas empresas, não sendo necessários investimentos na infra-estrutura de redes para poder ser utilizado em qualquer empresa, no entanto, a Ekahau também disponibiliza equipamento dedicado para localização em tempo real (Real Time Location System (RTLS) Overview , 2009).

3.3.8. Projecto WiGuide

No projecto WiGuide é proposto um sistema de localização para interior de edifícios que fornece informações sobre pontos de interesse e objectos que se encontram na vizinhança do utilizador. O sistema pode ser implementado num Campus Universitário ou num museu que possuam uma infra-estrutura de rede sem fios (Sabbour, 2007).

Neste projecto a técnica de localização escolhida foi a técnica *fingerprint*, uma vez que, segundos os autores (Sabbour, 2007), possui uma localização mais precisa no interior de edifícios quando comparada com outras técnica de localização. A técnica de *fingerprint* utiliza principalmente a potência de sinal recebida dos pontos de acesso, pelo equipamento, pelo que foram estudados diversos factores antes da implementação do sistema.

O primeiro factor a ser estudado foi o período de amostragem de sinal. Construir a base de dados do *fingerprint* necessita de seleccionar pontos de calibração onde as amostras de sinal são medidas, de forma a guardar na base de dados valores que representem o ponto. A duração do período de amostra e a taxa de amostragem são também factores importantes a determinar (Sabbour, 2007). De forma a decidir qual o valor mais adequado a ser guardado na base de

dados, foi realizado um teste onde eram recolhidas 10, 20, 50 e 100 amostras de sinal. A taxa de aquisição escolhida foi de uma amostra por segundo (Sabbour, 2007).

A granularidade do sistema também é afectada pela distância dos diferentes pontos recolhidos, tendo o autor constatado que quantos mais pontos fossem recolhidos, mais precisa seria a localização; no entanto, possui desvantagens em termos de desempenho uma vez que o tempo para gerar a base de dados do *fingerprint* aumenta drasticamente, aumentado também o tempo de pesquisa quando se pretende efectuar a localização do utilizador (Sabbour, 2007).

O número de pontos de acesso a considerar quando a base de dados do *fingerprint* está a ser construída também é importante. No estudo realizado verificou-se que quanto maior for o número de pontos de acesso, mais precisa será a localização do utilizador. No entanto, em muitas circunstâncias o número de pontos de acesso ao alcance do equipamento do utilizador pode ser inferior a cinco na maioria das vezes, sendo necessário escolher o melhor de três pontos de forma a calcular a localização (Sabbour, 2007).

À semelhança do que foi constatado no projecto RADAR (Padmanabhan, 2000), o autor teve em conta a orientação do utilizador, uma vez que esta afecta a potência de sinal recebida. Foram realizados testes para comparar as perdas de sinal na presença e ausência do utilizador durante a aquisição de dados para a base de dados (Sabbour, 2007).

Para a localização do utilizador, os sinais utilizados podem ser obtidos pelo equipamento do utilizador ou pelo ponto de acesso a ser utilizado. A obtenção de sinal dos pontos de acesso levanta alguns problemas de escalabilidade, dada a sua complexidade e heterogeneidade. Desta forma, a recolha de sinais obtidos a partir do equipamento do utilizador é a mais apropriada para futuras implementações e expansões (Sabbour, 2007).

Para calcular a posição do utilizador é necessário aceder à base de dados do *fingerprint*. A implementação do algoritmo de localização no equipamento do cliente requer que a base de dados do *fingerprint* seja descarregada para o mesmo, o que pode causar problemas em equipamentos com pouca capacidade de processamento, como por exemplo PDA's. Desta forma, a abordagem escolhida para determinar a localização do utilizador foi a utilização de um equipamento servidor (Sabbour, 2007).

3.4. Considerações finais

A escolha dos sistemas apresentados reflecte sobretudo uma pluralidade de tecnologias e técnicas que podem ser utilizadas para a localização de utilizadores no interior e exterior de edifícios. Os sistemas apresentados são apenas representativos do estado da arte em sistemas baseados na localização de utilizadores.

Os dados publicados pelos autores de cada sistema de localização em relação ao erro médio cometido ao localizar um dispositivo móvel reflectem cada um dos ambientes escolhidos para realizar os testes. A falta de critérios rigorosos para a caracterização de cada sistema de localização impedem a classificação de qual o melhor ou pior dos sistemas analisados. A Tabela 2 apresenta um resumo dos sistemas apresentados.

	Propriedades						
		Posição		Posição			
	Tecnologias	Física	Simbólica	Absoluta	Relativa	Processamento Local	Precisão
RADAR	WaveLAN	X		X		X	2 / 3 M
Landmarc	RFID		X		X		Não publicado
HITSGS	Wi-Fi	X		X			0,5 M
SpotOn	Ad hoc	X			X	X	Não publicado
Cricket	Ultra-sons e RF		X	x	x		Elevada
Active Badge	IR		X	X		X	Não publicado
Ekahau	Wi-Fi	X		X			1 m
WiGuide	Wi-Fi	X		X			4 m

Tabela 2 - Sumário dos sistemas de localização

Na análise dos sistemas verifica-se que, quando utilizada a tecnologia Wi-Fi, é possível obter a localização física e absoluta do utilizador, que por sua vez, poderá ser convertida em localização simbólica ou relativa a algum ponto de referência. O mesmo facto não se verifica quando é utilizado infra-vermelhos (IR) ou ultra-sons, sendo obtida nestes casos uma localização simbólica e relativa, existindo alguns casos em que é possível obter uma posição absoluta. No projecto Landmarc, único projecto estudado que utiliza a tecnologia RFID, é apenas obtida uma posição simbólica e relativa. No entanto, no exterior de edifícios, é possível georeferenciar os marcadores RFID, atribuindo desta forma uma posição absoluta e física a determinado marcador, melhorando a localização com recurso a RFID.

Na implementação dos sistemas apresentados, verificou-se que parte deles se encontram alojados no dispositivo móvel do utilizador, em que era o próprio dispositivo a obter a informação necessária para o cálculo da posição, e outra parte se encontravam alojados num servidor, onde é realizado todo o processo de localização.

A precisão dos sistemas de localização apresentados está muito relacionada com as tecnologias que utiliza. Em sistemas baseados em Wi-Fi o erro tende a ser mais elevado devido as características de propagação das ondas de rádio no interior de edifícios. Para melhorar a precisão no interior de edifícios podem ser utilizadas um conjunto de técnicas que, apesar de aumentar o tempo de implementação do sistema, melhora significativamente a qualidade da localização obtida. Em sistema que utilizem tecnologias como RFID e ultra-sons, a precisão é mais elevada, uma vez que a proximidade requerida para localizar os marcadores leva a que a posição determinada seja muito próxima da posição real do utilizador.

O estudo de diferentes sistemas de localização permitiu o estabelecimento de uma arquitectura de software e hardware capaz de providenciar a localização de utilizadores em diferentes ambientes. A adopção da tecnologia Wi-Fi para a localização no interior de edifícios sofreu um grande interesse pela comunidade científica, tendo surgido diversas soluções para um problema bastante complexo: a instabilidade nas ondas rádios das redes Wi-Fi. No exterior de edifícios poderá ser utiliza uma multiplicidade de tecnologias, tais como GPS e RFID.

4 SmartVision

Neste capítulo é apresentada a arquitectura física e lógica do sistema SmartVision. A arquitectura do SmartVision é composta por um conjunto de componentes que desempenham um conjunto de funções específicas dentro de determinados ambientes, sendo importante definir a forma como as mensagens são trocadas em os diversos componentes, como é assegurada a introdução de novas tecnologias no sistema e identificar qual a importância de um sistema de localização.

4.1. Introdução

A orientação e mobilidade de pessoas cegas em ambientes conhecidos e desconhecidos são extremamente difíceis, sendo por vezes perigosas. Com a massificação da utilização da tecnologia na vida quotidiana das pessoas, bem como a sua miniaturização, os sistemas de navegação e orientação para utilizadores cegos tornaram-se uma realidade. A arquitectura SmartVision foi desenvolvida tendo em conta as limitações físicas dos utilizadores portadores de deficiências visuais, tendo sido avaliado que tipos de instrumentos os utilizadores frequentemente utilizam e que tecnologias poderão ser adoptadas para a criação de um sistema de navegação.

A tecnologia a utilizar no sistema SmartVision reflecte sobretudo o grau de disponibilidade e confiança resultantes do processamento da informação obtida a partir dos diversos componentes, na sua qualidade e na precisão que se pode obter. A escolha pela utilização de diversas tecnologias reflecte ainda a necessidade de colmatar um conjunto de problemas identificados em alguns sistemas de referência: a dependência numa única fonte de dados num determinado ambiente de mobilidade, seja ele interior ou exterior. A abordagem do SmartVision viabiliza a utilização de diversas tecnologias, representando fontes de informação

para o sistema, de forma a assegurar em qualquer momento e ambiente que o utilizador tenha consciência do local onde se encontra o do ambiente que o rodeia.

A arquitectura lógica do SmartVision foi definida tendo em conta três principais preocupações: flexibilidade, evolução e integração. Pretendeu-se com esta arquitectura criar uma solução flexível a vários tipos de equipamentos, permitindo desta forma a sua fácil adaptação a diferentes tipos de ambientes. A evolução do sistema é obtida graças à sua modularidade, que permite que novos componentes sejam adicionados ou substituídos sem ser necessário repensar toda a arquitectura. De forma a garantir a integração com futuros módulos que possam auxiliar os utilizadores durante a mobilidade, o sistema está preparado com conectores e interfaces para integrar e receber diferentes módulos que possam ser desenvolvidos.

A apresentação da arquitectura do SmartVision está dividida em dois momentos. Primeiro é apresentada a arquitectura física do sistema, que tipo de equipamentos foi utilizado e que tipos de informação podem fornecer. Estes componentes de hardware são controlados por módulos de software, que têm como objectivo comunicar com os componentes físicos, processar os dados recebidos e filtrar os mesmos, de forma a enviá-los para um componente lógico transversal a todo o sistema SmartVision. A descrição dos módulos de software e a forma de interacção entre os mesmos e o SmartVision corresponde ao segundo momento da descrição, sendo apresentadas as funcionalidades dos diferentes módulos, que tipo de dados produzem e de que forma o SmartVision lida com esses dados de forma a produzir informação útil para o utilizador. O SmartVision é entendido neste contexto com uma camada lógica que agrega todos os módulos de software desenvolvidos.

4.2. Arquitectura física

Na caracterização do sistema SmartVision foram avaliados um conjunto de componentes físicos que poderiam auxiliar o utilizador durante a sua mobilidade em diversos tipos de ambientes. A escolha dos equipamentos que serão apresentados recaiu sobretudo na sua facilidade de utilização e integração com o sistema central. A dimensão e o peso dos equipamentos escolhidos foram também levados em consideração, uma vez que todos os componentes físicos são transportados pelo utilizador durante a sua mobilidade, existindo apenas um equipamento externo que fornece informação geográfica e de ambiente para o sistema. A Figura 18 representa o funcionamento global do SmartVision.

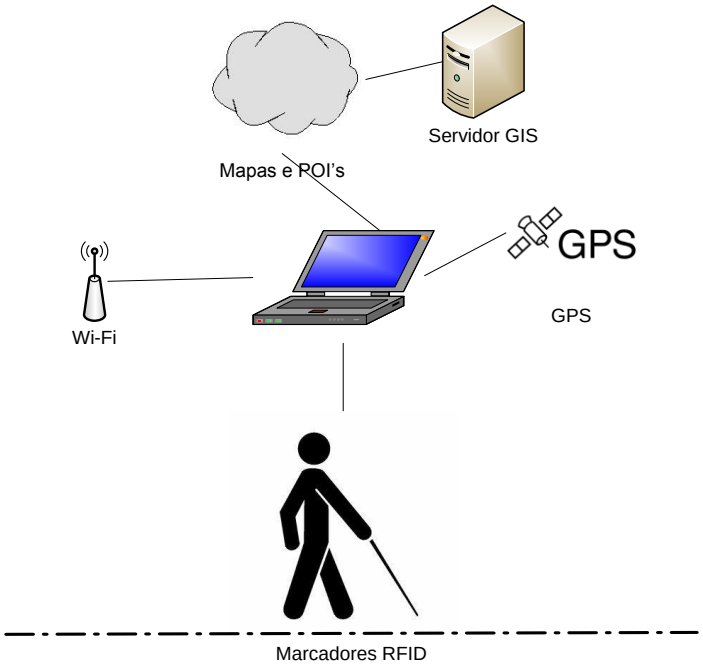


Figura 18 - Componentes do sistema SmartVision

O equipamento central na arquitectura física do sistema é um computador portátil de dimensões e peso reduzido. Este equipamento é transportado pelo utilizador durante a sua mobilidade e permite a interligação dos diversos componentes físicos utilizados, sendo também o ponto central de toda a arquitectura lógica. A escolha do equipamento representa um ponto importante em toda a arquitectura uma vez que se pretendia um equipamento leve, mas sem comprometer o desempenho e capacidade de processamento requerida para alguns componentes de software. Num primeiro protótipo não foi possível a utilização de um equipamento móvel, como um PDA, devido complexidade de diversos módulos de software desenvolvidos. A Figura 19 representa o computador portátil escolhido como base da arquitectura SmartVision.

Figura 19 - Computador HP Mini-Note utilizado para o projecto SmartVision

O computador portátil possui um conjunto de componentes internos, bluetooth, Wi-Fi, entre outros, que serão utilizados pelo sistema de localização e para possibilitar a conectividade

sem fios com outros componentes físicos. Os componentes utilizados no sistema podem ser divididos em três grupos: utilizados apenas no interior de edifícios, utilizados apenas no exterior de edifícios e equipamento que servem de suporte a ambos os ambientes.

Para o interior de edifícios foi desenvolvido um agente de aquisição de dados baseado na tecnologia Wi-Fi. Este agente consulta o interface sem fios do computador portátil de forma a obter informação sobre a potência de sinal recebida pelos pontos de acesso que estão ao seu alcance. Uma vez que os pontos de acesso possuem um alcance reduzido no exterior de edifícios, devido a característica de propagação de sinal inerente à própria tecnologia, este interface é apenas utilizado no interior, sendo a sua informação descartada em caso do utilizador se encontrar no exterior. O agente de aquisição de dados representa um componente muito importante do sistema de localização sendo especificado no capítulo seguinte.

Para a localização no exterior de edifícios é utilizada uma antena GPS. Este equipamento liga-se ao computador portátil através do interface *bluetooth*. A utilização de uma antena GPS por *bluetooth* recai sobre a portabilidade e independência que se obtêm, sendo possível migrar para outro tipo de hardware, ou dispositivo móvel, sem haver necessidade de instalar software específico, e, por outro lado, é também possível utilizar antenas GPS de diferentes fabricantes, desde que suportem a conectividade *bluetooth*. A Figura 20 representa o terminal GPS Conceptronic CBTGPS32 utilizado para o projecto. No capítulo seguinte é apresentada a metodologia seguida para o processamento de informação proveniente do terminal GPS.

