



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

João Paulo da Fonseca Fernandes

**Localização em Redes Wi-Fi**

Outubro de 2012



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

João Paulo da Fonseca Fernandes

## **Localização em Redes Wi-Fi**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Engenharia Informática

Trabalho efectuado sob a orientação de  
**Professor Doutor António Costa**  
**Professora Doutora Maria João Nicolau**

Outubro de 2012

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos meus professores, Doutor António Costa e Doutora Maria João Nicolau pela competência científica e acompanhamento do trabalho, pela disponibilidade e generosidade reveladas ao longo destes anos de trabalho, assim como pelas críticas, correções e sugestões relevantes feitas durante a orientação.

Durante a realização deste projecto e ao longo da minha formação, recebi sempre o apoio da minha família. Obrigado a todos, em especial ao meu pai José Fernandes, á minha mãe Rosalina Fonseca e aos meus dois irmãos, Nuno Fernandes e Ana Fernandes.

Outra pessoa que sempre me deu força e incentivo, foi a minha namorada Liliana Pereira. Obrigado por tudo.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os meus amigos e colegas de turma.



# Resumo

Hoje em dia, existem cada vez mais aplicações que disponibilizam serviços baseados na localização dos utilizadores. Esse conhecimento é extremamente útil em várias situações, como por exemplo na monitorização de pacientes de um centro hospitalar ou para sistemas de segurança.

Em ambientes exteriores, a localização de dispositivos já é assegurada pelo serviço GPS (Global Position System) com uma precisão satisfatória. Contudo dentro de edifícios, não existem muitos sistemas que permitam localizar equipamentos móveis à precisão desejada e a um baixo custo. Com a proliferação das redes sem fios 802.11 pelos edifícios de todo o mundo, faz sentido pensar em soluções que tirem partido dessas infraestruturas para a implementação de um sistema de localização interior. Assim, os custos de implementação desse sistema seriam muito reduzidos uma vez que não é necessário adquirir equipamentos dedicados.

Nos sistemas de localização Wi-Fi podemos separar o trabalho corrente em duas famílias. Uma é baseada nos modelos de propagação de sinal, e outra baseada no mapeamento da força do sinal recebido. Neste projeto, o sistema de localização implementado tem por base a segunda técnica. Isto porque, a técnica de *fingerprinting* normalmente obtém melhores resultados pois tem em consideração os efeitos de atenuação do sinal por obstáculos e divisões.

Este documento descreve o trabalho realizado na implementação do sistema de localização. O ambiente alvo foi o piso 3 do departamento de informática. São explicadas as decisões tomadas no aperfeiçoamento dos vários módulos, no desenvolvi-

mento das aplicações do cliente e na implementação dos algoritmos de localização.

**Palavras-chave:** Wi-Fi, Fingerprinting, localização.

# Abstract

Nowadays, there is an increasing number of applications that provide location-based services to their clients. The knowledge of the user location is extremely useful in many situations, such as monitoring patients in a hospital or for security systems.

In outdoor environments, the localization of a device is already provided by the service GPS (Global System Position) with satisfactory accuracy. However, inside the buildings there aren't many systems that can locate a mobile device with the desired accuracy at low cost.

With the proliferation of wireless networks 802.11 in buildings around the world, makes sense to think of a solution that take advantage of these infrastructures for implementing an indoor localization system. Thus, the costs of implementing this system would be greatly reduced since it is not necessary to acquire dedicated equipment.

In Wi-Fi location systems, we can separate current work in two main families. One is based on signal propagation models and the other is based on mapping the received signal strength. In this project, the localization system implemented is based on the second technique. The fingerprinting technique typically gets better results as it takes into account the effects of signal attenuation by obstacles and walls.

The document describes the implementation of the localization system. The target environment was the 3rd floor of the informatics department at the University of Minho. The decisions taken in the project are explained like the development of the client application and the implementation of location algorithms.

**Keywords:** Wi-Fi, Indoor, Localization.



# Índice

<b>Lista de Acrónimos</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação . . . . .	2
1.2 Objetivos . . . . .	5
1.3 Estrutura do documento . . . . .	6
<b>2 Localização no interior de edifícios</b>	<b>9</b>
2.1 Localização em redes Wi-Fi . . . . .	10
2.1.1 Técnicas de localização . . . . .	11
2.1.2 Sistemas de Localização . . . . .	16
2.2 Aplicações de localização dentro de edifícios . . . . .	20
2.3 Comparação dos sistemas de localização . . . . .	21
<b>3 Concepção do Sistema de Localização em redes Wi-fi</b>	<b>23</b>
3.1 Requisitos do Sistema . . . . .	23
3.2 Arquitectura do sistema . . . . .	25
3.2.1 Fase Offline . . . . .	25
3.2.2 Fase Online . . . . .	28

<b>4</b>	<b>Implementação do Sistema de Localização</b>	<b>31</b>
4.1	Hardware e Software utilizados . . . . .	31
4.2	Aplicação de Captura nos Pontos de Acesso . . . . .	33
4.3	Fase offline (Calibração) . . . . .	37
4.3.1	Aplicação Cliente Offline . . . . .	37
4.3.2	Servidor de Recolha . . . . .	41
4.3.3	Base de Dados Offline . . . . .	42
4.4	Fase Online (Tempo Real) . . . . .	43
4.4.1	Aplicação Cliente Online . . . . .	43
4.4.2	Servidor de Localização . . . . .	48
4.4.3	Algoritmos de localização . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Testes e Resultados</b>	<b>55</b>
5.1	Cenário de testes . . . . .	55
5.1.1	Seleção dos Pontos de Referência . . . . .	57
5.2	Testes preliminares . . . . .	58
5.3	Teste ao sistema de localização . . . . .	62
5.3.1	Algoritmo 1 - Soma das Distâncias . . . . .	63
5.3.2	Algoritmo 2 - Nova Soma das Distâncias . . . . .	64
5.3.3	Algoritmo 3 - K Vizinhos . . . . .	65
5.3.4	Algoritmo 4 - Probabilístico . . . . .	66
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>67</b>
6.1	Trabalho Futuro . . . . .	68
	<b>Bibliografia</b>	<b>71</b>

# Lista de Acrónimos

AoA	Angle of Arrival
AP	Access Point
DB	Database
GPS	Global Positioning System
IP	Internet Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
JDBC	Java Database Connectivity
KNN	K-Nearest Neighbor
MAC	Media Access Control
NNSS	Nearest Neighbor in Sinal Space
RSS	Received Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SOP	Sum of Probability
ToA	Time of Arrival
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network



# Lista de Figuras

2.1	Classificação das Tecnologias Wireless . . . . .	10
2.2	(a) Trilateração (b) Triangulação . . . . .	11
2.3	Esquema geral da fase offline da técnica Fingerprinting . . . . .	13
2.4	Esquema geral da fase offline - Recolha de informação . . . . .	14
2.5	Esquema geral da fase online da técnica Fingerprinting . . . . .	15
3.1	Arquitectura geral da fase offline . . . . .	25
3.2	Arquitectura geral da fase online . . . . .	29
4.1	Diagrama de sequência da fase de captura . . . . .	35
4.2	Formato de um pacote capturado . . . . .	36
4.3	Protocolos de comunicação dos componentes offline . . . . .	38
4.4	Formato do pacote de dados . . . . .	39
4.5	Aplicação Cliente Offline . . . . .	40
4.6	Diagrama de sequência da comunicação - Servidor de Recolha . . . . .	42
4.7	Protocolos de comunicação dos componentes online . . . . .	44
4.8	Protocolo de comunicação da aplicação cliente online . . . . .	45
4.9	Aplicação Cliente Online . . . . .	45
4.10	Piso 1 e 2 do aeroporto de São Francisco (Google Maps) . . . . .	47
4.11	Aplicação Cliente Online 2 . . . . .	48
4.12	Arquitectura do Servidor de localização . . . . .	49