Figura 20 - Terminal GPS com *bluetooth*

Um importante instrumento utilizado por um utilizador cego é a tradicional bengala, Figura 21. Para o projecto, foi desenvolvida uma bengala dotada de um leitor RFID que lê os marcadores RFID espalhadas pelos percursos pedestres do Campus Universitário da UTAD. A bengala possui alimentação própria e liga-se ao computador através do interface *bluetooth*. Sempre que o leitor da bengala lê um novo marcador RFID, o seu identificador é enviado para o computador que, por sua vez, através do software desenvolvido, vai identificar a coordenada geográfica associada ao marcador onde o utilizador se encontra no momento. No primeiro protótipo, este equipamento foi apenas utilizado no exterior de edifícios, no entanto e dado o valor reduzido dos marcadores RFID, pode facilmente ser implementado para localização e navegação no interior de edifícios.

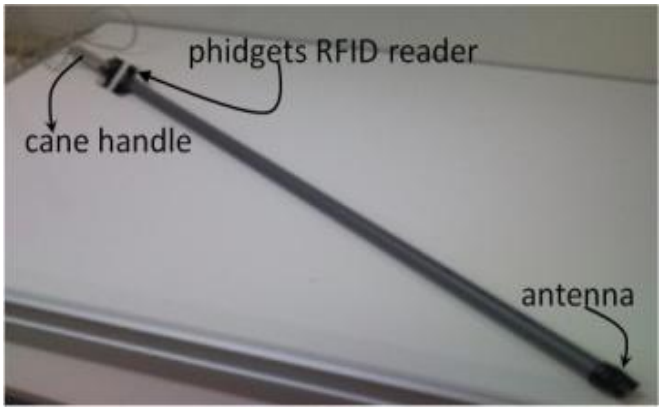


Figura 21 – Bengala do sistema SmartVision

Para a aquisição de imagens foi utilizada uma câmara *stereo* (Bumblebee 2 da PointGray), apresentada na Figura 22. Uma câmara *stereo* é um tipo de camara que possui duas lentes com sensores de imagem separados. Este tipo de camaras permite simular a visão humana, possibilitando a captura de imagens tridimensionais. No projecto SmartVision foram colocados marcadores brancos circulares nos passeios, estes marcadores são capturados pela câmara, permitindo um processamento sobre a imagem de forma a identificar onde se encontra o marcador e, caso seja necessário, dar instruções de orientação e correcção de trajectória ao utilizador sobre o percurso. A câmara utilizada fornece duas imagens para processamento. A primeira imagem, sendo a que sofre um maior processamento, representa os dados capturados em bruto, sem qualquer filtro. A segunda imagem capturada possui informação de disparidade, sendo possível determinar a distância a que o utilizador se encontra do marcador circular.

Figura 22 - Câmara *stereo* Bumblebee 2 para a visão por computador

Num sistema de navegação convencional, as instruções são dadas pelo utilizador através de instruções de voz, existindo sempre uma interacção física entre o utilizador e o equipamento, em que muitas vezes o equipamento cativa a atenção do utilizador e necessita que este actue perante determinadas situações. No entanto, quando os sistemas de navegação são utilizados num universo de utilizadores com debilidades físicas, ou portadores de deficiências visuais ou auditivas, a forma de interacção com o utilizador é alterada, existindo uma menor margem para falhas e erros. Dadas as limitações dos utilizadores destinatários do projecto SmartVision, foi necessário fornecer informação áudio para que estes saibam onde se encontram e possam realizar um percurso de uma forma segura. A interface com o utilizador é obtida a partir de um auricular áudio *bluetooth*, utilizado em sistemas sem fios de telemóveis, que vai dando instruções ao utilizador à medida que se movimenta. Para o utilizador poder interagir com o sistema, foi desenvolvido um comando, Figura 23, para criar um software áudio de navegação. O SmartVision possui um menu em árvore navegável através de instruções fornecidas pelo

comando. A árvore possui as instruções necessárias para obter informação sobre o ambiente em que o utilizador se encontra, criar rotas para navegação e aceder a outro tipo de funcionalidades do sistema.

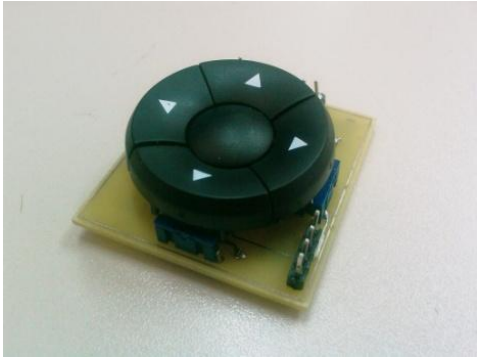


Figura 23 – Comando para interacção com o SmartVision

De forma a dar suporte a todos os componentes físicos utilizados no sistema SmartVision, foi desenvolvida uma arquitectura de software dinâmica agrupada por módulos que controlam partes específicas do sistema. Cada módulo a apresentar, está ligado a um componente de físico, sendo responsável pela aquisição de dados do componente, processamento e disponibilização de informação a uma camada de software unificadora e transversal, designada de SmartVision, que integra todos os módulos de software. A arquitectura de software é dinâmica, sendo possível a integração de novos componentes sem grandes necessidades de desenvolvimento de lógica computacional.

4.3. Arquitectura lógica

O desenho da arquitectura lógica do SmartVision foi desenvolvido tendo em conta três premissas fundamentais: flexibilidade de utilização do sistema em diversos ambientes recorrendo a diversas tecnologias; a evolução do sistema; e a capacidade de integração futura de novos módulos ou hardware. Pretendeu-se desta forma criar uma arquitectura modular, moldada a necessidades futuras e a requisitos que não estavam inicialmente definidos.

O sistema SmartVision é assim composto por diferentes módulos que desempenham funções específicas para o correcto funcionamento de todo o sistema. Actualmente é composto por cinco módulos: áudio, navegação, informação geográfica, visão e localização, que utilizam como ponto de ligação comum a camada de software SmartVision, responsável pela recepção e processamento de toda a informação proveniente de todos os módulos. A

Figura 24 representa a arquitectura lógica do sistema SmartVision.

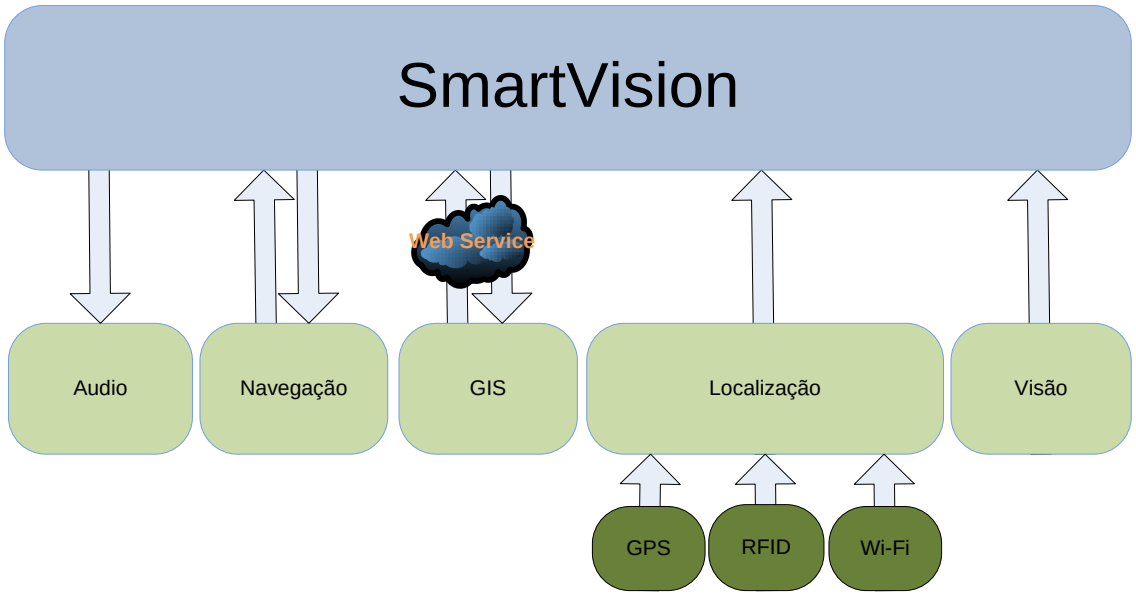


Figura 24 - Arquitectura lógica do SmartVision

A camada de SmartVision representa o módulo mais importante do sistema, agregando toda a lógica computacional responsável pela recepção de informação dos diferentes módulos e reencaminhamento da mesma para os interfaces de saída, como o módulo de áudio ou uma aplicação gráfica de navegação. O SmartVision constitui um agente intermédio entre o utilizador, e a informação que este recebe, e a tecnologia de apoio à navegação, orientação e localização do utilizador. Na Figura 24 é visível em que sentidos são as mensagens trocadas, existindo dois módulos que apenas enviam dados para o SmartVision, localização e visão, um interface de saída, áudio, e dois módulos em troca de informação em dois sentidos, navegação e servidor de informação geográfica.

De seguida serão apresentados e especificados os diferentes módulos que comportam o sistema SmartVision, sendo apresentado que tipo de informação flui entre os diversos componentes de software e de que forma a camada SmartVision processa essa informação.

4.3.1. Áudio

O módulo de áudio corresponde a um interface de saída do sistema. A este módulo estão associadas um conjunto de mensagens pré-definidas, existindo a possibilidade de serem definidas novas mensagens, definindo o conjunto de instruções que podem ser fornecidas ao utilizador durante a sua mobilidade, informando-o sobre o ambiente que o rodeia: existência de passeios, obstáculos, identificação de pontos de interesse, entre outros tipos de mensagens. Toda a informação que chega a este módulo é previamente tratada e processada pela camada de SmartVision. A Figura 25 representa um fluxo de troca de mensagens entre a camada SmartVision e o módulo de áudio.

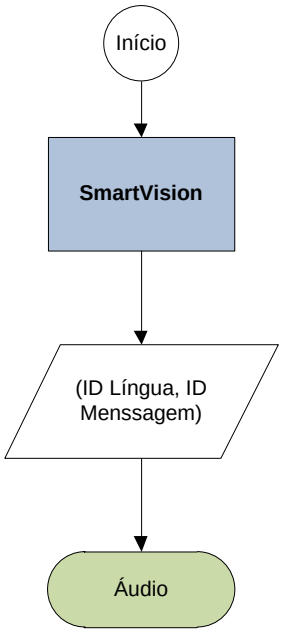


Figura 25 - Fluxo de mensagem do módulo de áudio

Associado ao módulo de áudio existe um ficheiro de configurações que contem todas as mensagens possíveis, disponíveis para o SmartVision. Sempre que é necessário transmitir determinada mensagem, é enviado para o módulo de áudio um par de identificadores: o identificador da língua em que será transmitida (português ou inglês, sendo possível a instalação de mais idiomas) e o identificador da mensagem a transmitir. É na camada SmartVision que é carregado, e posteriormente enviado para o módulo de áudio, todo o conjunto de mensagens disponíveis.

O conjunto de mensagens disponíveis é reduzido, de forma minimizar a complexidade e quantidade das instruções a fornecer ao utilizador, e estão associadas a acções que o utilizador deve realizar durante um percurso, tais como "Virar à esquerda", "Parar!", e estão também ligadas à informação de pontos de interesse (*Point of Interest* - POI), sendo transmitido ao utilizador a identificação dos POI que encontra à medida que se desloca.

O módulo de áudio constitui o meio mais directo de interacção com o utilizador, juntamente com a bengala e o comando.

4.3.2. Navegação

O módulo de navegação comporta toda a lógica computacional para o cálculo de rotas e para a orientação do utilizador durante a mobilidade, sendo um dos módulos em que existe uma troca bidireccional de dados. Tal como acontece em sistemas de navegação para automóveis, é necessário carregar um conjunto de mapas do ambiente de mobilidade do utilizador, estes mapas são obtidos a partir de um serviço de informação geográfica, carregados pela camada SmartVision, que posteriormente serão enviados para o módulo de navegação.

Simultaneamente aos mapas do ambiente de mobilidade, é também necessário enviar a posição actual do utilizador, de forma a calcular a cada momento onde o utilizador se encontra no ambiente, realizar os cálculos de rotas para navegação e obter informação de pontos de interesse. A Figura 26 representa um fluxo de informação do módulo de navegação.

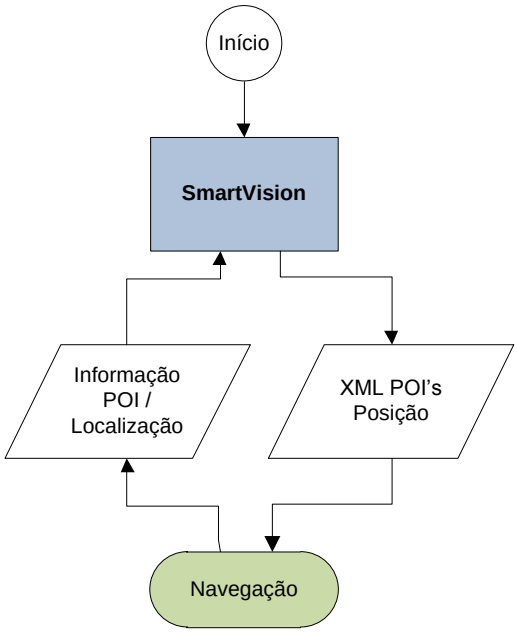


Figura 26 - Fluxo de mensagem do módulo de navegação

As mensagens que são enviadas para a camada SmartVision referem instruções que devem ser fornecidas ao utilizador e estão alinhadas com as instruções possíveis definidas para o módulo de áudio. Durante a mobilidade, à medida que o utilizador vai caminhando, vai encontrando obstáculos naturais, passadeiras, desvios de trajectórias, entre outros, sendo necessário informá-lo dessas mesmas condições. Uma vez que o módulo de navegação não "conhece" os identificadores de mensagens pré-definidas, o que é enviado para o SmartVision é o identificador da mensagem a transmitir.

4.3.3. GIS

O módulo de GIS corresponde a um interface que permite aceder à informação de um servidor de GIS desenvolvido anteriormente para a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. A partir do módulo de GIS é possível consultar uma base de dados que contém informação sobre pontos de interesse, localização de serviços, entre outros, dentro do Campus Universitário.

O sistema de GIS é composto por duas vertentes distintas: a primeira vertente diz respeito à informação exterior do Campus, como por exemplo vias de comunicação, edifícios, parques de estacionamento, pontos de interesse, entre outros; a segunda vertente diz respeito ao interior de edifícios, conjugando, neste caso, informação proveniente de outros sistemas de informação com o GIS, como por exemplo informação das plantas dos edifícios proveniente do sistema de apoio ao ensino, que permite associar uma actividade lectiva a um espaço físico. A Figura 27 representa a troca de mensagens entre o módulo GIS e a camada SmartVision.

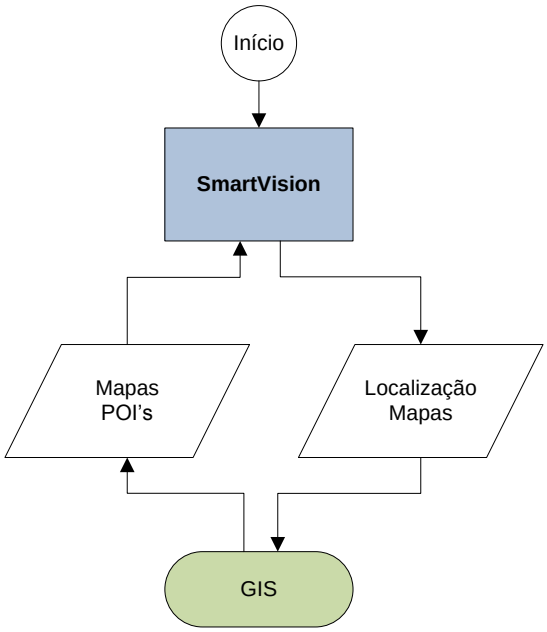


Figura 27 - Fluxo de mensagem do módulo de GIS

No módulo de GIS existe uma troca de informação bidireccional, sendo a troca de informação processada através de serviços Web. Sempre que o utilizador necessita de algum tipo de mapa, ou de actualização de mapas existente, é realizado um pedido a um serviço Web para a sua obtenção. É a partir do serviço de GIS que vão ser obtidas as informações sobre os pontos de interesse, e informações relativas a diversos espaços físicos no interior e exterior de edifícios.

O módulo de GIS alimentará a camada SmartVision com informação espacial, sendo construídas camadas de dados específicas para o efeito, como por exemplo, uma camada de dados com a localização de todas as passadeiras do Campus Universitário, ou com informação de pontos de interesse como paragens de autocarros e edifícios, a camada SmartVision fará o pedido para obter diferentes camadas dependendo do tipo de informação que o utilizador pretende.

Uma vez que nem sempre é possível uma ligação física a uma infra-estrutura de rede para obter os mapas do Campus, o sistema possui por defeito um mapa com um conjunto de camadas representando os principais percursos do Campus e os principais pontos de interesse.

4.3.4. Visão

O módulo de visão complementa todos os módulos enunciados anteriormente, fornecendo informações de correcção de trajectórias do utilizador, permitindo que este realize um percurso com mais segurança. As mensagens enviadas para a camada SmartVision correspondem desta forma a instruções ou correcções de trajectórias à medida que o utilizador se desloca. A Figura 28 apresenta a troca de informações entre a camada SmartVision e módulo de visão.

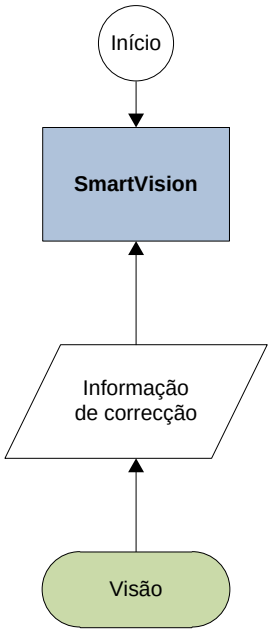


Figura 28 - Fluxo de mensagem do módulo de visão

4.3.5. Localização

O módulo de localização comporta toda a lógica responsável pela aquisição e processamento de informação de localização. Este módulo é constituído por diversos interfaces que capturam informação de fontes como GPS, RFID e Wi-Fi. Actualmente apenas são consideradas estas tecnologias, no entanto existe a possibilidade de integrar novas fontes de informação. Por si só, o módulo de localização já é dotado de um algoritmo que verifica a prioridade de informação recebida a cada momento, enviando apenas a informação necessária para a camada SmartVision. A Figura 29 apresenta o fluxo de mensagem do módulo de localização.

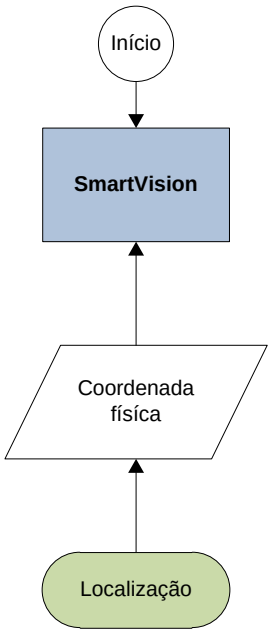


Figura 29 - Fluxo de mensagem do módulo de localização

Como referido, o sistema de localização desenvolvido obtém informação a partir de três sub-módulos, sejam GPS, Wi-Fi e RFID. Cada um dos sub-módulos é responsável pelo controlo de uma tecnologia em partícular, e é capaz de obter e processar dados da mesma, fornecendo ao sistema de localização apenas os dados filtrados e corrigidos. No sistema de localização são filtradas as informações provenientes dos diferentes sub-módulos e apenas é fornecida à camada SmartVision uma coordenada, a que melhor se aproxima da posição real do utilizador.

A localização representa um componente de extrema importância em qualquer sistema de navegação, sendo necessário assegurar a todo o momento onde o utilizador se encontra, tendo em conta o contexto que o rodeia a cada momento. O processo de aquisição, tratamento e fluxo de mensagens dos diferentes sub-módulos constituem o foco principal da presente dissertação, sendo detalhado o seu funcionamento no capítulo seguinte.

4.4. Considerações finais

Na caracterização do SmartVision foram apresentados os diversos componentes físicos e lógicos que constituem o sistema. A arquitectura foi construída de forma a ser o mais modular possível, escalável e que suporte a integração de uma diversidade de tecnologias de localização.

O sistema recorre a um conjunto de módulos para auxiliar o utilizador durante a sua mobilidade, informando-o sobre a existência de obstáculos nos percursos, identificando os pontos de interesse e estabelecendo rotas seguras, tanto no exterior de edifícios como no interior. A Figura 30 apresenta o fluxo de mensagens resumido entre os diversos módulos da arquitectura do SmartVision.

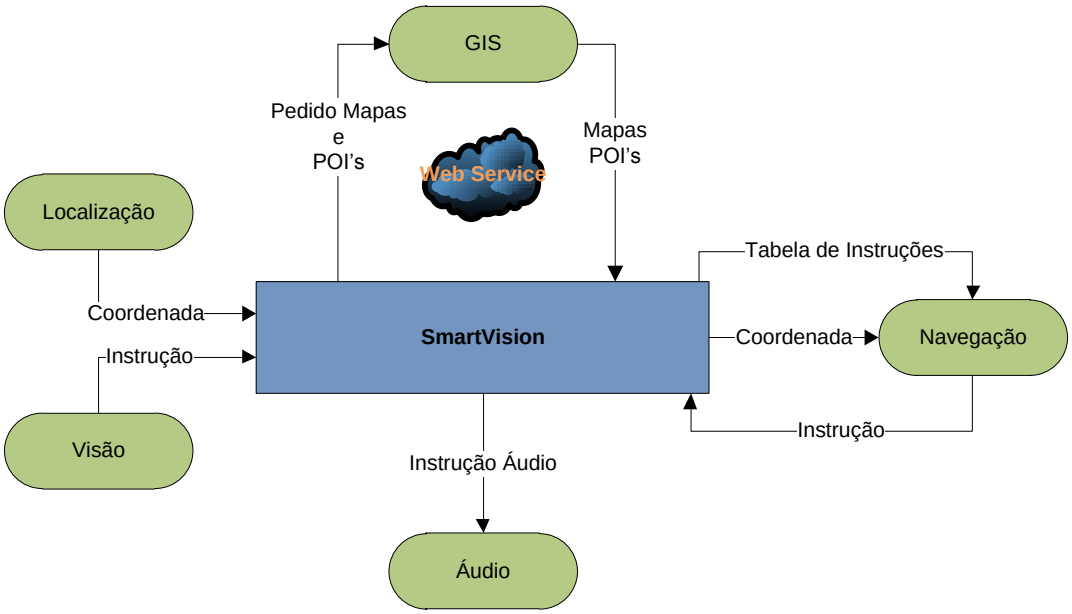


Figura 30 - Fluxo de mensagem do SmartVision

Um elemento crucial a toda a aplicação de navegação é o módulo de localização, sendo que este fornece informação relativa à posição do utilizador a cada momento, independentemente do ambiente de mobilidade. Em ambientes de mobilidade normais, os utilizadores sem deficiências físicas têm a percepção do ambiente que o rodeia, conseguindo mais facilmente atingir determinados destinos, no entanto, quanto o sistema de localização é

aplicado a utilizadores cegos, a sua localização deixa de ser uma mera representação geográfica, passando a constituir uma informação extremamente importante, assegurando muitas vezes a sua segurança.

O sistema de localização constitui desta forma o elemento central do presente estudo, sendo necessário avaliar diferentes fontes de dados de localização e de que forma podem ser melhoradas, podendo directa ou indirectamente contextualizar o utilizar num determinado ambiente, com grande precisão, sem dependência em relação às fontes de informação disponíveis no momento e independentemente do ambiente em que se encontre.

5 Sistema de localização

Nos capítulos anteriores foram abordadas algumas técnicas e tecnologias de localização frequentemente utilizadas na concepção de sistemas de localização, permitindo avaliar um conjunto de tecnologias viáveis para a elaboração de um sistema que funcione no interior e exterior de edifícios. O estudo de alguns sistemas baseados na localização permitiu também a definição de um conjunto de importantes requisitos na utilização de diversas tecnologias, de que forma podem ser aplicadas e respectivas limitações. O levantamento bibliográfico permitiu desta forma o estabelecimento de uma arquitectura híbrida, capaz de ultrapassar as limitações de diversos sistemas já desenvolvidos, combinando as características e especificidade de diversas tecnologias.

Neste capítulo será apresentado o sistema de localização desenvolvido, focando especialmente os sub-módulos de GPS e Wi-Fi. Para tal, é apresentada a estrutura dos diferentes módulos, e de que forma estes se interligam entre si.

5.1. Introdução

O módulo de localização do SmartVision desenvolvido no âmbito desta dissertação tem como principal objectivo a capacidade de determinar a localização de utilizadores no interior e exterior de edifícios, utilizando um conjunto de técnicas de localização aplicáveis a uma gama de tecnologias. Com base na análise de sistemas de localização considerados como referencia, foi traçado como objecto para o sistema de localização um erro médio igual ou inferior a 1 metro no exterior de edifícios, e um erro médio igual ou inferior a 4 metros no interior de edifícios. Foi também realizado um esforço desde o início para que fosse possível a adaptação do sistema de localização a qualquer edifício ou ambiente exterior de mobilidade dos utilizadores, desde que possua a infra-estrutura tecnológica necessária, bem como minimizar a dependência em relação a um tipo de tecnologia de localização, recorrendo à utilização de uma multiplicidade de tecnologias de suporte à localização.

Para integração no sistema SmartVision, o módulo de localização está preparado com um conjunto de interfaces, que serão utilizados sempre que existe nova informação de localização. Internamente, o sistema possui uma estrutura modular, sendo constituído por um conjunto de sub-módulos responsáveis pelo tratamento e processamento de dados de diversos componentes de hardware. A estrutura adoptada para o sistema de localização permite a integração de novas tecnologias e de novos sub-módulos de software para complementar a localização obtida, podendo melhorar a precisão da mesma.

O módulo de localização é desta forma responsável pela recepção de todas as mensagens com origem nos diferentes sub-módulos. Para a interligação do sistema de localização e os diferentes sub-módulos estão especificados um conjunto de interfaces, que identificam que tipos de dados são trocados. Assim, quando o sub-módulo de GPS tem disponíveis novas coordenadas válidas, utiliza o interface definido para enviar os dados para o sistema de localização. O processo é semelhante para o RFID, existindo no entanto mais informação: para além da coordenada geográfica do marcador RFID é também enviada a informação associada a esse marcador. No caso do Wi-Fi, existe um agente de aquisição de dados que recebe as potências de sinal dos pontos de acesso ao alcance do utilizador, utilizando os mesmos para estimar a sua posição. O agente representa um sub-módulo muito importante no sistema de localização, uma vez que é este que determinará a localização do utilizador no interior de edifícios.

As coordenadas que são enviadas para a camada SmartVision sofrem um processo de filtragem no sistema de localização, partindo-se do pressuposto que todas as coordenadas obtidas dos diferentes sub-módulos possuem prioridades e graus de confiança diferentes. Por exemplo, à medida que o utilizador se desloca num ambiente exterior, o sistema de localização recebe dados de um equipamento GPS e dados dos marcadores RFID colocados nos passeios, sendo que a coordenada obtida em ambas as tecnologia possuem prioridades diferentes, uma vez que a coordenada associada a um marcador RFID é estática e previamente guardada, não sofrem de interferência de obstáculos ou outro tipo de condicionantes, como acontece com o sinal do equipamento GPS. Partindo desde pressuposto, os dados enviados dos sub-módulos para o sistema de localização possuem uma prioridade associada, sendo enviado para a camada SmartVision aquela que melhor se aproxima da posição real do utilizador.

Uma importante distinção evidenciada durante a especificação do módulo desenvolvido é a localização no interior e exterior de edifícios. Os processos e tecnologias de localização utilizados em ambos os ambientes é diferente, sendo necessário defini-los.

5.2. Especificação do sistema de localização

O correcto levantamento de requisitos no desenvolvimento de um qualquer sistema tenta garantir que grande parte dos comportamentos esperados do sistema seja pensado e especificado para facilitar a sua implementação. No sistema de localização desenvolvido, a primeira preocupação a ter em consideração foi o ambiente de mobilidade do utilizador, sendo necessário especificar o conjunto de técnicas e tecnologias a utilizar em ambos os ambientes. Posteriormente, a maior complexidade na implementação do sistema residiu sobretudo na

optimização da precisão da posição obtida, dado extremamente importante devido à a natureza do tipo de utilizadores a que se destina o sistema SmartVision.

A tecnologia utilizada no desenvolvimento do módulo divide-se em dois ambientes distintos, interior e exterior de edifícios, sendo o processo de obter informação de localização também distintos. A localização obtida está dependente da tecnologia escolhida e utilizada em ambos os ambientes, tendo sido necessário criar mecanismos que optimizassem a qualidade da informação recebida dos diversos componente de hardware. Todos os dados recebidos de ambos os ambientes concentram-se num módulo único que comunica directamente com a camada SmartVision, o sistema de localização. A Figura 31 apresenta os diversos componentes do sistema de localização desenvolvido.

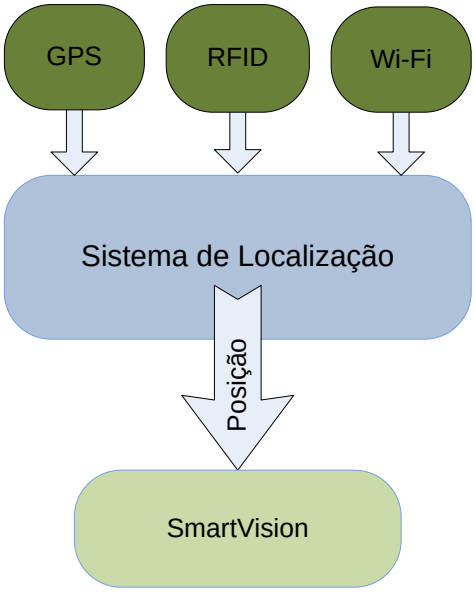


Figura 31 – Diagrama de blocos do sistema de localização

Na Figura 31, o sistema de localização representa um módulo lógico de software, responsável pela recepção de dados dos diferentes sub-módulos, bem como o tratamento desses dados, enviando uma coordenada, respeitante à posição actual do utilizador, para a camada SmartVision. O sistema se localização é modular, permitindo a adição de novos componentes de software, garantindo assim a escalabilidade do sistema.

Todo o sistema de localização foi desenvolvido de raiz, existindo desta forma homogeneidade da lógica computacional implementada. O facto de todos os sub-módulos terem sido desenvolvidos sobre a mesma base tecnologica, permitiu uma melhor definição de interfaces e conectores que possibilitem a futura integração de novos componentes de software, e por consequência a integração de novos componentes físicos no sistema.