5.1	Planta do Piso 3 do Departamento de Informática . . . . .	56
5.2	Pontos de referência selecionados . . . . .	57
5.3	Dados do Cliente 1 - Portátil . . . . .	59
5.4	Dados do Cliente 2 - Android . . . . .	59
5.5	Variação do RSSI ao longo do tempo (AP1) . . . . .	61
5.6	Variação do RSSI ao longo do tempo (AP2) . . . . .	61
5.7	Variação do RSSI ao longo do tempo (AP4) . . . . .	61
5.8	Variação do RSSI em função do canal Wi-Fi (1-6) - AP1 . . . . .	62
5.9	Variação do RSSI em função do canal Wi-Fi (7-13) - AP1 . . . . .	62
5.10	Variação do RSSI em função do canal Wi-Fi (1-6) - AP4 . . . . .	62
5.11	Variação do RSSI em função do canal Wi-Fi (7-13) - AP4 . . . . .	62

# Lista de Tabelas

2.1	Comparação dos sistemas de localização . . . . .	22
3.1	Frequências e Canais Wireless . . . . .	27
4.1	Gama dos intervalos de probabilidade . . . . .	53
5.1	Logfile de testes ao Algoritmo Soma das Distâncias . . . . .	63
5.2	Informação da base de dados offline . . . . .	64
5.3	Logfile de testes ao Algoritmo Nova Soma das Distâncias . . . . .	65
5.4	Logfile de testes ao Algoritmo K vizinhos . . . . .	65
5.5	Logfile de testes ao Algoritmo Probabilístico . . . . .	66





# Capítulo 1

## Introdução

Actualmente, com o avanço tecnológico, cada vez mais pessoas possuem equipamentos móveis capazes de correr as mais variadas aplicações e serviços, que as auxiliam no seu dia a dia. Um crescente número de aplicações fornecem serviços baseados na localização do utilizador recorrendo para isso das características avançadas dos dispositivos, como o sistema integrado Global Position System (GPS) (9) ou a tecnologia Wi-Fi(Wireless Fidelity) (6).

A localização de dispositivos em ambientes exteriores já é efetuada recorrendo por exemplo ao sistema de navegação por satélites: o GPS. Este sistema consegue determinar a posição dos dispositivos com uma precisão consideravelmente boa. Contudo dentro de edifícios, a localização de equipamentos móveis ainda não é efetuada com uma relação custo/acuidade satisfatórios .

Partindo do princípio que as infra-estruturas Wi-Fi se espalharam muito rapidamente nos últimos anos e estão presentes em qualquer parte do mundo a um baixo custo, pretendemos explorar este facto para analisar formas de aproveitar essas infra-estruturas para calcular a posição interior dos equipamentos móveis. Nos sistemas de localização Wi-Fi, podemos separar o trabalho corrente em duas grandes

famílias. Uma é baseada em modelos de propagação de sinal e funciona realizando uma triangulação com as distâncias entre um terminal e um conjunto de pontos de acesso. A outra família é baseada num mapa de intensidade do sinal. A posição é alcançada relacionando as medições em tempo real do sinal e o conteúdo presente na base de dados (Fingerprinting).

Este Documento explica o trabalho desenvolvido na implementação de um sistema de localização baseado na técnica de fingerprinting. Foi elaborado no âmbito da tese de mestrado do curso de Mestrado em Engenharia Informática da Universidade do Minho.

## 1.1 Motivação

Com a expansão dos dispositivos móveis e das redes sem fios, têm surgido bastantes serviços que tiram partido da mobilidade desses dispositivos. Uma vez que os utilizadores estão em constante movimento, a questão do posicionamento é muito relevante, especialmente para os serviços que tiram partido dessa informação.

Posicionamento consiste em determinar a localização geográfica de um equipamento móvel. O cálculo é baseado na leitura de vários sinais, que podem ser adquiridos quer pelo dispositivo quer pela infra-estrutura. Sabemos também, que a precisão das técnicas de localização depende da infra-estrutura e do ambiente em que se inserem. Um exemplo típico é o GPS, um sistema exterior capaz de localizar dispositivos baseados nos sinais de rádio transmitidos por satélites. O GPS oferece resultados bastante satisfatórios se consideramos ambientes exteriores. Contudo, determinar o posicionamento dentro de edifícios não pode ser alcançado por sistemas baseados em satélites.

A localização interior pode ser efetuada recorrendo a redes de infra-vermelhos,

redes de ultra-sons, etc. Mas os principais sistemas de localização interior, são baseados nas redes de comunicação sem fios IEEE 802.11 (25), também conhecidas como redes Wi-Fi. Isto deve-se ao facto da sua forte presença em praticamente todos os edifícios. Assim é possível combinar funções de posicionamento e comunicação sem necessidade de possuir hardware dedicado para providenciar os serviços de localização.

As redes Wi-Fi podem ser usadas na localização e deteção de deslocações de equipamentos usando essencialmente três técnicas: ponto de acesso mais próximo, triangulação entre pontos de acesso e a pesquisa por padrão de sinais recebidos em cada ponto. A menos eficaz é obviamente a primeira, porque basicamente indica que um dispositivo está na área de cobertura de um ponto de acesso. Localiza com pouco rigor num círculo com raio de dezenas de metros, mas essa informação é em muitos contextos extremamente útil. Numa instituição como a Universidade do Minho, com 2 grandes campus e uma série de edifícios dispersos, a localização por ponto de acesso mais próximo pode ser suficiente para muitas aplicações.

A técnica de triangulação é baseada na força do sinal emitido pelo equipamento e recebido em vários pontos de acesso (18) (16). Um pedido específico de localização pode ser enviado por um administrador a todos os pontos de acesso da rede. Todos os que conseguirem “ouvir” o referido emissor informam sobre as condições em que estão a receber. O ponto de interseção pode assim ser determinado por triangulação. A localização pode ser feita em contínuo, para todos os equipamentos, bastando que os pontos de acesso reportem, com uma determinada periodicidade, todos os dispositivos na sua área de ação. A triangulação pode localizar num quadrado de 9 metros de lado, mas a sua eficácia é bastante reduzida porque não tem em conta a atenuação de sinal em paredes e outros obstáculos, a reflexão do sinal nesses obstáculos e os múltiplos caminhos que o sinal pode ter de percorrer.

Uma técnica mais eficaz consiste em registar previamente numa base de dados os padrões de sinal obtidos por um dispositivo em cada posição no mapa do edifício (1)

(19). Divide-se a área em pequenos quadrados de determinada dimensão e fazem-se várias medições em cada localização para tentar obter um padrão. A localização real faz-se depois com base na pesquisa de um determinado padrão na base de dados. Esta técnica é eficaz porque tem em conta os valores reais observados no local e não um modelo aproximado de propagação do sinal.