Para a comunicação entre os diversos sub-módulos e o sistema de localização são utilizados um conjunto de interfaces, que definem o formato das mensagens, e que trocam informação através de eventos. Esta abordagem permite manter a conectividade ao dispositivo sem existir a necessidade de estar constantemente a consultar sobre a existência de novos dados, ficando a cargo do sub-módulo notificar o sistema de localização, e, por outro lado, a

facilidade de utilização do sub-módulo noutro tipo de sistemas semelhantes, sendo apenas necessário implementar a interface para estabelecer comunicação com o módulo de software.

Os sub-módulos do sistema de localização são responsáveis por um conjunto de actividades e estão associados a um componente de hardware em específico. No sistema de localização, os sub-módulos foram divididos de acordo com o ambiente em que vão operar, no interior ou exterior de edifícios.

5.2.1. Tecnologia *indoor*

No interior de edifícios é utilizada uma infra-estrutura de rede sem fios semelhante à existente no Campus Universitário. A tecnologia utilizada para a localização *indoor* complementa um conjunto de pontos de acesso e um computador portátil dotado de um interface de rede sem fios. A escolha da utilização da infra-estrutura de redes sem fios recai sobre a não necessidade de aquisição que novo equipamento dedicado ou específico para a localização de dispositivos móveis e pelo potencial de crescimento de aplicações baseadas nas redes sem fios.

Para determinar a localização do utilizador em ambiente *indoor* foi desenvolvido um agente de aquisição de dados, que é responsável pela aquisição de informação dos diferentes pontos de acesso ao alcance do equipamento do utilizador. O agente de aquisição de dados é o componente mais complexo e encontra-se implementado no sub-módulo Wi-Fi do sistema de localização. Para inferir a localização do utilizador é necessário conhecer a localização, com respectivas coordenadas, dos pontos de acesso, bem como estimar a distância do equipamento móvel aos respectivos pontos de acesso. Este cálculo estimado da distância corresponde ao passo mais importante na localização em interior de edifícios, tendo sido escolhido um modelo simples de localização, para um primeiro protótipo.

Os pontos de acesso foram georreferenciados recorrendo ao mesmo sistema de coordenadas usado pela tecnologia GPS, e como tal estão num sistema de coordenadas esféricas, não sendo possível aplicar o algoritmo de triangulação anteriormente enunciado. De forma a facilitar os cálculos da localização do utilizador, as coordenadas dos pontos de acesso são convertidas para um sistema de coordenadas cartesiano, sendo o resultado do cálculo convertido novamente para um sistema de coordenadas esféricas e enviado para o sistema de localização. Na Figura 32 é apresentado um digrama com o processo de conversão de coordenadas.

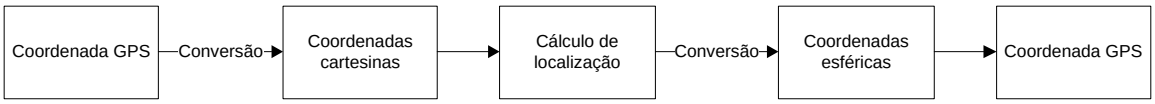


Figura 32 - Processo de conversão de coordenadas

Esta transformação de coordenadas é realizada em duas fases. Na primeira fase, é obtida a informação sobre os pontos de acesso que estão ao alcance do equipamento, sendo consultada uma base de dados contextual armazenada no sistema para obter as coordenadas geográficas associadas a cada ponto de acesso. São estas coordenadas que vão ser convertidas para um plano cartesiano. Juntamente com as coordenadas dos pontos de acesso, é também

convertida uma coordenada de referência, sendo que esta coordenada servirá como eixo de referência para o cálculo da localização no plano cartesiano.

Numa segunda fase, depois de realizado o cálculo da localização recorrendo ao algoritmo de triangulação, é necessário converter a posição obtida em coordenadas esféricas. Nesta fase será utilizada novamente a coordenada de referência, em que a localização do utilizador corresponderá à soma do ponto de referência utilizado com a conversão para decimal dos valores obtidos na triangulação. Durante as fases de conversão existe uma perda de precisão de localização de alguns centímetros.

5.2.2. Tecnologia *outdoor*

Para a localização no exterior de edifícios é utiliza uma tecnologia já com grande maturidade no mercado: o GPS. Para este ambiente foi desenvolvido um sub-módulo para o sistema de localização que estabelece uma ligação a uma antena GPS com interface *bluetooth*. A escolha do equipamento com este tipo de interface reside sobretudo na escalabilidade que se obtém quando for necessário migrar todo o sistema para outro tipo de equipamento. O sub-módulo é também capaz de estabelecer conectividade com outros tipos de equipamento GPS, quer utilizem interface *bluetooth*, ou por interface USB e porta série.

Para o desenvolvimento do sub-módulo de GPS foram ainda definidos um conjunto de filtros, que têm como objectivo filtrar os dados recebidos da antena GPS e descartar a informação desnecessária, evitando sobrecarregar o sistema de localização com esta tarefa.

No exterior de edifícios é ainda utilizado um sub-módulo de RFID que permite a ligação a um cana, instrumento vulgarmente utilizado por cegos. Na construção do ambiente de testes do sistema foram colocados marcadores RFID nos passeios do Campus Universitário. Estes marcadores foram georreferenciados e armazenados numa base de dados para posterior consulta. O objectivo do sub-módulo de RFID é obter a informação dos marcadores à medida que o utilizador se desloca dentro do Campus Universitário. A bengala é dotada de um leitor RFID de curto alcance e um terminal *bluetooth* para comunicar com a unidade central do sistema, verificando-se que à medida que o utilizador se vai movimentando, a cana lê os marcadores existentes nos passeios e envia a informação para o sub-módulo. Por sua vez, o sub-módulo RFID vai consultar a informação associada ao marcador obtido. Apesar de fazer parte do sistema de localização, a descrição da especificação e implementação do sub-módulo RFID não é abordada, uma vez que corresponde a um projecto paralelo ao sistema de localização que tem vindo a ser desenvolvido por outra equipa de trabalho.

A escolha pela utilização de diversas tecnologias recai sobretudo no facto de não existir uma fonte de informação única que funcione tanto no interior como exterior de edifícios. O GPS funciona apenas no exterior, e o Wi-Fi possui uma abrangência reduzida quando os utilizadores se deslocam para o exterior. Da mesma forma, possuindo técnicas de localização no interior e exterior, era necessário um mecanismo que reduzisse o erro, sendo escolhida para tal a tecnologia RFID. Todas estas tecnologias representam fontes de informação do sistema de localização que, a partir delas, irá obter a posição do utilizador. Com a utilização de diferentes fontes de informação obtemos também redundância da localização obtida, evitando a utilização e confiança apenas numa única tecnologia de localização.

5.3. Implementação do sistema de localização

Como referido, o sistema de localização é actualmente constituído por três sub-módulos de localização: Wi-Fi, para determinar a localização de utilizadores no interior de edifícios; GPS, para a localização de utilizadores no exterior de edifícios; e RFID, sendo utilizado para a localização no exterior de edifícios mas podendo ser facilmente utilizável como tecnologia de localização *indoor*. O sub-módulo de RFID, como já referido, foi desenvolvido por outra equipa de trabalho, não sendo abordada a sua implementação, apenas a forma de integração no sistema de localização.

Cada sub-módulo desempenha uma função específica no sistema de localização, acedendo e controlando os dados de um determinado componente de hardware. Todos os dados relativos à posição do utilizador serão enviados para o sistema de localização. A Figura 33 representa os componentes de lógica computacional associado ao sistema de localização.

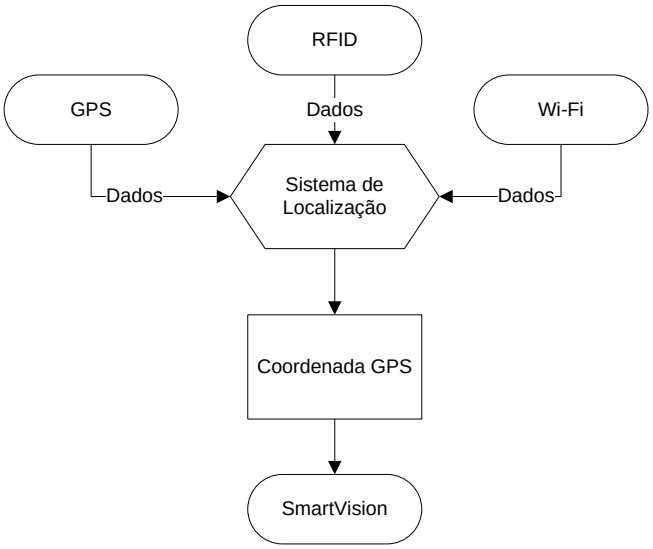


Figura 33 - Componentes lógicos do sistema de localização

O sistema de localização recebe os dados dos diferentes sub-módulos através de um conjunto de interfaces. Estes canais de comunicação são baseados em eventos e são utilizados sempre que existem novos dados relativos à posição do utilizador, permanecendo abertos nos restantes períodos de tempo. Na implementação dos diferentes módulos decidiu-se que o estabelecimento do canal de comunicação ficaria alocado no sub-módulo, sendo apenas necessário programar no sistema de localização novos conectores de dados necessários, de acordo com o interface definido no sub-módulo a adicionar.

Uma vez que o sistema de localização recebe dados de diferentes componentes, é necessário aplicar um algoritmo de escalonamento de prioridades. Este algoritmo foi implementado porque as diferentes fontes de informação possuem diferentes grau de certeza e precisão da localização do utilizador. A tecnologia que se apresenta com maior precisão é a tecnologia RFID, uma vez que os marcadores são georreferenciados, e, na obtenção de uma coordenada proveniente de RFID, é possível garantir com grande precisão a localização actual do utilizador. Nos restantes sub-módulos, a localização obtida está dependente das condições

físicas momentâneas, dos erros associados à propagação das ondas rádio e sobretudo à dificuldade em conseguir estimar com a mesma precisão a localização do utilizador.

De seguida é especificada a implementação dos sub-módulos de GPS e Wi-Fi, apresentando as diversas etapas de implementação.

5.3.1. Sub-módulo GPS

O sub-módulo de GPS foi desenvolvido para obter e processar informação de um equipamento GPS. Para a implementação do sub-módulo de GPS foi utilizada a plataforma .Net, sendo criada uma biblioteca de funções responsável pela aquisição de informação com origem no terminal GPS, e envio das coordenadas para o sistema de localização. No primeiro protótipo do sistema de localização é utilizado um terminal com alimentação própria e com ligação ao equipamento portátil através de *bluetooth*.

O equipamento GPS está constantemente a debitar informação. A Figura 34 representa um exemplo de dados recebidos do equipamento, referente aos satélites que recebe no momento no formato NMEA (National Marine Electronics Association), sendo necessário filtrar essa informação, descartando aquela que não é necessária. As frases NMEA são fornecidas a uma taxa de 1 frase por segundo.

```
$GPGGA,145315.000,4104.9217,N,00810.8034,W,1,8,1.18,295.1,M,51.3,M,,*4B
$GPGLL,4104.9217,N,00810.8034,W,145315.000,A,A*46
$GPGSA,A,3,17,09,27,15,12,22,18,26,,,,,2.18,1.18,1.84*0C
$GPGSV,3,1,10,27,70,016,45,09,69,340,46,26,68,125,29,15,56,137,39*72
$GPGSV,3,2,10,12,46,212,38,18,39,263,36,22,26,302,44,17,23,063,41*71
$GPGSV,3,3,10,30,12,221,,51,,,*4D
$GPRMC,145315.000,A,4104.9217,N,00810.8034,W,0.00,0.00,050610,,,A*73
$GPVTG,0.00,T,,M,0.00,N,0.00,K,A*3D
$GPGGA,145316.000,4104.9217,N,00810.8034,W,1,8,1.18,295.1,M,51.3,M,,*48
$GPGLL,4104.9217,N,00810.8034,W,145316.000,A,A*45
$GPGSA,A,3,17,09,27,15,12,22,18,26,,,,,2.18,1.18,1.83*0B
$GPGSV,3,1,10,27,70,016,45,09,69,340,46,26,68,125,29,15,56,137,39*72
$GPGSV,3,2,10,12,46,212,38,18,39,263,36,22,26,302,44,17,23,063,41*71
$GPGSV,3,3,10,30,12,221,,48,,,*45
$GPRMC,145316.000,A,4104.9217,N,00810.8034,W,0.00,0.00,050610,,,A*70
```

Figura 34 - Dados do terminal GPS

Cada frase recebida apresenta informação relativa aos satélites a que o terminal GPS consegue aceder. As informações recebidas são:

- **GPGGA** (*Global Positioning System Fix Data):* fornece informação dos dados com grande acuidade do satélite, permitindo a localização 3D do equipamento.
- **GPGLL** (*Geographic Position, Latitude / Longitude and Time):* fornece informação de latitude, longitude e data.

- **GPGSA** (*GPS DOP and Active Satellites):* fornece informação relativa ao modo de fixação do equipamento GPS aos diferentes satélites, indicando o número de satélites que o equipamento consegue captar e informação de DOP [6];
- **GPGSV** (*GPS Satellites in View):* fornece informação relativa ao número de satélites que o equipamento terminal consegue encontrar. Uma frase deste tipo retorna informação de apenas quatro satélites, existindo casos em que são necessárias mais frases deste tipo para obter informação sobre todos os satélites visíveis.
- **GPVTG** (*Track Made Good and Ground Speed):* fornece informação sobre a velocidade de deslocação em quilómetros e em milhas náuticas.
- **GPRMC** (*Recommended Minimum Specific GPS/Transit Data)*: corresponde à informação básica que um sistema deve retornar. Fornece informação de latitude, longitude, velocidade e data.

A frase mais importante a reter na informação recebida pelo terminal GPS é a GPRMC, Figura 35. Esta frase indica o estado da coordenada obtida (se está fixa ou é inválida) a latitude e a longitude no formato NMEA, a data e a velocidade de deslocamento do equipamento. Os dados que são filtrados da frase são a latitude e longitude, sendo estes dados a enviar para o sistema de localização.

Exemplo: $GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394,003.1,W*6A	
$GPRMC	**Identificação da frase recebida**
123519	Hora de fixação do equipamento 12:35:19
A	**Estado, A = Activo ou V = Vazio ou nulo**
4807.038, N	**Valor de latitude e hemisfério de orientação**
01131.000, E	**Valor de longitude e hemisfério de orientação**
022.4	Velocidade em milhas náuticas
084.4	Ângulo de azimute[7]
230394	Data actual do sistema
003.1	Variação Magnética
W*6A	Valor de verificação de dados

Figura 35 - Dados da frase GPRMC

Um problema encontrado nas coordenadas GPS recebidas pelo equipamento é o seu elevado erro para aplicações destinadas a pedestres: os utilizadores ao movimentarem-se em áreas urbanas podem obter uma posição com um erro demasiado elevada em relação à posição em que realmente se encontram. Desta forma foram introduzidos alguns filtros que melhoram a qualidade de informação recebida. A Figura 36 representa o fluxo de uma iteração do sub-módulo de GPS. Em cada iteração, são avaliados os dados recebidos, passando-os por uma cadeia de filtros até à obtenção da posição optimizada.

[6] DOP – Dilution Of Precision, relaciona a geometria do satélite com a qualidade da informação recebida sendo representado com um valor. Quanto menor for o valor, melhor será a localização.
[7] Ângulo ao longo do horizonte medido em graus entre 0 e 360, onde 0 representa Norte, 90 Leste, 180 Sul e 270 representa o Oeste. Este campo indica que o ângulo está próximo do Norte (084.4).

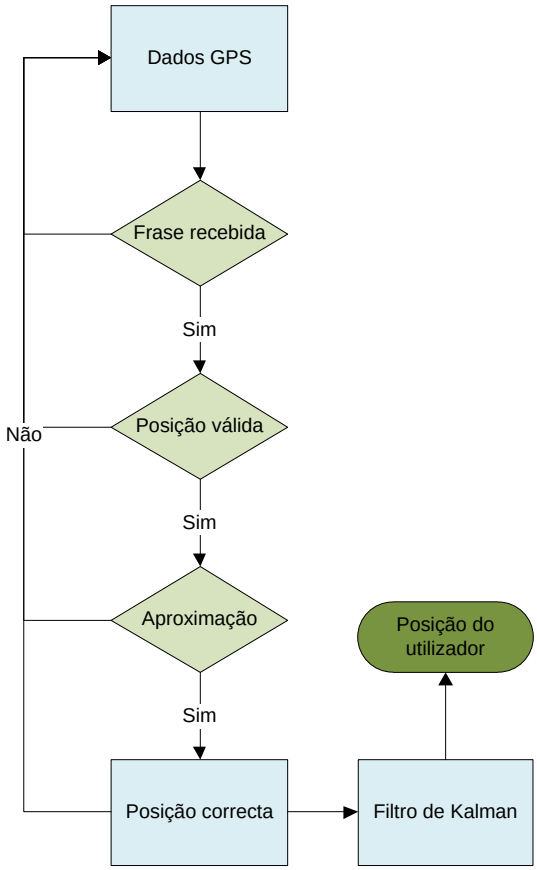


Figura 36 - Processo de filtragem do módulo GPS

No diagrama da Figura 36, o processo de "Dados GPS" recebe os dados que estão constantemente a ser debitados pelo terminal, ver Figura 34. À medida que os dados vão sendo recebidos, são submetidos a um conjunto de filtros para avaliar a sua qualidade e utilidade. O primeiro a ser aplicado é o filtro de "Frase"; como referido anteriormente, o equipamento GPS debita informação relativa à latitude, longitude e altitude do equipamento, velocidade, data do sistema, número de satélites em linha de vista, entre outro tipo de informações. Para o sistema de localização, os dados necessário são apenas os provenientes da frase GPRMC, sendo necessário descartar todas as restantes.

Quando é obtida esta frase, é aplicado um segundo filtro para determinar se os dados recebidos estão correctos. A forma de determinar se a posição é valida é verificando o estado da frase, ou seja, caso a frase possua um 'A' no estado significa que a coordenada recebida é válida e que foi obtida a partir de no mínimo 3 satélites; caso contrário, a frase é descartada pois a posição não corresponde a uma posição real do utilizador e a antena não se encontra fixada.

Obter uma posição válida na frase recebida é condição necessária para passar ao próximo filtro do sub-módulo de GPS. Nos sistemas de navegação para automóveis os utilizadores seguem um conjuntos de leis da estrada, e na referenciação dos mapas está identificado o sentido de deslocação das faixas de rodagem e sabe-se que direcção o utilizador está a seguir. Nestas aplicações são criadas aproximações à posição do utilizador, pois espera-se que o utilizador circule na faixa correcta e no sentido correcto. No entanto, quando o sistema é transposto para pedrestes, estes movem-se livremente no ambiente de mobilidade, não sendo possível supor a sua correcta posição. De forma a melhorar a qualidade da sua posição, sempre

que é recebida uma nova coordenada neste filtro, esta vai ser comparada com a coordenada obtida anteriormente, resultando que se a distância for demasiado elevada a coordenada será descartada. Este filtro é aplicado porque em ambientes densos com muitos objectos e obstáculos, a passagem de veículos, ou a circulação perto de edifícios, pode incutir o sistema em erro e fornecer assim uma coordenada com um erro demasiado elevado.

Uma importante fonte de dados para melhorar a qualidade da informação recebida pelo GPS é a utilização do histórico de navegação. De forma a fornecer uma melhor localização baseada no histórico foi utilizado o filtro de Kalman, correspondendo ao último filtro a ser aplicado no sub-módulo de GPS. O filtro de Kalman é frequentemente utilizado para combinar dados obtidos de diferentes sensores, de forma a obter dados estatisticamente óptimos. O filtro de Kalman sobre certas condições é capaz de encontrar a melhor estimativa baseada na correcção de cada medida individual. No âmbito do sistema de localização, não foi implementado o filtro de Kalman, mas sim utilizada a biblioteca GPS Framework (GPS Framework for .NET, 2010). A GPS Framework foi recentemente tornada Open Source pelos seus criadores, e possui algumas funcionalidades que permitem uma melhor interacção com dispositivos GPS. Uma das funcionalidades utilizadas foi o aumento de precisão do terminal à custa do filtro de Kalman. Na Figura 37 é apresentado um exemplo de aplicação do filtro de Kalman.

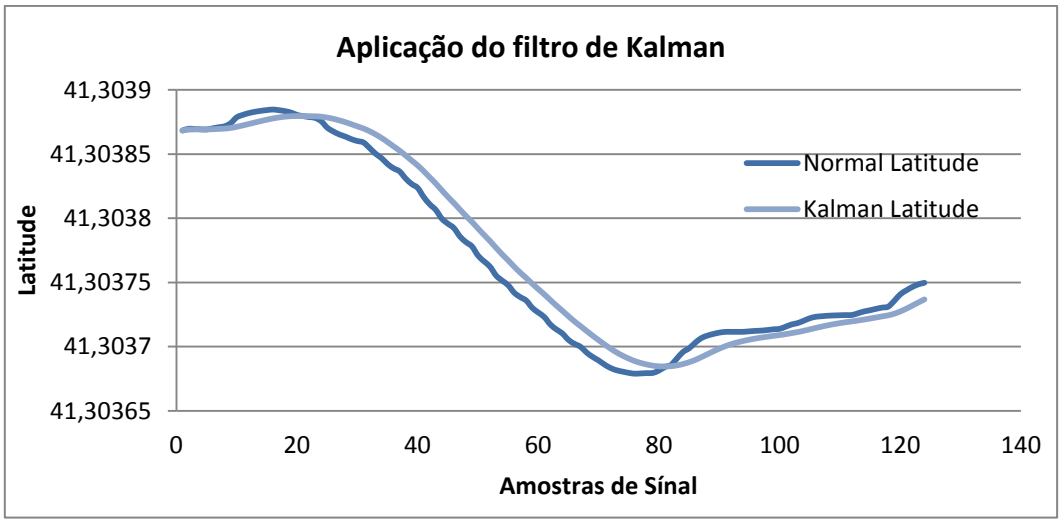


Figura 37 - Exemplo de aplicação do filtro de Kalman

O módulo de GPS desenvolvido constitui um bloco lógico isolado que pode ser utilizado em diferentes sistemas semelhantes ou outros que necessitem de informação GPS. O módulo de localização possui um evento, assinado pelo sistema de localização, que é despoletado sempre que exista nova informação de localização. A utilização da GPS Framework permitiu o reconhecimento automático de um equipamento GPS ligado ao sistema, não sendo necessário realizar qualquer tipo de configuração no software para a utilização da antena GPS.

5.3.2. Sub-módulo Wi-Fi

O processo de localização no interior de edifícios baseia-se nas coordenadas fixas dos pontos de acesso no espaço físico de localização. O espaço físico de localização representa toda a área abrangida pela infra-estrutura de rede sem fios que, no presente caso de estudo, representa um edifício no interior do Campus Universitário. O processo de localização no interior de edifícios corresponde ao componente mais complexo do sistema de localização, devido sobretudo às características de propagação de sinal das redes sem fios e à dificuldade de criar uma aproximação mais exacta do utilizador a diferentes pontos de acesso.

A implementação do sistema de localização no interior de edifícios desenvolveu-se em duas fases, necessárias para o estabelecimento de uma base genérica de desenvolvimento de um agente de aquisição de dados, e de forma a uniformizar e identificar os dados necessários.

Numa primeira fase, foi necessário realizar um levantamento dos pontos de acesso disponíveis no ambiente de teste, e georeferenciar os mesmos. A sua localização absoluta constitui uma informação essencial ao processo de localização no interior de edifícios.

Numa segunda fase, depois de criar o ambiente de desenvolvimento, procedeu-se ao desenvolvimento do agente de aquisição de dados, responsável pela recolha de informação dos diversos pontos de acesso. A Figura 38 representa o funcionamento do agente de aquisição de dados.

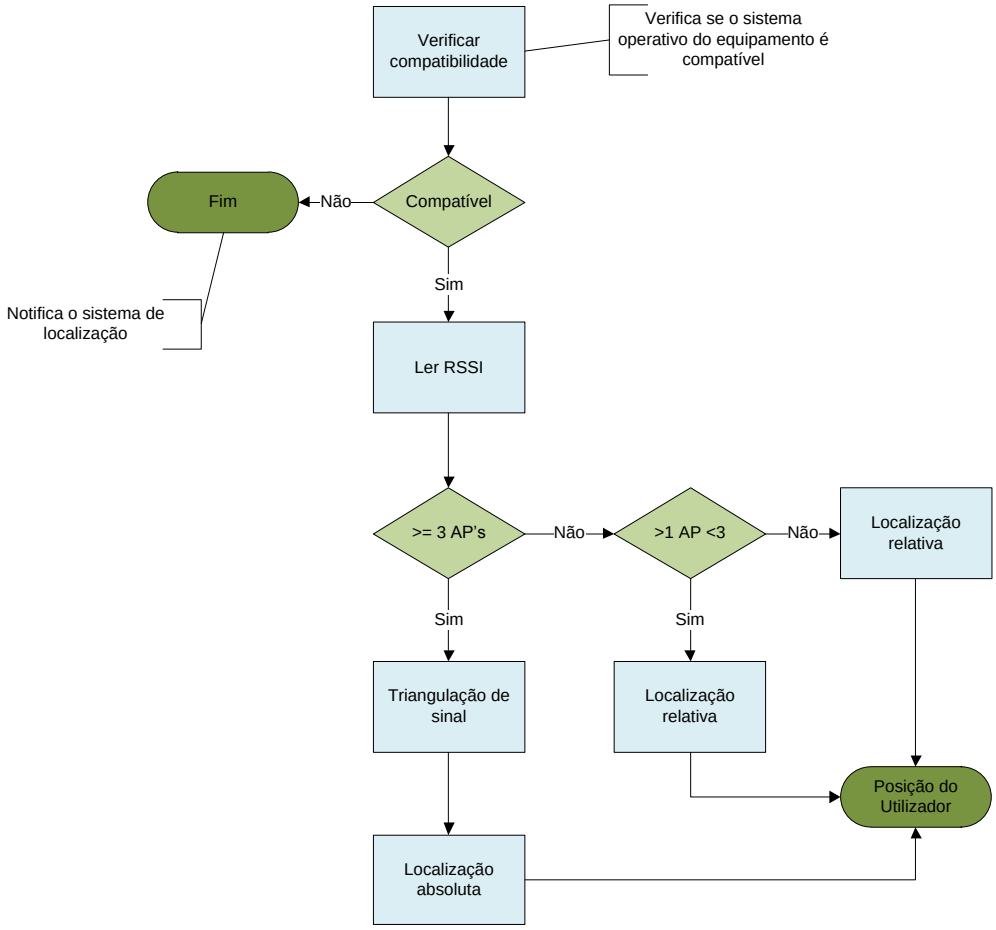
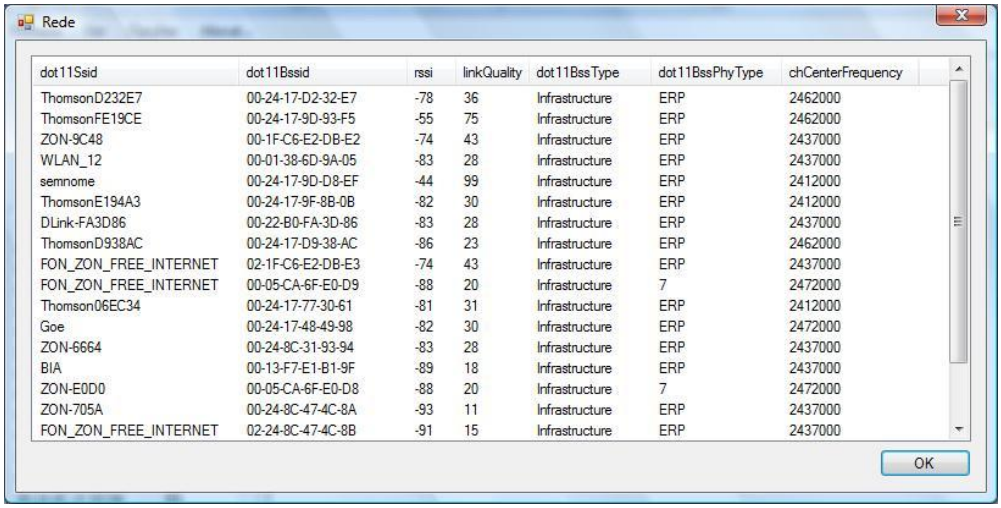


Figura 38 - Diagrama de funcionamento do agente de aquisição de dados

O primeiro passo do fluxo de funcionamento do agente de aquisição de dados é a verificação da compatibilidade do sistema. O agente utiliza um conjunto de bibliotecas disponibilizadas pelo sistema operativo, pelo que podem existir situações em que não existe compatibilidade.