A CISCO tem uma solução integrada de localização Wi-Fi que comercializa (3), mas são raros ou praticamente inexistentes os projetos open source nesta área. Encontram-se alguns que colocam todo o ênfase na aplicação cliente que se quer auto-localizar num edifício ou numa cidade e que para isso mede os padrões dos sinais dos pontos de acesso que consegue localizar e confronta-os com bases de dados online produzidas pela comunidade. Mas a localização dentro de um edifício pode potenciar uma panóplia de serviços e aplicações se resultar de uma infra-estrutura aberta de localização envolvendo pontos de acesso e rede fixa.

Adicionalmente, com a implementação de um *Real Time Location System*(RTLS) em redes 802.11 o desenvolvimento de aplicações que usem informação de localização torna-se bastante apetecível. Por exemplo, dentro de um hospital, estes sistemas podem ser essenciais para localizar algum equipamento específico ou monitorizar a deslocação de um paciente. Outro cenário em que poderiam ser úteis seria no controlo de entradas e saídas num edifício ou sala, e assim garantir um sistema de vigilância para casos de potencial furto. Também seriam indicados para disponibilizar a informação relevante em museus ou centros de atendimento ao público consoante a localização onde o cliente se encontra.

De referir por fim, que este projeto surge como seguimento de um outro realizado no ano anterior. O trabalho desenvolvido utiliza a técnica de fingerprinting e por consequência, já contém alguns algoritmos implementados de forma a comparar as medidas do sinal em tempo real com os padrões presentes na base de dados. Já existe uma infra-estrutura disponível para testes e um sistema de recolha de informação para uma Base de dados MySQL. Pretende-se dar continuidade a esse trabalho no

sentido de caminhar para um sistema completamente operacional.

## 1.2 Objetivos

Neste projeto, definimos como objetivo global a implementação de um sistema de localização que tire partido das redes Wi-Fi. A solução deve permitir localizar um dispositivo móvel que esteja ligado à rede 802.11 do sistema.

A fase inicial passa por assimilar conhecimentos sobre a área. É necessário analisar e comparar as soluções já existentes. Para isso deve ser feita uma pesquisa exaustiva de artigos potencialmente relevantes, e estudados aqueles mais próximos da área de estudo.

Como este trabalho surge no seguimento de um outro, é necessário também avaliar a infra-estrutura de localização já desenvolvida. Depois de compreendida toda a estrutura base, é necessário efetuar uma proposta e consequente implementação de melhorias à infra-estrutura. Este ponto é de extrema importância, pois uma melhoria no planeamento da infra-estrutura, maximiza a potencialidade de uma estimativa mais precisa.

A implementação do sistema tem por base a técnica de reconhecimento de padrões, por se tratar da que apresenta melhores resultados. Os valores da força do sinal são guardados na base de dados e todo o processo de recolha deve ser revista e otimizada para que a recolha em tempo real opere em todos os canais wireless.

Os algoritmos de localização implementados são outro dos módulos fundamentais do projecto. Todos os algoritmos são testados sobre a nova disposição da infra-estrutura, e estão preparados para uma fácil adaptação, se no futuro possíveis melhorias forem estudadas.

O desenho e implementação de duas aplicações para clientes móveis são outro objectivo importante. Uma para administração e outra para utilização. Com o auxílio de aplicações móveis dedicadas, o processo de localização torna-se mais intuitivo.

Por fim de referir que a solução desenvolvida tem como objetivo interligar-se facilmente com potenciais serviços complementares. Este projeto como já referido anteriormente, busca uma solução que caminhe para um sistema totalmente operacional no futuro.

### 1.3 Estrutura do documento

Esta dissertação é composta por seis capítulos. No primeiro capítulo é apresentado o problema pelo qual este trabalho propõe uma solução. Começamos por descrever a problemática de localização em ambiente interiores e as motivações que nos levam a abordar esse tema. É proposto o desenvolvimento de um sistema de localização baseado na técnica de fingerprinting.

O segundo capítulo apresenta o conhecimento adquirido no levantamento do estado da arte de conteúdos relacionados com o trabalho desenvolvido. São descritas as diferentes técnicas de localização interior conhecidas, com especial atenção sobre a técnica de recolhecimento de padrões e as suas duas fases. É efetuada uma análise e comparação de sistemas existentes que tiram partido das técnicas de localização em redes Wi-Fi. Neste capítulo são também descritos cenários onde a utilização de aplicações de localização interior fazem sentido.

No terceiro capítulo, concepção do sistema de localização em redes Wi-Fi, são apresentados os requisitos do sistema assim como a arquitectura geral dos vários componentes do mesmo.

O capítulo quatro descreve a implementação do sistema de localização. São iden-

tificados o hardware e software utilizados na elaboração dos componentes. São expostas de forma promonorizada as decisões tomadas em relação às componentes das duas fases do processo de localização *fingerprint*.

Os testes e resultados são ilustrados no capítulo número cinco. As questões temporais, de canal wireless e de hardware são avaliadas por forma a ver o comportamento do sistema para os vários cenários. O meio ambiente utilizado é apresentado, assim como as decisões sobre a posição dos pontos de acesso e pontos de referência. Posteriormente são analisados os resultados dos testes feitos aos algoritmos implementados.

No sexto e último capítulo, relatam-se as principais conclusões obtidas com o desenrolar deste trabalho. Apresenta-se uma síntese do trabalho realizado e a sua aptidão em alcançar os objectivos propostos. Por último sugere-se possíveis investigações a realizar no futuro.



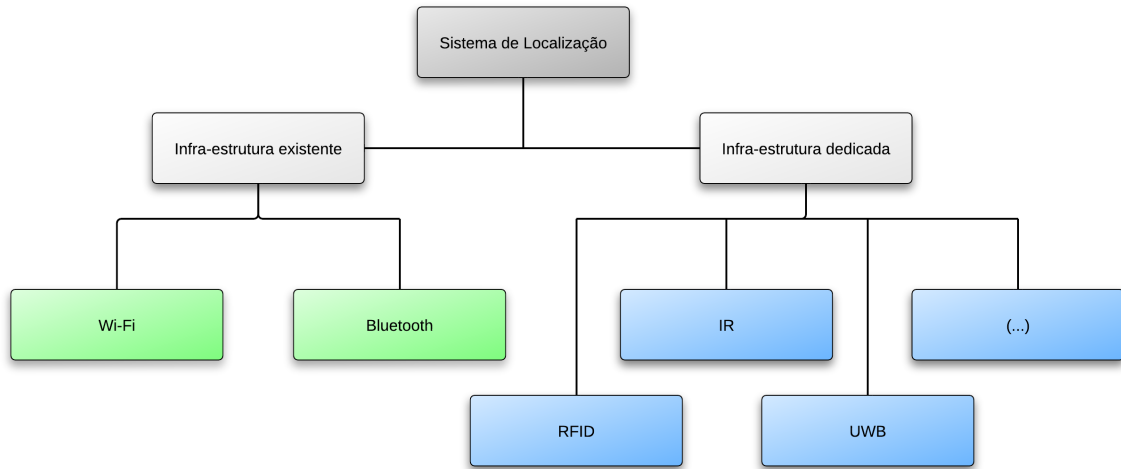


## Capítulo 2

# Localização no interior de edifícios

A problemática da localização de dispositivos móveis, está recentemente numa fase de estudo intensivo. Como referido anteriormente, o GPS de (9), é um sistema que providencia localização em qualquer parte e em qualquer altura desde que exista uma linha de vista para quatro ou mais satélites. O processo de localização recorre à informação dos quatro satélites num determinado instante e calcula a posição por medição das distâncias, usando a geometria das esferas (Trilateração). Apresenta um erro de determinação de 10 a 15 metros, mas pode ser reduzido em utilizações militares. Outros métodos pensados para ambientes exteriores, são baseados em redes celulares (GSM/CDMA) (2). Contudo a precisão destes métodos, que utilizam *cell ID* ou E-OTD (*Enhanced Observed Time Difference*), é geralmente muito baixa. O erro de determinação corresponde a cerca de 50-200 metros, dependendo do tamanho das células. São também muito limitados devido às reflexões sofridas pelo sinal e pela inexistência de hardware que providencie uma boa sincronização de tempos. Apesar destes modelos funcionarem corretamente num ambiente exterior, devido à obstrução do sinal dos satélites eles não são viáveis em ambientes interiores.