Se existir compatibilidade de sistema operativo, o agente vai começar a consultar as bibliotecas do sistema operativo para obter informação relativa aos pontos de acesso que estão ao alcance do equipamento. A Figura 39 representa a informação disponibilizada pelo interface de rede sem fios. O agente consegue obter informação de potência de sinal, qualidade de sinal, frequência de canal utilizado pelo ponto de acesso, entre outro tipo de informações. Para o primeiro protótipo do sistema de localização apenas foi utilizado o valor da potência de sinal recebida (valor RSSI[8]), o valor do SSID[9] (que será utilizado para apenas obter informação dos pontos de acesso da "eduroam") e o valor de BSSID[10], para determinar qual é o ponto de acesso sobre o qual o agente obtém informação. É também com base no BSSID que se ira consultar a base de dados de contexto das posições dos pontos de acesso, para realizar a triangulação de sinal. Caso não exista compatibilidade do sistema operativo, o protótipo do agente de aquisição de dados não conseguirá obter informação do interface de rede.



dot11Ssid	dot11Bssid	rssi	linkQuality	dot11BssType	dot11BssPhyType	chCenterFrequency
ThomsonD232E7	00-24-17-D2-32-E7	-78	36	Infrastructure	ERP	2462000
ThomsonFE19CE	00-24-17-9D-93-F5	-55	75	Infrastructure	ERP	2462000
ZON-9C48	00-1F-C6-E2-DB-E2	-74	43	Infrastructure	ERP	2437000
WLAN_12	00-01-38-6D-9A-05	-83	28	Infrastructure	ERP	2437000
semnome	00-24-17-9D-D8-EF	-44	99	Infrastructure	ERP	2412000
ThomsonE194A3	00-24-17-9F-8B-0B	-82	30	Infrastructure	ERP	2412000
DLink-FA3D86	00-22-B0-FA-3D-86	-83	28	Infrastructure	ERP	2437000
ThomsonD938AC	00-24-17-D9-38-AC	-86	23	Infrastructure	ERP	2462000
FON_ZON_FREE_INTERNET	02-1F-C6-E2-DB-E3	-74	43	Infrastructure	ERP	2437000
FON_ZON_FREE_INTERNET	00-05-CA-6F-E0-D9	-88	20	Infrastructure	7	2472000
Thomson06EC34	00-24-17-77-30-61	-81	31	Infrastructure	ERP	2412000
Goe	00-24-17-48-49-98	-82	30	Infrastructure	ERP	2472000
ZON-6664	00-24-8C-31-93-94	-83	28	Infrastructure	ERP	2437000
BIA	00-13-F7-E1-B1-9F	-89	18	Infrastructure	ERP	2437000
ZON-E0D0	00-05-CA-6F-E0-D8	-88	20	Infrastructure	7	2472000
ZON-705A	00-24-8C-47-4C-8A	-93	11	Infrastructure	ERP	2437000
FON_ZON_FREE_INTERNET	02-24-8C-47-4C-8B	-91	15	Infrastructure	ERP	2437000

Figura 39 - Informação disponibilizada pelo interface de rede sem fios

Depois de receber informação do interface de rede, o agente vai avaliar o número de pontos de acesso que tem ao alcance para calcular a posição do utilizador. Caso o número de pontos de acesso disponível seja inferior a 3, a posição retornada ao sistema de localização corresponde a uma posição relativa, directamente relacionada com a área de abrangência dos pontos de acesso. Com um ponto de acesso, o utilizador encontra-se na sua área de abrangência. Com dois pontos de acesso, a posição do utilizador é referente à área de sobreposição de ambos. O caso ideal seria existir no mínimo 3 pontos de acesso ao alcance do equipamento, permitindo calcular a posição absoluta do utilizador através de triangulação de sinal. Uma forma de melhorar a qualidade da informação de localização obtida quando existem menos de 3 pontos de acesso é consultar o histórico e realizar uma aproximação à localização do utilizador.

[8] RSSI – Received signal strength indication
[9] SSID – Service set ID
[10] BSSID – Basic service Set ID

Conhecendo a posição de cada ponto de acesso no espaço de localização e da distância a que o dispositivo móvel se encontra em relação a um dado ponto de acesso, é possível localizar o dispositivo móvel. No entanto, dadas as características das coordenadas GPS, é necessário um processo de transformação de dados, de forma a ser possível retornar a posição do utilizador no formato WGS84, anteriormente enunciado.

No caso ideal, para determinar a posição do utilizador, seria necessário existir no mínimo a potência de sinal de 3 pontos de acesso ao alcance do utilizador. Quando este caso acontece é possível aplicar o algoritmo de triangulação de sinal para inferir a posição do utilizador. A Figura 40 representa o processo de triangulação de sinal identificado anteriormente na Figura 38.

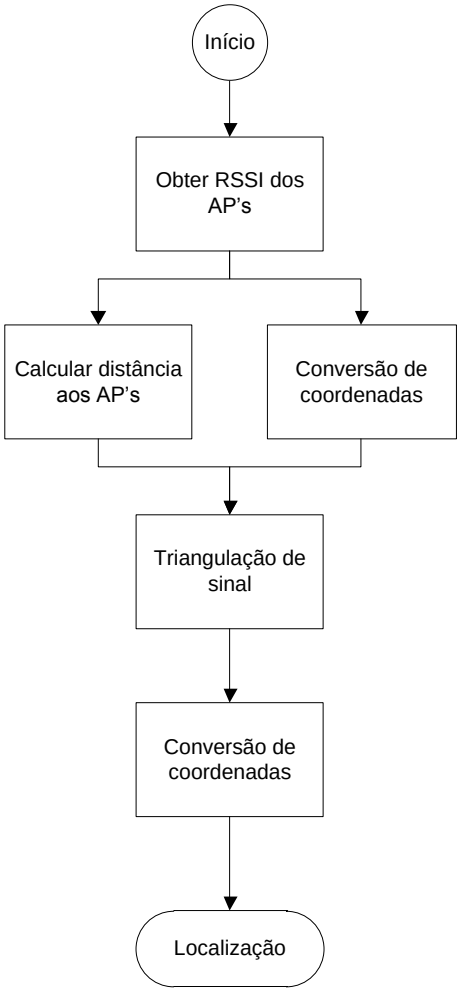


Figura 40 – Processo de triangulação de sinal

O processo de triangulação de sinal é iniciado sempre que existe no mínimo três pontos de acesso ao alcance do equipamento do utilizador. Se o número de pontos de acesso for superior a 3, são escolhidos aqueles com um valor de potência de sinal mais baixo, ou seja, aqueles que estão mais perto do equipamento móvel.

Depois de determinados quais os pontos de acesso a serem utilizados para os cálculos, são realizadas duas tarefas em paralelo: o cálculo da distância do equipamento móvel aos diferentes pontos de acesso e a conversão de coordenadas dos mesmos, depois de consultadas as suas posições geográficas.

Para calcular a distância entre o equipamento móvel e os pontos de acesso é utilizado um modelo de propagação de sinal da Cisco, sendo o que melhor representa a variação da potência de sinal neste caso de estudo (Carvalho, 2007). O modelo de propagação de sinal é apresentado na Equação 1.

$$\text{Distância} = 10\left(\frac{\text{RSSI}*0.61+\text{Pt}+\text{Gt}+\text{Gr}+\log10(\text{F})}{21}\right) * \ 1000$$

Equação 1 - Modelo de propagação

Este modelo é utilizado para descrever a atenuação dos valores de potência de sinal (RSSI) das ondas Wi-Fi em relação à distância percorrida, sendo Pt, a potência transmitida, Gt, o ganho obtido na transmissão, Gr, o ganho obtido na recepção e F a frequência do canal.

Para a conversão de coordenadas esféricas para um plano cartesiano são seguidos um conjunto de passos, com fórmulas simples de cálculo: primeiro foi necessário determinar qual a distância que corresponde a um grau de latitude e um grau de longitude. Para isso, determinou-se a distância entre dois pontos GPS, tendo sido para efeito de cálculos foram utilizados os pontos que representam os cantos do edifício Engenharias I. Sabendo essa distância é possível determinar quantos graus de latitude ou longitude correspondem a um metro.

$$\text{Distância} = {}^{(\text{Dp} * 1)}/_{\text{Df}}$$

Equação 2 – Modelo para determinar a distância em metros de valores de latitude e longitude

Na Equação 2, 'Dp' representa a distância calculada entre dois pontos GPS distintos e 'Df' a diferença aritmética entre os mesmos pontos. A distância em metros de um grau de latitude ou longitude corresponde a uma regra de três simples, que determina que diferença de distância entre pontos GPS é necessária para um metro. No caso da presente equação, um grau de latitude corresponde a aproximadamente 83501,622 metros e um grau de longitude corresponde a aproximadamente a 111245,7627 metros.

O passo seguinte no processo de conversão de coordenadas consiste em determinar a posição de um determinado ponto de acesso tendo em conta um plano cartesiano, em que o ponto de origem do plano, posição (0,0), representa uma coordenada GPS.

Depois de realizados os dois passos anteriores, é aplicado o algoritmo de triangulação, tendo em conta a posição dos três pontos de acesso, utilizando a fórmula da Equação 3.

$$(\text{X},\text{Y}) = \begin{cases} \text{R}_1^2 = (\text{X} - \ \text{H}_1)^2 + (\text{Y} - \ \text{K}_1)^2 \\ \text{R}_2^2 = (\text{X} - \ \text{H}_2)^2 + (\text{Y} - \ \text{K}_2)^2 \\ \text{R}_3^2 = (\text{X} - \ \text{H}_3)^2 + (\text{Y} - \ \text{K}_3)^2 \end{cases}$$

Equação 3 – Algoritmo de triangulação

Na Equação 3, os valores (H, K) representam as coordenadas dos pontos de acesso num plano cartesiano, 'R' identifica a distância a que o utilizador de encontra de determinado ponto de acesso e (X, Y) são as coordenadas que se pretendem obter. Teoricamente, o algoritmo determina a posição do utilizador com base no conhecimento da posição dos pontos de referência e a distância a que nos encontramos dele, no entanto, a imprevisibilidade das ondas de rádio das redes sem fios dificulta o processo, uma vez que o modelo de propagação utilizado

não é totalmente eficaz, existindo a possibilidade da distância entre o equipamento do utilizador e o ponto de acesso estar errada.

Para obter as coordenadas geográficas a partir da posição obtida com o algoritmo de triangulação, é novamente aplicado a conversão de coordenada, mas desta vez de forma inversa: possuímos as coordenadas no plano cartesiano e pretendemos converter para coordenadas esféricas. Para realizar este processo aplica-se a Equação 4, sabendo que um grau corresponde aproximadamente 83501,622 metros de latitude e a 111245,7627 metros de longitude.

$$(\mathrm{X},\mathrm{Y}) = \left(\mathrm{P}(\mathrm{x\ U\ y}) * 1 \Big/ \mathrm{Dg} \right) + \mathrm{Po}(\mathrm{X},\mathrm{Y})$$

Equação 4 – Modelo para converter as coordenadas no plano cartesiano em coordenadas esféricas

Em que P (x U Y) representa a coordenada 'x' ou 'y' resultante do algoritmo de triangulação, 'Dg' representa a distância em metros de um grau de latitude ou longitude e 'Po' representa o ponto de origem utilizado inicialmente para a conversão para o plano cartesiano. O processo seguido para realizar a conversão de coordenada é apresentado na Figura 41.

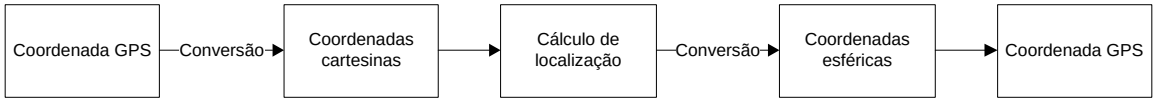


Figura 41 - Processo de conversão de coordenadas

5.4. Considerações finais

A utilização de uma multiplicidade de tecnologias de localização tem como objectivo fornecer de forma redundante a posição do utilizador, tentando assegurar de certa forma que existe sempre informação de localização independentemente do ambiente em que se encontre, não recorrendo exclusivamente a uma fonte de dados.

No presente capítulo foi especificada a implementação do sistema de localização. Este componente representa uma importante fonte de dados para o sistema SmartVision, uma vez que fornece a base de qualquer sistema de navegação: a posição do utilizador. O sistema de localização ainda se encontra em desenvolvimento, sobretudo o sub-módulo Wi-Fi, onde residem os maiores desafios para determinar a localização de utilizadores com grande precisão.

Foram encontradas um conjunto de soluções para melhorar a posição do utilizador no exterior de edifícios, designadamente a implementação de um conjunto de filtros, com maior relevância para o filtro de Kalman. No entanto, no interior de edifícios residem os problemas da propagação das ondas rádio, a adaptação dinâmica dos pontos de acesso às necessidades de tráfego dos utilizadores e também a dificuldade de obter com grande precisão a posição dos pontos de acesso.

O sub-módulo de RFID representa um projecto paralelo ao desenvolvimento do sistema de localização, sendo no entanto uma fonte de dados do mesmo. O módulo RFID possui um repositório de dados que contém informação sobre todos os marcadores RFID colocados nos

percursos pedrestes, a sua localização geográfica e a informação contextual que pode ser fornecida ao utilizador. À medida que o utilizador se vai deslocando, a bengala com o leitor RFID vai captando dados dos marcadores que se encontram nos passeios, e a coordenada geográfica associada aos mesmos é enviada para o sistema de localização. Para a comunicação com o sistema de localização foi criado um interface de comunicação sendo os dados trocados através de eventos.

A aplicação do sistema de localização será apresentada no próximo capítulo, juntamente com a apresentação das características físicas dos ambientes de mobilidade e os testes realizados sobre os mesmos.

6 Testes e resultados

Este capítulo apresenta o conjunto de testes executados sobre o sistema de localização desenvolvido. Os testes foram aplicados sobre os dois ambientes de mobilidade, interior e exterior de edifícios, sendo apresentados os resultados obtidos.

6.1. Introdução

O sistema de localização desempenha um papel muito importante no SmartVision, uma vez que é este que vai despoletar todo o processo de navegação do utilizador, fornecendo a cada momento a sua localização tendo sempre presente o ambiente em que se situa. Desta forma foi necessário testar o sistema de localização de forma a avaliar os dados recebidos dos diferentes sub-módulos, a precisão obtida pelo mesmo e que tipos de dados seriam enviados para a camada SmartVision.

Para avaliar o desempenho do sistema de localização foram executados vários testes, realizados dentro de uma área específica do Campus Universitário: no interior do edifício Engenharias I da UTAD, para a realização de testes *indoor*, e na área envolvente ao edifício, para os testes *outdoor*. Nestes ambientes, para efeitos de testes *indoor*, foi instalada uma infra-estrutura de rede Wi-Fi semelhante à infra-estrutura existente no Campus Universitário, mas totalmente independente desta, criando um ambiente controlado de testes e potenciando a possibilidade de migração do sistema para todo o Campus sem grandes dificuldades. Para a realização de testes *outdoor*, foi apenas definido um percurso na área envolvente do edifício Engenharias I.

Os testes executados dividem-se então em dois ambientes distintos: interior e exterior de edifícios, tendo como objectivo principal determinar o erro associado ao processo de localização em ambos os ambientes. De seguida será apresentada a especificação dos testes de ambos os ambientes, sendo também apresentados os resultados obtidos.

6.2. Testes *indoor*

Os testes *indoor* tinham como objectivo avaliar o impacto da variação de sinal recebido pelo equipamento móvel dos diferentes pontos de acesso em diferentes momentos, num ambiente dinâmico e num ambiente estático, e avaliar a precisão do sub-módulo de localização indoor desenvolvido no ambiente do sistema de localização. Estes testes foram realizados de forma a consolidar alguns conhecimentos adquiridos na análise de projectos de referência anteriormente enunciados.

A Figura 42 representa o ambiente interior escolhido para a realização dos testes *indoor*: edifício Engenharias I do Campus Universitário da UTAD. Este ambiente foi escolhido por se tratar de um local multifacetado, sendo composto por gabinetes de docentes, espaços amplos e abertos, espaços mais fechados com bastantes obstáculos e por se tratar de um local onde existe muito movimento durante o dia, sendo possível avaliar diferentes cenários de mobilidade.

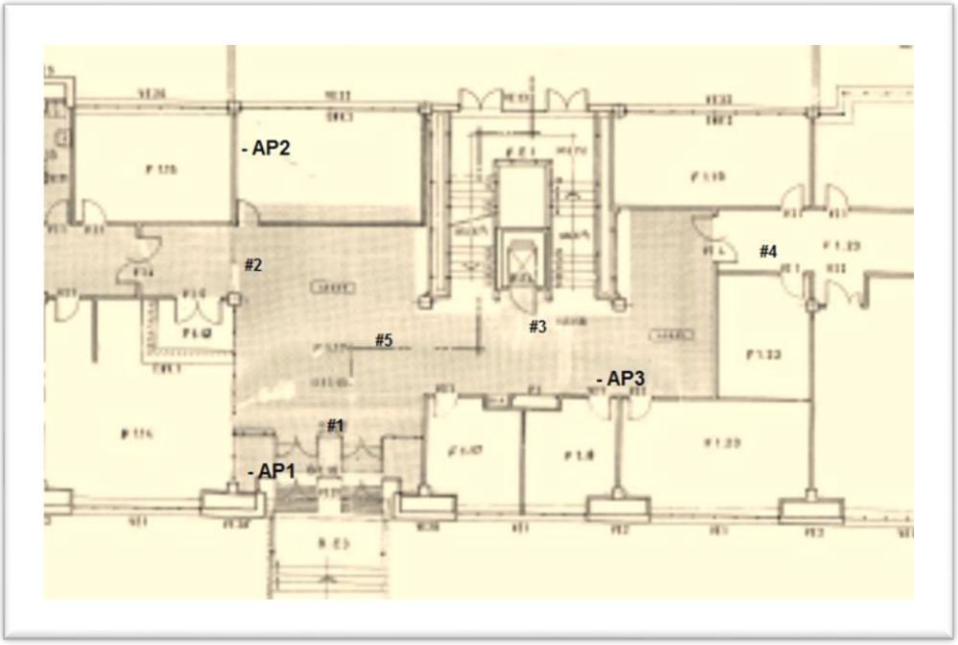


Figura 42 – Ambiente de testes *indoor*

Na Figura 42 é ainda representado a localização dos pontos de acesso (AP1, AP2 e AP3), bem como a localização onde foram realizadas as amostras de sinal (números de um a cinco) para avaliar a precisão do sub-módulo de localização Wi-Fi. Para a recolha de amostras de sinal do ambiente de testes foi utilizado um computador portátil, HP DV5296ea com um interface de rede sem fios modelo 3945ABG da Intel.

Os pontos de acesso utilizados para a realização dos testes formam uma rede privada, sem qualquer tipo de conexão à infra-estrutura de rede da UTAD, garantindo desta forma um ambiente de testes muito mais controlado e seguro. Esta rede foi ainda criada de acordo com os requisitos do Centro de Informática da Universidade, de forma a dar continuidade aos projectos que têm sido desenvolvidos sobre a rede sem fios e a manter a integridade da infra-estrutura da rede.

6.2.1. Comportamento das ondas Wi-Fi

Em (Carvalho, 2007) é apresentado testes relativos ao comportamento das ondas Wi-Fi realizados no mesmo ambiente de testes do presente trabalho. Estes testes tinham como objectivo consolidar alguns conhecimentos adquiridos na análise de projectos de referência. Por exemplo, é comum encontrar estudos de mostram que a variação de um sinal Wi-Fi numa dada posição tem uma variação de cerca de 5 dBm. De modo a confirmar esses valores foram registados os valores de potência de sinal relativamente a um ponto de acesso em três situações distintas, apresentados na Figura 43.

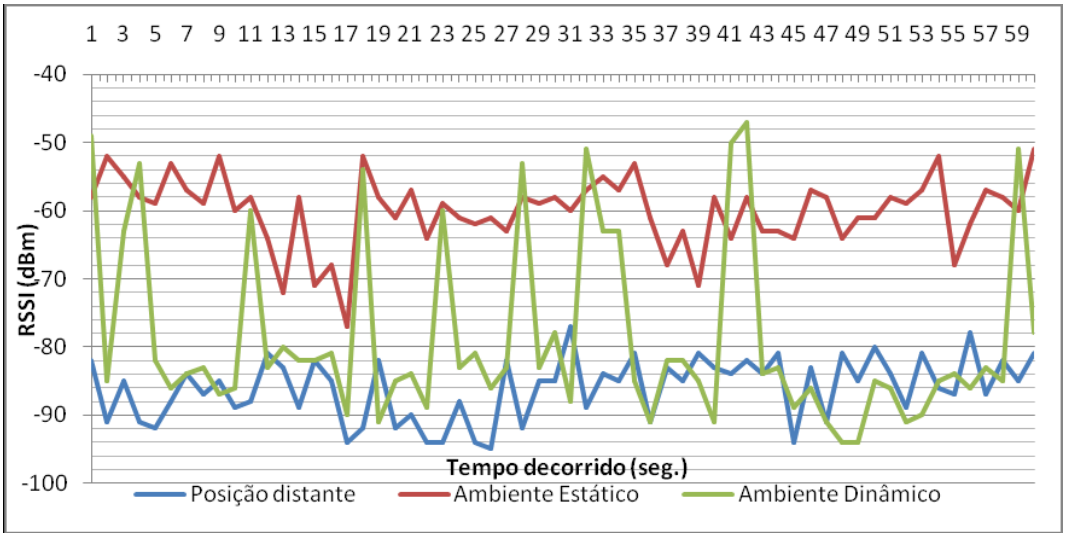


Figura 43 – Variação de sinal em dois momentos distintos (Carvalho, 2007)

Os testes apresentados na Figura 43 representam amostras relativas ao ambiente estático, retiradas quando não havia movimentações dentro do edificios, e ao ambiente dinâmico, que representa as amostras retiradas no mesmo local, mas num período em que existia grandes movimentações no edíficio. Na Figura 43 verifica-se que no ambiente estático a potência de sinal recebida sofre menos interferências e consequentemente existe uma menor variação de sinal. Por outro lado, no ambiente dinâmico, existe uma maior variação de sinal devido sobretudo ao maior número de utilizadores no ambiente de testes, confirmando desta forma os testes realizados em projectos de referência.

6.2.2. Processo de localização

Para melhor avaliar o desempenho e fiabilidade do sub-módulo Wi-Fi foram realizadas recolhas de amostras de potências de sinal em diferentes pontos dos ambientes de testes. As posições onde foram realizadas as amostragens estão representadas na Figura 42 pelos números #1, #2, #3, #4 e #5. Este teste tinha como objectivo avaliar o erro associado ao processo de localização. O processo de localização indoor consiste em obter as potências de sinal dos pontos de acesso, converter o sistema de coordenadas para realizar a triangulação de sinal e realizar o processo inverso, de forma a obter as coordenadas esféricas da posição do utilizador. Na Figura 44 é apresentada a variação do erro associado ao processo de localização do utilizador nos diferentes pontos de aquisição de sinal.

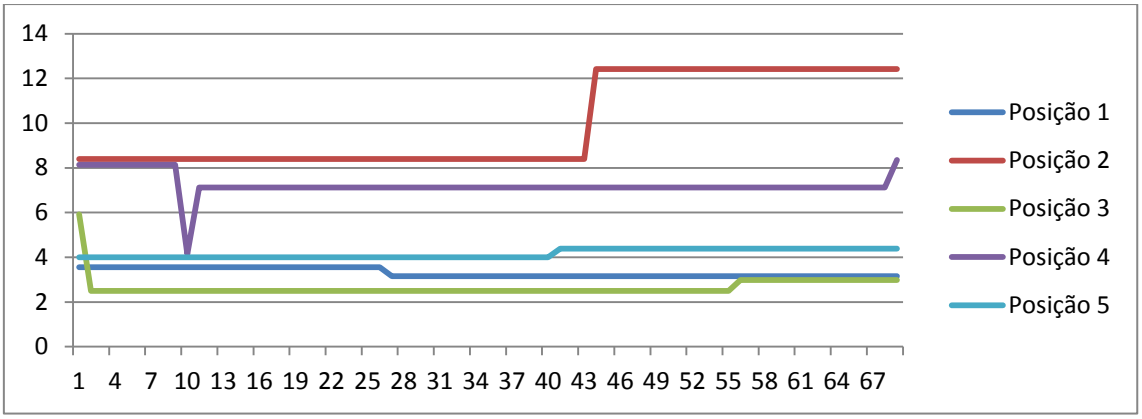


Figura 44 – Variação do erro do processo de localização

Na Figura 44 pode-se observar que existem três posições, 1,3 e 5, em que o erro associado à posição se mantém inferior a 6 metros; nos restantes casos, o erro é demasiado elevado, tendo sido provocado por uma variação inconstante da potência de sinal recebida dos pontos de acesso e pela falta de exactidão na georreferenciação dos pontos de acesso. O erro máximo obtido durante a execução dos testes foi de 12 metros, e o mínimo foi de 2,5 metros.

De forma a avaliar o impacto da qualidade da georreferenciação dos pontos de acesso, foram utilizados os mesmos cálculos do processo de localização a distâncias reais entre os pontos de acesso, e entre o utilizador e os diferentes pontos de acesso

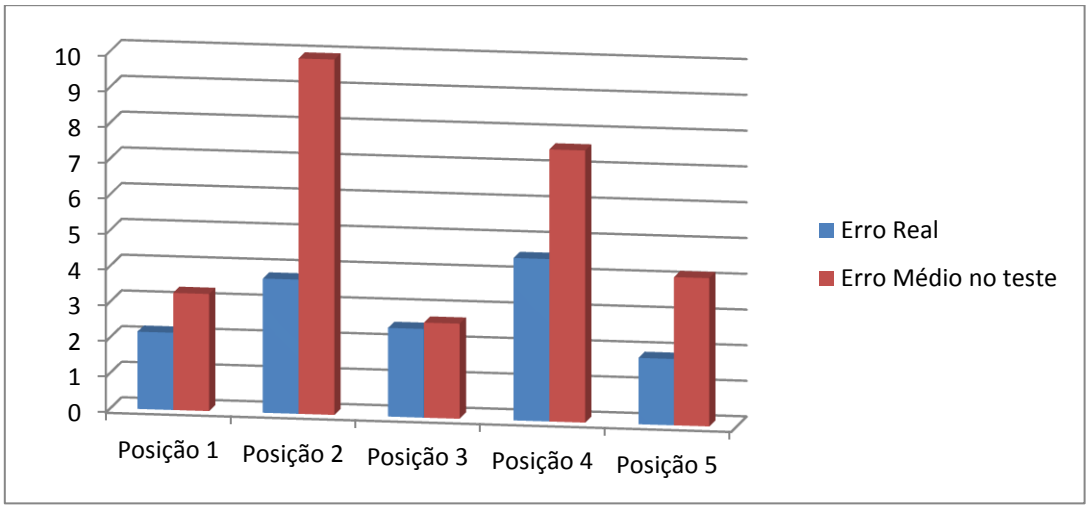


Figura 45 – Variação do erro médio em relação ao erro real

Na Figura 45 é apresentada a variação do erro médio em cada ponto, e comparada essa variação com o erro real obtido. Na figura é possível observar que existe um erro associado ao processo de georreferenciação dos pontos de acesso, e que esse erro se repercute pelo processo de localização do sub-módulo Wi-Fi.

6.3. Testes *outdoor*

Os testes realizados no exterior do edifício têm como objectivo avaliar o desempenho do sub-módulo GPS associado ao sistema de localização desenvolvido. O ambiente adoptado para a realização dos testes é um passeio de pedestres junto ao edifício Engenharias I do Campus Universitário. O ambiente e percurso para efeitos de teste são apresentados na Figura 46.

Figura 46 – Ambiente de testes *outdoor*

A escolha do percurso de teste recai sobretudo pela proximidade ao edifício, utilizado também para os testes *indoor*. O mesmo conjunto de testes poderia ser realizado em qualquer outro local, uma vez que se pretende apenas avaliar o desempenho e qualidade de dados do sub-módulo de GPS.

Para a realização dos testes foi utilizado um computador portátil da HP modelo DV5296ea e uma antena GPS CBTGPS32 com interface *bluetooth* da Conceptronic. Para a realização dos testes, a antena GPS já se encontrava sincronizada com os satélites, ou seja, no início dos testes o equipamento já estava a receber e a transmitir para o computador portátil coordenadas geográficas válidas. Nos testes realizados apenas foi testado um equipamento GPS, não sendo testada a precisão da localização com outros tipos de equipamentos. Este é um facto que, de certa forma, limita os resultados uma vez que existem no mercado equipamentos mais robustos e com melhores antenas receptoras, podendo melhorar a precisão da localização obtida. Para o desenho do percurso real executado no teste do sub-módulo foi utilizada a aplicação Google Earth e para a representação gráfica dos percursos obtidos pelo equipamento GPS foi utilizada uma aplicação *on-line*, o GPS Visualizer (GPS Visualizer, 2003). O percurso de teste realizou-se da esquerda para a direita, ou seja, o ponto mais à esquerda do percurso representado na Figura 48 representa o ponto de partida.

Durante o percurso de teste, o software instalado no computador portátil registou dois tipos de dados: por um lado obteve-se os dados em bruto, retirados directamente das instruções recebidas da antena GPS aplicando apenas os filtros mínimos, tais como a remoção de instruções não validas ou necessárias para as coordenadas geográficas. Por outro lado, obteve-se os dados resultantes da aplicação do filtro de Kalman (enunciado no capítulo anterior) sobre os dados recebidos em bruto. Esta abordagem permite que se tenha um termo de comparação do percurso estabelecido, com coordenadas geográficas conhecidas, e os percursos obtidos pelo equipamento GPS, quer com os dados em bruto como com os dados resultantes da aplicação do filtro. Na Figura 47 é apresentada uma representação gráfica de ambos os percursos sem a utilização do filtro (A) e com a utilização do filtro de Kalman (B).

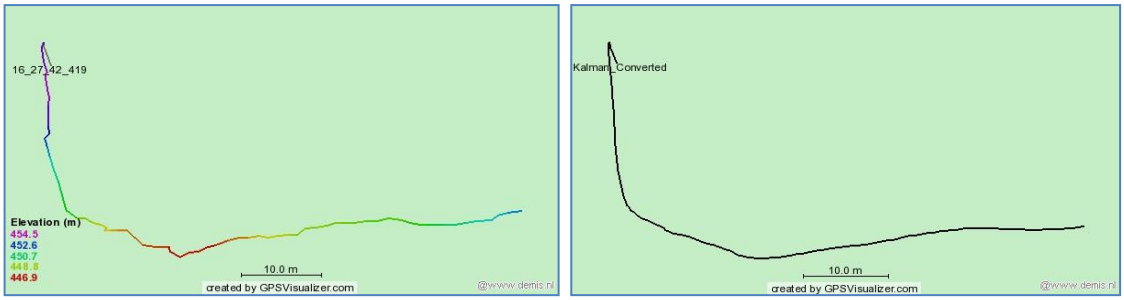


Figura 47 - (A) Percurso sem filtro, (B) Percurso com filtro de Kalman

O primeiro percurso representa o percurso obtido sem filtro nos dados recebidos pelo equipamento GPS. Na figura é possível observar que existe uma variação nas coordenadas recebidas. Num sistema como o SmartVision, os dados obtidos directamente do equipamento GPS poderiam induzir o utilizador em erro, afectando o percurso, uma vez que uma pequena variação num passeio com 1 metro de largura, poderia significar estar ou não em cima do passeio. Para melhorar os dados do equipamento GPS foi aplicado o filtro de Kalman. A imagem B na Figura 47 representa o mesmo percurso com o filtro aplicado. Na figura podemos observar que as coordenadas utilizadas para o percurso possuem uma menor variação de sinal. O filtro de Kalman quando aplicado no sub-módulo de GPS permite obter uma localização estimada ideal com base na informação de histórico, obtida anteriormente.

Na Figura 48 é apresentada a comparação de percursos utilizando o sub-módulo de GPS. A azul está representado o percurso real realizado, tendo sido desenhado com recurso à aplicação Google Earth. A verde e a vermelho estão representados os percursos obtidos pelo equipamento durante a realização dos testes. A linha vermelha representa o percurso obtido com a utilização do filtro de Kalman e a linha a verde representa o percurso obtido sem qualquer filtro nos dados.