Para ambientes interiores, existem técnicas baseadas nas mais diversas tecnologias, como por exemplo: *Radio-Frequency Identification* (RFID), *Ultra-Wideband*



**Figura 2.1:** *Classificação das Tecnologias Wireless*

(UWB), *Infrared Radiation* (IR) e *Bluetooth* (IEEE 802.15). As técnicas baseadas em RFID (21), podem providenciar localização em ambientes interiores complexos. É uma técnica de identificação automática que tira partido de sinais de rádio. Os receptores comunicam remotamente com dispositivos que são denominados por etiquetas RFID, que podem ser ativas ou passivas. São bastante precisos e utilizados para casos particulares, como para gestão de stocks, controlo de acesso ou para localizar livros numa biblioteca. Como desvantagem, aponta-se o facto desta abordagem implicar custos de montagem e equipamentos dedicados (ver figura 2.1). Um pouco à semelhança do anterior, as técnicas baseadas em *Bluetooth* possuem um reduzido alcance na deteção de dispositivos (tipicamente 10-15 metros). Por outro lado, é uma tecnologia muito divulgada (presente na maioria dos dispositivos móveis) e suporta vários serviços de rede para além do IP. As etiquetas *Bluetooth* são de pequena dimensão e como as restantes tecnologias, cada dispositivo possui um ID único de identificação. Esse ID pode ser usado para determinar a sua localização (15).

## 2.1 Localização em redes Wi-Fi

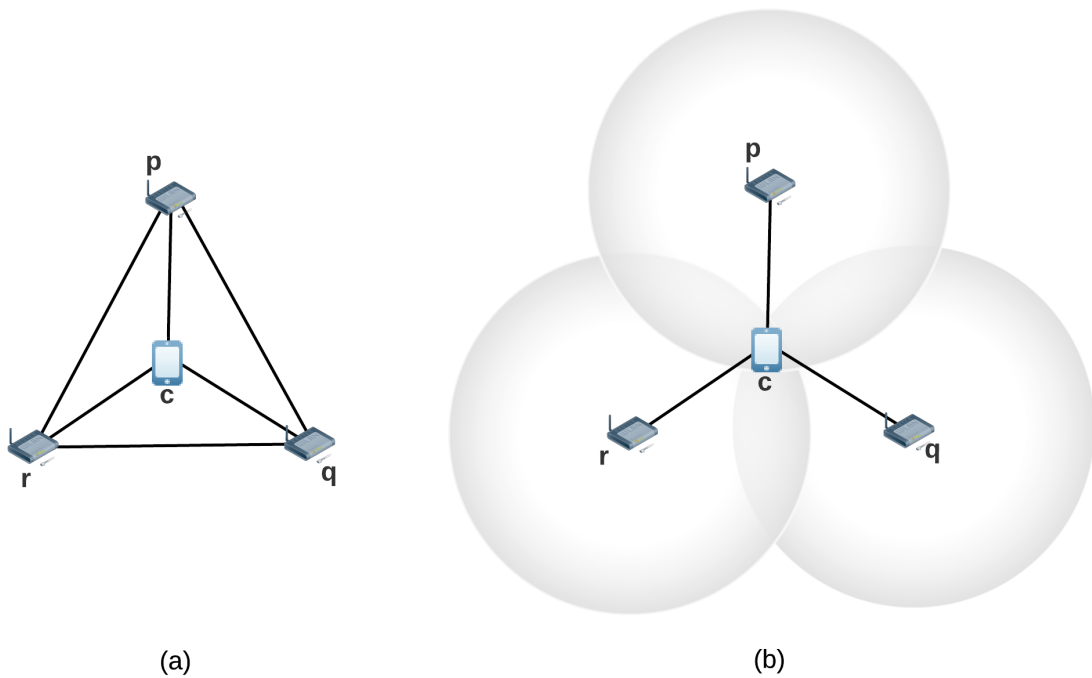
Nesta secção começa-se por enumerar as técnicas de localização mais relevantes. De seguida apresentam-se os sistemas de localização de referência para ambientes

interiores.

### 2.1.1 Técnicas de localização

No que respeita à tecnologia Wi-Fi, as seguintes técnicas são as mais relevantes na área.

#### Triangulação e Trilateração



**Figura 2.2:** (a) Trilateração (b) Triangulação

As técnicas ilustradas na figura 2.2, utilizam as propriedades geométricas dos triângulos para estimar o local pretendido. A Trilateração, estima a posição de um objeto pelo cálculo das distâncias a partir de múltiplos pontos de acesso (18) (16). Ao invés de medir a distância diretamente utilizando a força do sinal recebido, é normalmente calculado o *Time of Arrival* (TOA) ou o *Time Difference of Arrival* (TDOA). A distância é verificada pela atenuação da força do sinal emitido ou pela

multiplicação da velocidade do sinal com o tempo de viagem. Em alguns sistemas, o *Roundtrip Time of Flight* (RTOF) ou o *Received Signal Phase Method* também são utilizados para efetuar a estimativa das distâncias.

Por sua vez, a Triangulação utiliza o *Angle of Arrival* (AOA) de forma a localizar um objeto pela computação dos ângulos relativos a múltiplos pontos de acesso. As retas formadas a partir desses ângulos e o local onde se intersectam é considerado como sendo a provável localização do cliente. Para o uso desta técnica são necessários no mínimo dois Access Points (AP) distintos.

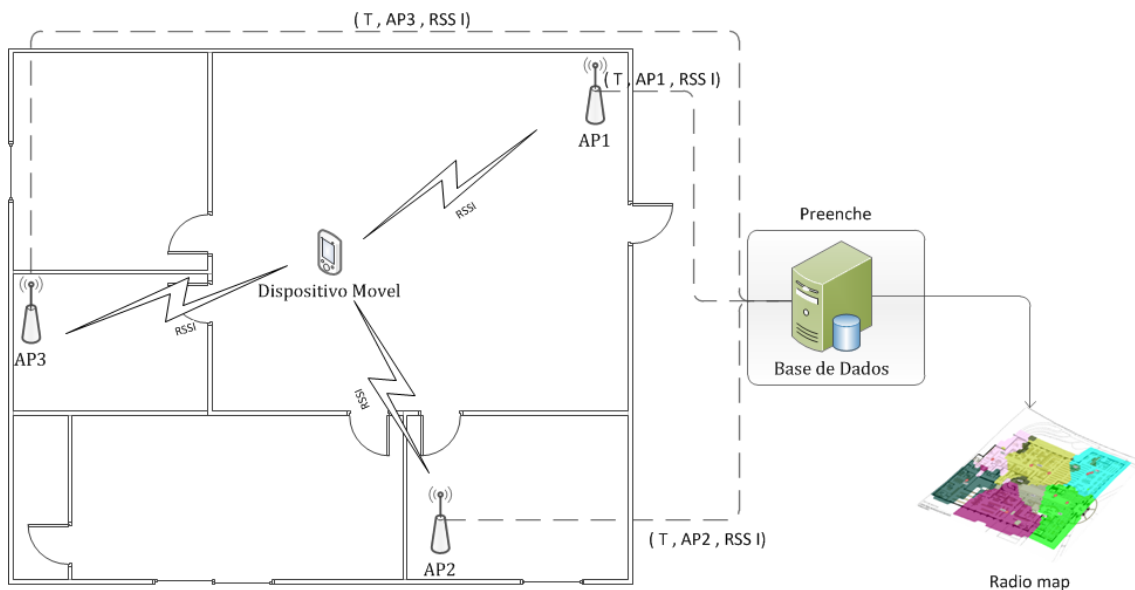
A vantagem destes métodos, é que necessitam apenas de um ligeiro esforço computacional por forma a iniciar o processo de determinação de recursos ou clientes.