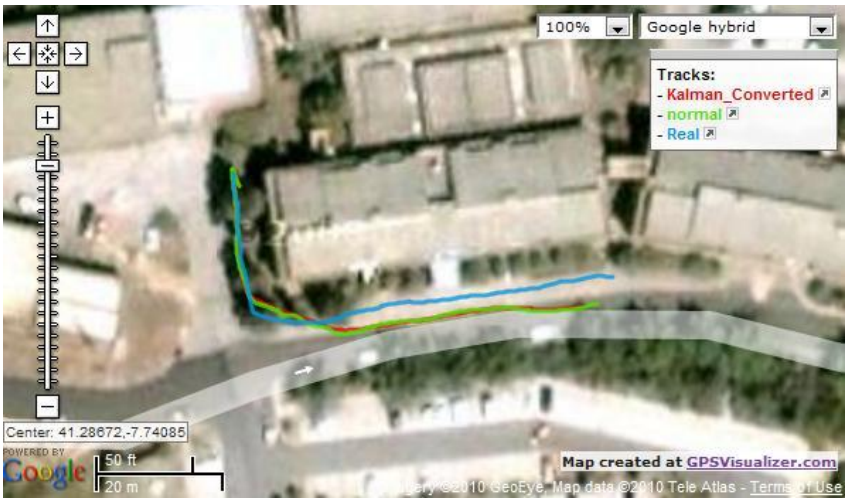


Figura 48 – Diferença entre o percurso real e o percurso obtido pelo equipamento GPS com e sem filtro

De um modo geral, o percurso obtido pelo equipamento GPS encontra-se dentro dos limites do passeio do ambiente de testes. Embora o erro não seja tão pequeno quanto se queira para o sistema de localização, existem um conjunto de factores a ter em consideração: por um lado existem erros associados a representação dos percursos obtidos no Google Earth, ou seja, quando é desenhado um percurso no Google Earth, o percurso gerado terá informação com a

altitude e curvatura do planeta, no entanto, quando é integrado um conjunto de pontos, obtidos pelo sub-módulo GPS, sem dados de altitude, o percurso será representado num plano, deturpando a verdadeira localização de alguns pontos. Outro factor que pode afectar a qualidade dos dados obtidos diz respeito à qualidade do equipamento terminal GPS utilizado. Em equipamento de menor valor, existe uma menor precisão da localização obtida, muito relacionada com a qualidade dos componentes utilizados pelo terminal GPS.

6.4. Considerações finais

O conjunto de testes realizados revelou que em ambos os ambientes de mobilidade existe alguma dificuldade em estimar com a precisão desejada a localização do utilizador. No interior de edifícios esta dificuldade reside sobretudo na falta de precisão das coordenadas geográficas dos pontos de acesso acessíveis ao utilizador. Outros factores que afectam a qualidade da precisão obtida estão relacionados com o processo de conversão de coordenadas e influência que as paredes e os pilares têm na propagação das ondas Wi-Fi.

Na localização *outdoor*, com a utilização do filtro Kalman, grande parte do percurso obtido com o equipamento GPS encontra-se dentro dos limites do passeio, constituindo um erro menor quando comparado com o erro obtido na localização Wi-Fi. Alguns factores que afectam a qualidade dos dados obtidos no exterior são a existência de obstáculos físicos, a proximidade ao edifício, as limitações que não podem ser ultrapassadas, e a qualidade da antena do terminal GPS utilizado para realizar a captura de dados.

Por seu lado, no interior de edifícios verificou-se que o erro médio obtido em três posições de cinco se encontra igual ou inferior a 4 metros, sendo os restantes casos superior. Estes valores encontram-se de acordo com os objectivos estabelecidos inicialmente para o sistema de localização, sendo que o aumento da precisão e a diminuição do erro está dependente da correcta georreferenciação dos pontos de acesso do edifício Engenharias I da UTAD.

7 Conclusão

Este trabalho apresenta como principal contributo o estabelecimento de uma arquitectura para um sistema de localização, integrado numa aplicação de navegação para utilizadores cegos e invisuais, o sistema SmartVision. Para o desenvolvimento desde trabalho foram estudados um conjunto de técnicas e tecnologias de localização que poderiam ser utilizados em diferentes ambientes de mobilidade, sem que existisse dependência numa única fonte de dados de localização. O estudo bibliográfico veio também potenciar o conhecimento relativamente ao funcionamento de um conjunto de sistema de localização, e de que forma era possível optimizar um conjunto de técnicas com vista a melhorar significativamente a informação de localização do utilizador.

Como resultado de todo o estudo desenvolvido, e testes aplicados, é proposto um sistema de localização adaptável em diversos tipos de ambientes, com possibilidade de integração de diversos tipos de tecnologia e com a lógica computacional necessário para fornecer sempre a melhor localização possível com base nas fontes de dados existentes.

7.1. Objectivos Alcançados

Interligação com o sistema de navegação para cegos SmartVision:

Este objectivo foi cumprido, uma vez que a arquitectura do SmartVision e a arquitectura do sistema de localização partilham a mesma base de desenvolvimento, tendo sido desenvolvido um esforço desde o início para que ambas as aplicações fossem modulares e escaláveis.

Criação dos algoritmos necessários à determinação da localização do utilizador no interior de edifícios recorrendo à infra-estrutura de redes sem fios:

Para cumprir este objectivo foi desenvolvido um agente de aquisição de dados que tem como objectivo obter dados relativos às potências de sinal recebidas dos diversos pontos de acesso ao alcance do equipamento móvel.

Criação dos mecanismos necessários para interligação com a tecnologia RFID utilizada na bengala criada para a mobilidade do utilizador:

O módulo de RFID corresponde a um projecto paralelo ao presente trabalho, razão pela qual não foi apresentada a sua especificação e implementação, no entanto, e uma vez que o módulo partilha da mesma base tecnológica da arquitectura SmartVision, foram criados os interfaces necessários para comunicar com o leitor RFID acoplado à bengala desenvolvida para o projecto.

Criação do algoritmo capaz de adquirir informação de um receptor GPS no exterior de edifícios:

Foi criado o módulo de localização GPS, que implementa um conjunto de filtros de dados de forma a optimizar a informação recebida do equipamento GPS, tendo sido os objectivos propostos para sub-módulo de GPS cumpridos, uma vez que o percurso obtido durante os testes executados possui um erro igual ou inferior a um metro, em relação ao percurso real realizado.

Obter um erro igual ou inferior a um metro no exterior de edifícios e obter um erro igual ou inferior a quatro metros no interior de edifícios, sem recurso a tecnologias auxiliares:

Os objectivos gerais quantitativos traçados para o sistema de localização foram na sua maioria cumpridos, tendo sido determinado que sobre condições ideias seria possível obter um erro médio inferior a 4 metros na localização *indoor*, ficando a precisão obtida nos testes condicionada pela qualidade da informação disponível para realizar os testes. Por outro lado, no exterior do edifício os resultados obtidos cumpriram os objectivos propostos, tendo sido obtido um erro de localização inferior a um metro.

Compreender os conceitos inerentes à localização de utilizadores no interior e exterior de edifícios e estudar as diferentes tecnologias de localização e de que forma podem ser utilizadas para a localização de utilizadores cegos:

Este objectivo constituiu condição necessária para se obter *know-how* relativamente aos processos de localização no interior e exterior de edifícios, tendo sido realizado um levantamento relativamente as tecnologias de localização existentes e que tecnologias poderiam ser utilizadas para fornecer serviços de localização. Posteriormente, o estudo de sistemas considerados de referência permitiu o levantamento de um conjunto de funcionalidades básicas para o desenvolvimento de um sistema de localização e que tipos de técnicas poderiam ser utilizados para optimizar a informação de localização obtida.

7.2. Trabalho futuro

O sistema de localização híbrido desenvolvido poderá ter no futuro diversos aperfeiçoamentos, nomeadamente no que diz respeito à análise da planta o edifício, de forma a

permitir a correcção de atenuações da potência de sinal provocadas por todo o tipo de objectos presentes no espaço físico de localização.

Um factor muito importante no sistema de localização que necessita de ser melhorado está relacionado com a precisão das coordenadas dos pontos de acesso, factor determinante para diminuir o erro associado à localização *indoor*.

Outro ponto de extrema importância a analisar no sistema de localização é o escalonamento de prioridades das fontes de informação que identifiquem com maior precisão a posição do utilizador. O algoritmo de escalonamento de prioridades permitirá uma correcta transição entre ambientes de mobilidade do utilizador, como por exemplo a passagem de *outdoor* para *indoor*.

Existe ainda um grande número de aplicações que poderão ser desenvolvidas com base na informação de localização fornecida pelo agente de aquisição de dados, bem como a adaptação do agente de forma a auxiliar no planeamento e organização da infra-estrutura da rede Wi-Fi.

Bibliografia

1. *Location definition*. (2000). Retrieved 09 29, 2010, from The Free Dictionary: http://www.thefreedictionary.com/location

2. *GPS Visualizer*. (2003). Retrieved 10 23, 2010, from GPS Visualizer: Do-It-Yourself Mapping: http://www.gpsvisualizer.com/

3. *InformIT*. (2007). Retrieved 10 23, 2010, from http://www.informit.com/guides/content.aspx?g=security&seqNum=83

4. *Glossary*. (2009). Retrieved Outubro 15, 2009, from Wi-Fi Certified makes it Wi-Fi: http://www.wi-fi.org/knowledge_center_overview.php?type=3

5. *Radar Basics*. (2009). Retrieved Outubro 20, 2009, from Radar Basics: http://www.radartutorial.eu/index.en.html

6. *Real Time Location System (RTLS) Overview .* (2009). Retrieved Outubro 21, 2009, from ekahau: http://www.ekahau.com/products/real-time-location-system/overview.html

7. *GPS Framework for .NET*. (2010). Retrieved 25 8, 2010, from Code Plex: http://gps3.codeplex.com/

8. *World Geodetic System* . (2010). Retrieved 08 30, 2010, from World Geodetic System : https://www1.nga.mil/ProductsServices/GeodesyGeophysics/WorldGeodeticSystem/Pages/default.aspx

9. Abowd, R. J. (2000). The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking. *Proceedings of the 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*.

10. Ayers, W. J. (2007). *Guidelines on Cell Phone Forensics.* Gaithersburg,: National Institute of Standards and Technology.

11. Balakrishnan, N. B. (2000). The Cricket Location-Support System. *6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*.

12. Binghao Li, A. D. (2005). Hybrid Method for Localization Using WLAN.

13. Binghao Li, J. S. (2006). Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN. *First IEEE International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communication*, (pp. 13-16). Sydney, Australia.

14. Borriello, J. H. (2001). A survey and taxonomy of location systems for Ubiquitous Computing.

15. Borriello, J. H. (2001). Location Sensing Techniques.

16. Carvalho, J. (2007). *Localização de Dispositivos Móveis em Redes Wi-Fi.* Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

17. Corporation, B. (2003). IEEE 802.11g: The new Mainstream Wireless LAN Standards. *Irvine.* California.

18. Dilão, R. (2002). *GPS (Global Positioning System)*. Retrieved 01 20, 2010, from Latitude e Longitude, Instrumentos e Medição: http://www.cienciaviva.pt/latlong/anterior/gps.asp

19. Dilão, R. (n.d.). *GPS (Global Positioning System)*. Retrieved 06 10, 2010, from Latitude e Longitude, instrumento e medição: http://www.cienciaviva.pt/latlong/anterior/gps.asp

20. Francisco Teixeira, S. P. (2009). *Documentação*. Retrieved Outubro 15, 2009, from Comunidade RFID Portugal: http://www.portalrfid.net/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=6&id=15&Itemid=48

21. Francisco Teixeira, S. P. (2009). *Documentação*. Retrieved Outubro 15, 2009, from Comunidade RFID Portugal: http://www.portalrfid.net/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=6&id=15&Itemid=48

22. *Global Positioning System - Serving the World*. (n.d.). (National Space-Based Positioning, Navigation, and Timing Coordination Office) Retrieved Outrubro 13, 2009, from The Global Positioning System : http://www.gps.gov/systems/gps/index.html

23. Guerreiro, J. (s/a). *CARACTERÍSTICAS DO SINAL*. Retrieved 03 20, 2010, from Sistemas de Posicionamento por Satélite: http://www.geodesia.org/

24. Hielm, J. (2002). *Creating Location Services for the Wireless Web.* New York: John Wiley & Sons, Inc.

25. Hoek, T. F. (2006, 01 1). *Cellular Telephone Basics*. Retrieved 06 18, 2010, from How Stuff Works: http://electronics.howstuffworks.com/framed.htm?parent=cell-phone.htm&url=http://www.privateline.com/Cellbasics/Cellbasics.html

26. Hongpeng Wang, F. J. (2007). A Hybrid Modeling for WLAN Positioning System.

27. Jaime Lloret, J. T. (2009). A Hybrid Stochastic Approach for Self-Location of Wireless Sensors in Indoor Environments.

28. Jeffrey Hightower, C. V. (2001). Design and Calibration of the SpotON Ad-Hoc Location Sensing System.

29. Kao, U. R. (2005). Suitability of Positioning Techniques for Location-based Services in wireless LANs. *PROCEEDINGS OF THE 2nd WORKSHOP ON POSITIONING, NAVIGATION AND COMMUNICATION*.

30. LIU, L. M. (2004). LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID. *10*.

31. Mendonça, C. (2010). *Projeções cartográficas*. Retrieved 09 29, 2010, from UOL Educação: http://educacao.uol.com.br/geografia/ult1701u70.jhtm

32. Netwalk. (1997). *Radio Fundamentals*. Retrieved 06 15, 2010, from http://www.netwalk.com/~fsv/homepage2.htm

33. Niche, R. (2008). *How does GPS "triangulation" work?* Retrieved 07 20, 2010, from How GPS Works: http://www.how-gps-works.com/faq/q0110.shtml

34. Oliveira C., F. C. (2005). ABC das Ondas Electromagnéticas. *Projecto monIT*.

35. Padmanabhan, P. B. (2000). RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System. *II*(775-784).

36. Paul Hii, A. Z. (2005). Improving Location Accuracy by Combining WLAN Positioning and Sensor Technology.

37. Roy Want, A. H. (1992). The Active Badge Location System.

38. Sabbour, A. A. (2007). *WiGuide: Indoor System for LBS.* Faculty of Media Engineering and Technology German University in Cairo.

39. Stefan Steiniger, M. N. (2004). Foundations of Location Based Services.

40. Sweeney, P. J. (2005). *RFID for Dummies.* Wiley Publishing, Inc.

41. Sylvie Treuillet, E. R.-M. (2007). BODY MOUNTED VISION SYSTEM FOR VISUALLY IMPAIRED OUTDOOR AND INDOOR WAYFINDING ASSISTANCE. *Conference & Workshop on Assistive Technologies for People with Vision & Hearing Impairments*.

42. Union, I. T. (2007). *ITU-R Frequently asked questions*. Retrieved 06 15, 2010, from http://www.itu.int/ITU_R/terrestrial/faq/index.html

43. Z. Xiang, S. S. (2004). A wireless LAN-based indoor positioning technology. *48*.

44. Zhu, J. (2006). *Indoor/Outdoor Location of Cellular Handsets Based on Received Signal Strength.* Georgia: School of Electrical and Computer Engineering.