## Reconhecimento de Padrões

Uma abordagem comum nos sistemas de localização de equipamentos móveis recorrendo a redes Wi-Fi, são aquelas que tiram partido das medidas do RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) nos APs que rodeiam o dispositivo. Uma estimativa da localização do dispositivo é então obtida com base nessas medidas e no modelo de propagação do sinal dentro do edifício. O modelo de propagação pode ser obtido utilizando simulações ou por medições prévias em determinadas localizações da planta do edifício. No segundo caso, os valores do RSSI para uma determinada localização do edifício são comparados com os dados obtidos previamente e presentes na base de dados.

Este processo é efetuado em duas fases: uma *offline* e outra *online*. Durante a fase de calibração, a qual tem que ser executada apenas uma vez para cada edifício, é composto o *radiomap* ou mapa de assinaturas. Este *radiomap* pode ser considerado como sendo a coleção das medidas do RSSI para diferentes locais do edifício, em que

cada local contem uma lista dos valores da força do sinal RSSI para todos os AP visíveis nesse ponto. Este processo também é chamado de *fingerprinting*. Durante a fase *online*, os valores do RSSI são comparados com aqueles presentes na base de dados do *radiomap* e assim podem determinar a localização mais provável do utilizador.

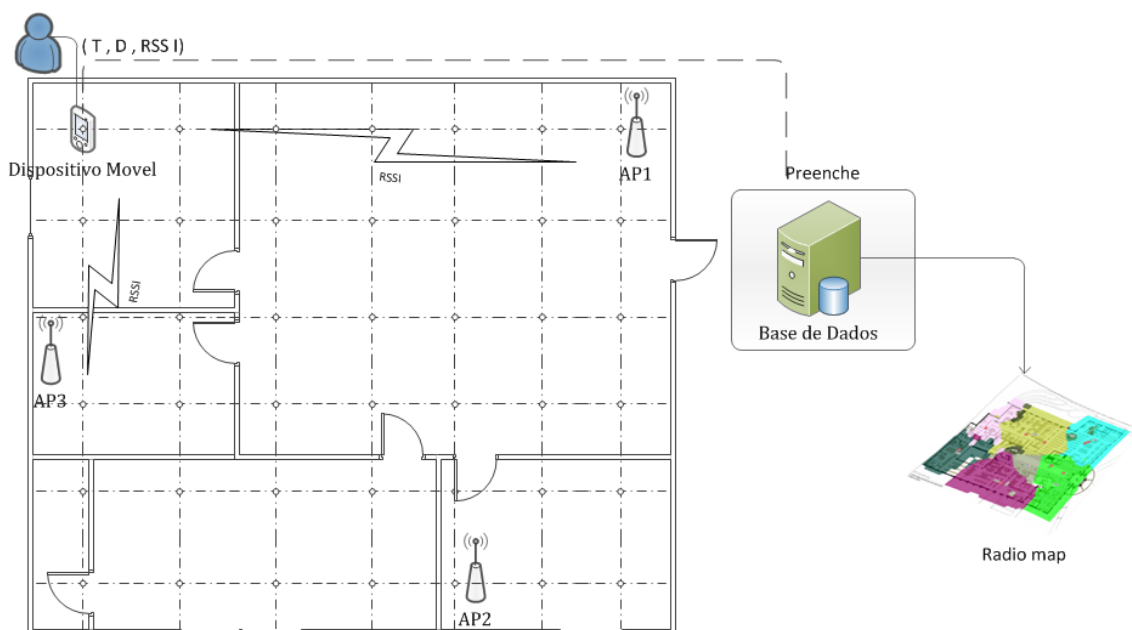


**Figura 2.3:** Esquema geral da fase offline da técnica *Fingerprinting*

### Fase Offline (Calibração)

Pode ser vista como a fase de medições. Um conjunto de locais são selecionados, dependendo do tamanho e da disposição do edifício. Para cada local é realizado um número de medições da força do sinal (ver figura 2.3 e 2.4). Isto devido ao facto de a orientação do cliente influenciar os valores do RSSI medidos pelo dispositivo AP Wi-Fi. Por exemplo, se a posição física do utilizador está entre o AP e o dispositivo móvel, o valor do RSSI vai ser provavelmente menor comparado com a situação onde a posição do utilizador é no lado oposto ao dispositivo. Isto porque o sinal é atenuado pelo corpo humano. A diferença verificada entre 2 orientações distintas pode alcançar valores até 5dB como referido em RADAR (1). Por esse motivo, são

empregados normalmente quatro orientações diferentes para cada ponto de medição: norte, sul, este e oeste.

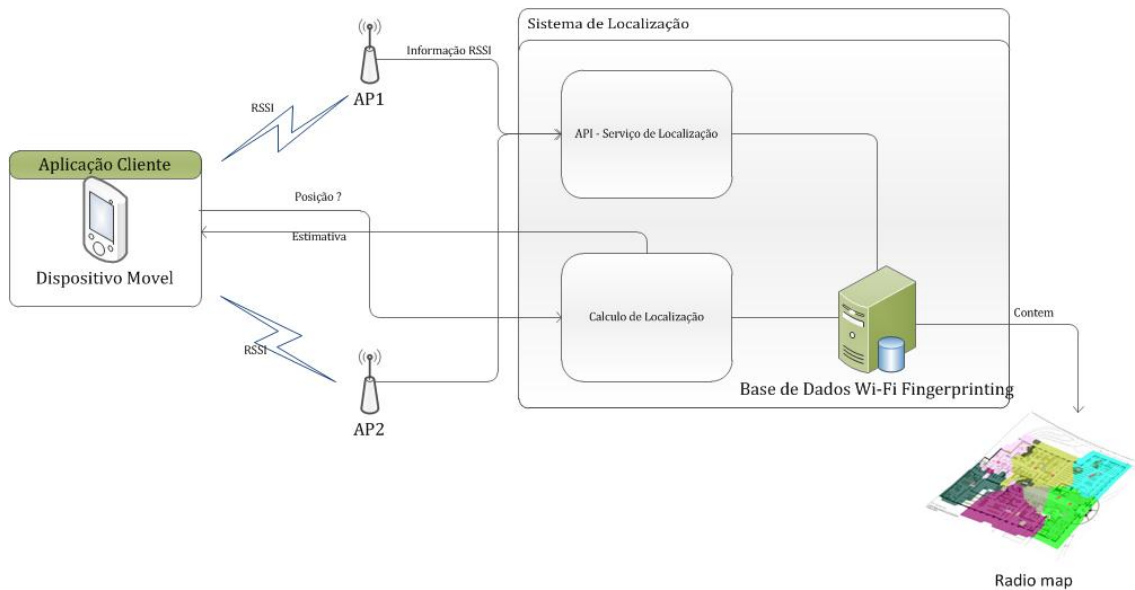


**Figura 2.4:** Esquema geral da fase offline - Recolha de informação

O objetivo de uma simples medição, é o de determinar o RSSI em cada AP visível a partir de uma posição e orientação específica. Devido ao facto de a força do sinal recebida ser influenciada por muitos fatores, um número sequencial de medições é efetuado, por forma a colecionar informação estatisticamente mais confiável sobre o valor médio esperado. Cada medição engloba uma lista de APs. Para cada um deles a informação do sinal é recolhida. A base de dados contém portanto um histograma da informação de cada AP.

### Fase Online (Tempo real)

A fase online é a fase onde o software de cálculo recebe periodicamente as medições de um ou mais dispositivos móveis. Na figura 2.5 podemos visualizar um esquema geral típico desta fase. A informação recebida é comparada com os valores



**Figura 2.5:** Esquema geral da fase online da técnica *Fingerprinting*

obtidos na fase offline, e é produzida/calculada uma posição para cada dispositivo. Uma vez analisada e correta, essa medida vai ser utilizada como input para os algoritmos de localização. Entre os vários algoritmos de localização existentes, um dos mais utilizados é o descrito em RADAR (1), o KNN (*K-Nearest Neighbor*). Ao invés do algoritmo NNS (*Nearest Neighbor in Signal Space*), que simplesmente considera o vizinho mais próximo como sendo a localização mais provável, o KNN considera os K vizinhos mais próximos. A intuição é que existem diversos vizinhos que estão praticamente à mesma distância (em espaço do sinal) do ponto de interesse. Logo, realizando a média das coordenadas dos vizinhos, obtém-se uma estimativa que é mais próxima da localização real do utilizador, do que considerando apenas um vizinho.

## 2.1.2 Sistemas de Localização

### RADAR

O sistema RADAR (1) da Microsoft Research, foi um dos primeiros sistemas de localização que tiram partido da força do sinal recebido. Os autores descrevem que o sistema utiliza duas etapas distintas. Na primeira etapa (*Data Collection*), é realizado um processo de recolha do sinal. Todos os APs, que cobrem de forma estratégica a planta do edifício, armazenam a informação temporal e o valor do RSSI. A informação é então enviada na forma de  $(t, AP_i, RSSI)$ , onde o valor  $i$  é o número do AP, e  $t$  a informação temporal. Na segunda etapa (*Real-Time*), o sistema utiliza um algoritmo de procura simples e linear no tempo, de maneira a determinar a estimativa de localização do dispositivo móvel.

Apesar de ser um sistema com alguns anos de existência, RADAR continua a ser um dos sistemas de referência. Contêm um erro que varia entre 2 e 3 metros de exatidão.

### COMPASS

COMPASS (14) é um sistema de localização que aplica algoritmos probabilísticos de posicionamento para determinar a localização de um utilizador. Na fase de calibração, à semelhança das restantes técnicas de fingerprinting, este sistema utiliza as medições de força do sinal nos diversos APs para preenchimento do *radiomap*, com uma característica particular que é a da utilização da orientação do utilizador para efetuar uma pré-seleção de um subconjunto do *radiomap*. Os restantes valores são usados pelo algoritmo de localização probabilístico para determinar a localização. Enquanto os sistemas anteriores apresentavam limitações na sua exatidão devido



aos efeitos de bloqueio causados pelo corpo humano, este sistema utiliza bússolas digitais para detetar a orientação do utilizador e lidar com esses efeitos de bloqueio. O sistema apresenta uma média de erro na determinação a rondar os 1.65 metros.

## **HORUS**

Horus (27) oferece um conjunto de técnicas de *clustering* para estimar a localização. Ele aumenta a performance em relação ao RADAR, utilizando essencialmente análise probabilística. As coordenadas candidatas de localização são consideradas como pertencentes a uma classe ou categoria. De forma a minimizar a distância de erro, a localização é escolhida de acordo com a probabilidade mais elevada. Os autores defendem que o aumento do número de medições em cada ponto de referência, pode melhorar a precisão do sistema. Os resultados verificados apontam que esta técnica é precisa em mais de 90% dos casos para um raio de 2.1 metros.

## **EKAHAU**

EKAHAU (8), é uma solução comercial que tira partido de redes bayesianas e de aprendizagem online, para providenciar informação de posicionamento através de um servidor central. É uma solução de baixo custo e bastante flexível. Este sistema está implementado para o auxílio em várias áreas como a saúde ou segurança e em condições normais atinge uma eficácia de um a três metros.

## **EDIPS**

Em EDIPS (23), é proposto um sistema que é mais direccionado para uma rápida implementação e operações em tempo real do que propriamente para a exatidão da localização. Ao efetuar uma estimativa preliminar do modelo de propagação do

sinal, esta abordagem não considera as paredes e os modelos de propagação do sinal mais complexos e presentes em outras soluções, de forma a melhorar o desempenho de arranque do sistema. Contudo, os autores fazem referência para o facto desta abordagem ser extremamente flexível e de aceitar outros modelos de maneira a estender o detalhe de acordo com os desejos do utilizador.

Na verificação de resultados, a exatidão do algoritmo de localização mostra erros de alguns metros e pode não ser o ideal para monitorizar a localização de um objeto dentro de uma sala, mas fornece conhecimento suficiente e adequado para posicionamento e proximidade de pessoas (situações de trabalho móvel). O sistema disponibiliza mecanismos de calibração de forma a reduzir a margem de erro, se esta se tornar mais elevada do que o esperado.

Em suma, os objetivos deste sistema são a rapidez de implementação, fácil modificação e adaptação, enquanto providencia uma exatidão satisfatória na monitorização de indivíduos.

### **Secure and Robust Wi-fi Fingerprinting indoor localization**

No artigo de Wei Meng(19), é apresentado um sistema de localização que utiliza a técnica de reconhecimento de padrões. Contudo, este modelo apresenta melhorias em relação aos restantes, uma vez que é resistente a *outliers* (valores discrepantes). Em estatística, um *outlier* é uma observação que é numericamente distante do resto dos valores da amostra em que ocorre. Isto acontece por exemplo, devido as mudanças acidentais no meio ambiente ou ataques a APs. Considerando o ambiente como sendo dinâmico, as medidas do *fingerprint* podem derivar de forma significativa daquelas guardadas nos pontos de referência do edifício. Isto pode levar a erros de localização elevados. Para ultrapassar este problema, os autores propõem um método que reduz esses efeitos de *outliers* e aumentam a exatidão da localização. Na fase offline, as distribuições de probabilidade do sinal recebido por cada ponto de referência em

cada AP é construído usando um método probabilístico baseado em histogramas. Durante a fase de tempo real, é utilizado um algoritmo de localização com 3 etapas distintas.

Na primeira, é usada uma derivação simplificada e não-iterativa do método *Random Sample Consensus*(RANSAC), por forma a poupar tempo no processamento de sinal. Esta derivação, deteta e elimina parte dos APs cujos valores do RSSI estão severamente distorcidos por um efeito inesperado do meio ambiente.

Na segunda etapa, um método de seleção de pontos de referência(RP) baseado em regiões (*Region-Based Reference Point Selection Method*) é proposto. Comparado com o KNN que seleciona cada RP ou vizinho individualmente, o método proposto seleciona um conjunto de RPs como uma família de probabilidade. Isto porque, no caso de serem verificadas oscilações na força do sinal, o algoritmo KNN pode não selecionar os K RPs mais próximos da localização efetiva do utilizador. Portanto, a solução neste caso, passa por dividir os RPs em grupos e cada grupo representar uma região na planta do edifício. Assim, chegamos a resultados mais robustos no que toca às mudanças do meio ambiente.

Na etapa final, a localização é estimada recorrendo simplesmente à combinação das coordenadas dos RPs do grupo selecionado na etapa anterior.

### **Probabilistic Method of Fingerprinting**

Em (17), como o nome indica, é descrita uma solução probabilística para o processo de localização interior baseada na técnica de fingerprinting. Enquanto que os métodos determinísticos providenciam uma razoável estimativa de localização, eles descartam muita informação contida no mapa de assinaturas. Os valores são sumariados para a média da força de sinal visível para um AP, contudo a força do sinal numa posição pode ser caracterizada por mais do que um parâmetro para além do

valor médio. Com esta nova aproximação probabilística, construímos uma distribuição de probabilidades por intervalos, de forma a considerar o máximo de informação possível quando procedemos à comparação entre o *input* e o mapa das assinaturas, para assim maximizarmos a precisão.

## 2.2 Aplicações de localização dentro de edifícios

No que respeita as aplicações de localização, existem situações onde são extremamente úteis.

Em (22) é descrita uma potencial utilização destas aplicações, por forma a disponibilizar aos clientes de um museu, um guia móvel. São utilizadas tecnologias Wi-Fi e RFID para localizar o guia móvel e com base nessa localização permitir ao serviço fornecer informação relevante sobre as obras presentes nesse local. O sistema de guia móvel, pode também utilizar o contexto temporal para verificar o tempo que um cliente passa num determinado local (obra), e assim recolher as preferências do utilizador. Com base nesses dados, é apresentado no dispositivo informação diretamente relacionada (obras do mesmo artista ou do mesmo século, etc). A qualidade do serviço guia e a experiência do utilizador sai assim reforçada.

Na área da segurança, a consciência da localização de equipamentos pode ser muito vantajosa (24). No caso de um edifício conter um equipamento capaz de ser monitorizado, e sabendo a sua localização natural, qualquer alteração "estranha" das suas coordenadas pode indicar um possível problema de segurança e conseqüente adicionar o sistema de alarme. Este sistema de segurança, pode ainda ser melhorado com a introdução de um mecanismo que verifica se os dispositivos móveis (através do endereço MAC), e respetivos proprietários, são autorizados a permanecer numa determinada zona do edifício.

Outro cenário onde a localização de equipamentos móveis pode fazer sentido, é em ambientes hospitalares (11). Para auxiliar na localização de máquinas móveis, e assim obter uma gestão mais eficaz dos aparelhos disponíveis na unidade de saúde.

Apesar das potenciais aplicações providenciarem serviços que enriquecem o auxílio a informação relevante para as mais diversas áreas, são necessários procedimentos para proteger a privacidade dos utilizadores. Logo, um dos principais aspectos a ter em conta na implementação de uma aplicação para os dispositivos móveis, é a definição dos mecanismos de segurança adequados.

## 2.3 Comparação dos sistemas de localização

Na tabela 2.1 está presente a informação relativa aos custos, desempenho e devida descrição dos sistemas analisados. A partir dos dados apresentados, podemos verificar que os sistemas baseados na técnica de fingerprinting contêm margens de erro que variam entre 1 a 4 metros de exatidão. Outro aspecto a salientar, é o facto da totalidade dos sistemas assentes na tecnologia Wi-Fi possuírem custos de implementação muito baixos. Pelo contrário, LANDMARK (21) evidencia custos superiores devido ao facto de necessitar de equipamentos dedicados para o seu funcionamento (etiquetas ativas RFID).

A única solução comercial presente na tabela é o sistema EKAHAU, que apresenta erros de determinação muito satisfatórios (cerca de 1 metro em condições favoráveis). De referir por fim, que os sistemas mais recentes têm tendência a providenciar estimativas de localização mais confiáveis devido aos algoritmos de localização mais complexos, como verificado no artigo (19).

Sistema	Custo	Desempenho	Descrição	Data
RADAR	Baixo	50% probabilidade de obter um erro á volta dos 4 metros	Primeiro sistema de localização baseado em redes Wi-Fi	2000
COMPASS	Baixo	Cerca de 1.65 metros	Aplica algoritmos probabilísticos de posicionamento e utiliza bússolas digitais de forma a reduzir efeitos de orientação no sinal	2006
Horus	Baixo	2.1 metros de margem de erro em 90% dos casos	Utiliza um conjunto de técnicas de <i>clustering</i> para estimar a localização	2008
EKAHAU	Baixo	Em situações favoráveis apresenta erros de 1 metro	Solução comercial que tira partido de redes bayesianas e de aprendizagem online	2010
EDIPS	Muito baixo	Variável em alguns metros	Direcionado para uma rápida implementação e operações em tempo real	2011
(19)	Baixo	Para 80% dos casos apresenta uma distância de erro de 2 metros	Sistema baseado em Fingerprinting que é resistente a <i>outliers</i>	2011
LANDMARK	Moderado	Menos de 2 metros	Utiliza a tecnologia RFID no modo ativo	2003

**Tabela 2.1:** Comparação dos sistemas de localização

## Capítulo 3

# Concepção do Sistema de Localização em redes Wi-fi

Neste capítulo são descritos os vários requisitos do sistema de localização. São também ilustrados para as duas fases existentes, a arquitectura geral e a função dos seus componentes.

### 3.1 Requisitos do Sistema

Neste projeto, pretende-se que todo o esforço computacional esteja presente do lado da infra-estrutura de rede. Pelo contrário, os sistemas actuais optam por instalar o módulo responsável por calcular a localização nos equipamentos terminais. Isto apesar de ser mais simples de implementar, tem a inconveniência de colocar carga e software adicional no dispositivo dos utilizadores. A nossa abordagem torna o sistema independente dos clientes e conseqüentemente disponibiliza a localização aos utilizadores como mais um serviço de rede. Assim, o cálculo da localização é efectuado somente do lado da infra-estrutura.

Outro aspeto que pesou na escolha da infra-estrutura é o facto de com esta abordagem, todas as medidas da força do sinal respeitarem uma escala única e conhecida pela infra-estrutura. De outra forma, tal seria muito difícil de respeitar. Como cada cliente móvel possui características de *hardware* diferentes, os valores medidos por um dispositivo podem não ser da mesma ordem de grandeza de um outro. Isto levaria a um sistema não homogéneo e conseqüentemente com falhas.

Para implementar o sistema de localização são necessários APs para proceder à recolha da informação dos sinais, um servidor para armazenar a informação, e um servidor de cálculo da localização. Neste projeto foi decidido expandir o número de APs da rede para 4 (podendo esse número ser N), para providenciar uma maior cobertura à área de estudo.

O sistema de localização tem que ser capaz de providenciar a localização de qualquer dispositivo (portátil, smartphone, etc), desde que ele gere tráfego de rede.

É necessário que o sistema tenha um baixo custo de instalação bem como um processo de calibração não demorado.

Outro aspecto a ter em consideração, é que o sistema desenvolvido tem de ser capaz de coordenar facilmente com outros sistemas de posicionamento *outdoor*. É importante utilizar o mesmo tipo de mapas e um sistema de coordenadas idêntico.

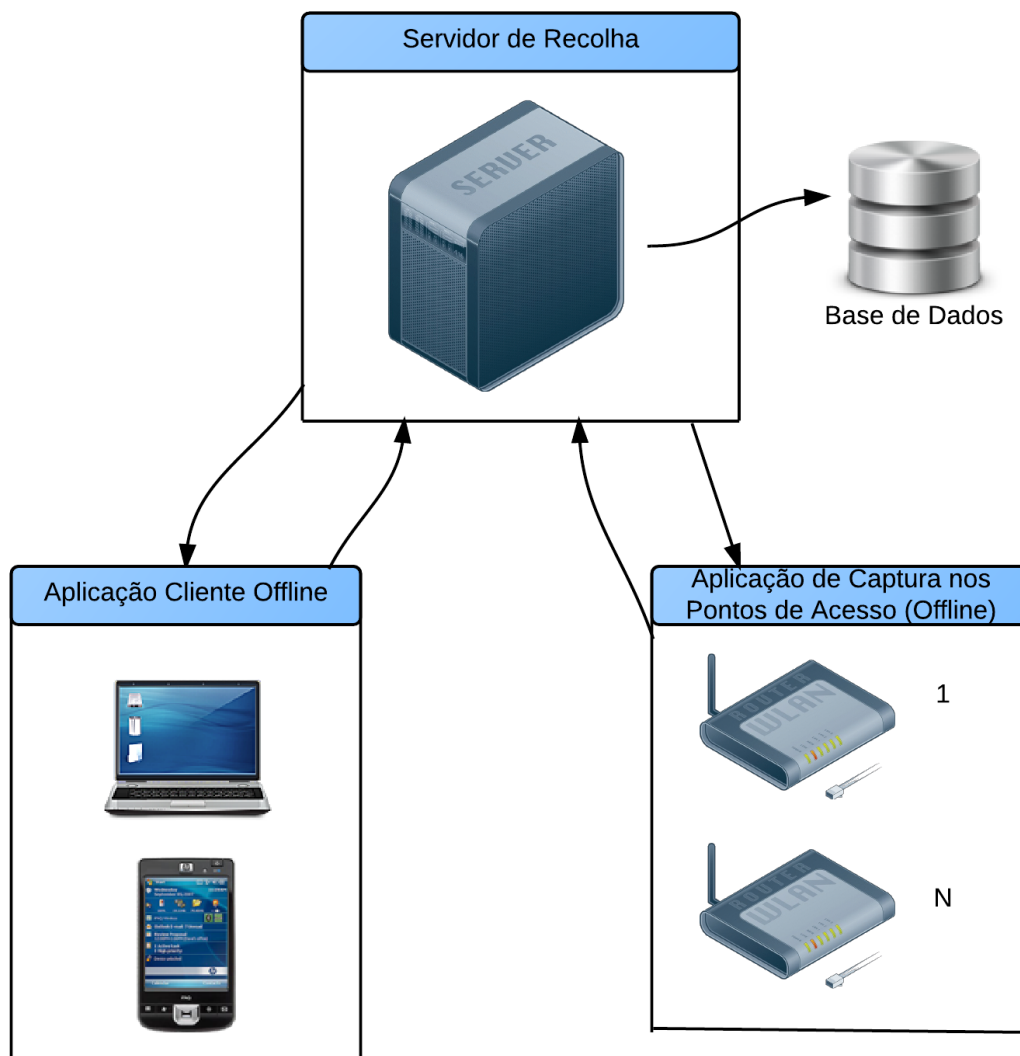
Como requisitos de segurança, foi estabelecido que é necessário respeitar a privacidade dos utilizadores que se querem localizar, bem como a privacidade do tráfego de rede em geral (capturar o mínimo indispensável para providenciar a estimativa de localização). É também indispensável utilizar um método de autenticação e controlo de acesso aos dados de localização existentes.



## 3.2 Arquitectura do sistema

### 3.2.1 Fase Offline

Conforme ilustra a Figura 3.1, existem quatro componentes principais na fase de calibração do sistema.



**Figura 3.1:** *Arquitetura geral da fase offline*

A *Aplicação cliente offline* é a componente responsável por iniciar todo o processo. Através do contacto com o *Servidor de recolha*, a *Aplicação cliente offline* tem

a função de transmitir as coordenadas do ponto de referência onde se encontra, para assim dar início à captura.

O *Servidor de recolha* por sua vez, tem como funções informar os APs sobre o alvo da captura que se vai iniciar, e posteriormente o preenchimento do mapa das assinaturas na base de dados. A *Base de dados* vai guardar toda a informação indispensável para o processo de localização, como é o caso da força do sinal recebido.

## Processo de recolha

### Problemática da captura sem fios

A captura de pacotes numa rede tradicional, sobre ethernet, é fácil de estabelecer. Utilizando uma máquina que analisa os pacotes capturados em modo promiscuo. Quando se trata de análise wireless, contudo, o processo de captura de tráfego torna-se mais complexo e requer decisões adicionais de forma a obter uma análise conveniente.

Enquanto uma rede física utiliza-se apenas um mecanismo para capturar os pacotes, uma rede sem fios existem múltiplos canais em diferentes frequências num mesmo local. Uma tabela de canais wireless e as frequências correspondentes podem ser vistas na tabela 3.1.

Se desejarmos analisar o tráfego de um ponto de acesso ou máquina específica, devemos identificar o canal ou frequência em que o dispositivo se encontra, e configurar a nossa placa wireless para usar o mesmo canal, antes de iniciar a captura. Isto porque uma interface de rede apenas pode operar em um único canal a um determinado instante de tempo.

Se pretendermos capturar tráfego de múltiplos canais simultaneamente, é neces-

Número de Canal	Frequência	Intervalo
1	2.412 GHz	2.401-2.423
2	2.417 GHz	2.406-2.428
3	2.422 GHz	2.411-2.433
4	2.427 GHz	2.416-2.438
5	2.432 GHz	2.421-2.443
6	2.437 GHz	2.426-2.448
7	2.442 GHz	2.431-2.453
8	2.447 GHz	2.436-2.458
9	2.452 GHz	2.441-2.463
10	2.457 GHz	2.446-2.468
11	2.462 GHz	2.451-2.473
12	2.467 GHz	2.456-2.478
13	2.472 GHz	2.461-2.483

**Tabela 3.1:** *Frequências e Canais Wireless*

sário uma placa wireless adicional para cada canal que desejarmos monitorizar.

### Channel Hopping

Uma técnica usada para escutar rapidamente todos os canais wireless é o channel hopping. A sua utilização permite capturar pacotes em canais de diferentes frequências, seguindo um padrão de hopping não sequencial, sequencia essa pré definida de forma que exista um grande espaçamento entre canais (por exemplo: 1-6-11-2-7-12-3-8-13-4-9-14-5-10). A vantagem com este método não sequencial é que o sistema vai capturar mais pacotes devido à sobreposição dos canais subjacentes.

No caso europeu, existem 13 canais avaliáveis a uma frequência de banda de 2.4-2.485GHz. Para construir um módulo de captura eficiente, é recomendável que seja capaz de escutar em todos os 13 canais. Com esta técnica, a interface wireless continua a operar apenas numa frequência a um dado instante, mas está constantemente a mudar entre canais diferentes. Assim, é possível capturar tráfego de qualquer canal, sem a necessidade de parar e recomeçar a captura de pacotes antes de cada mudança de canal.

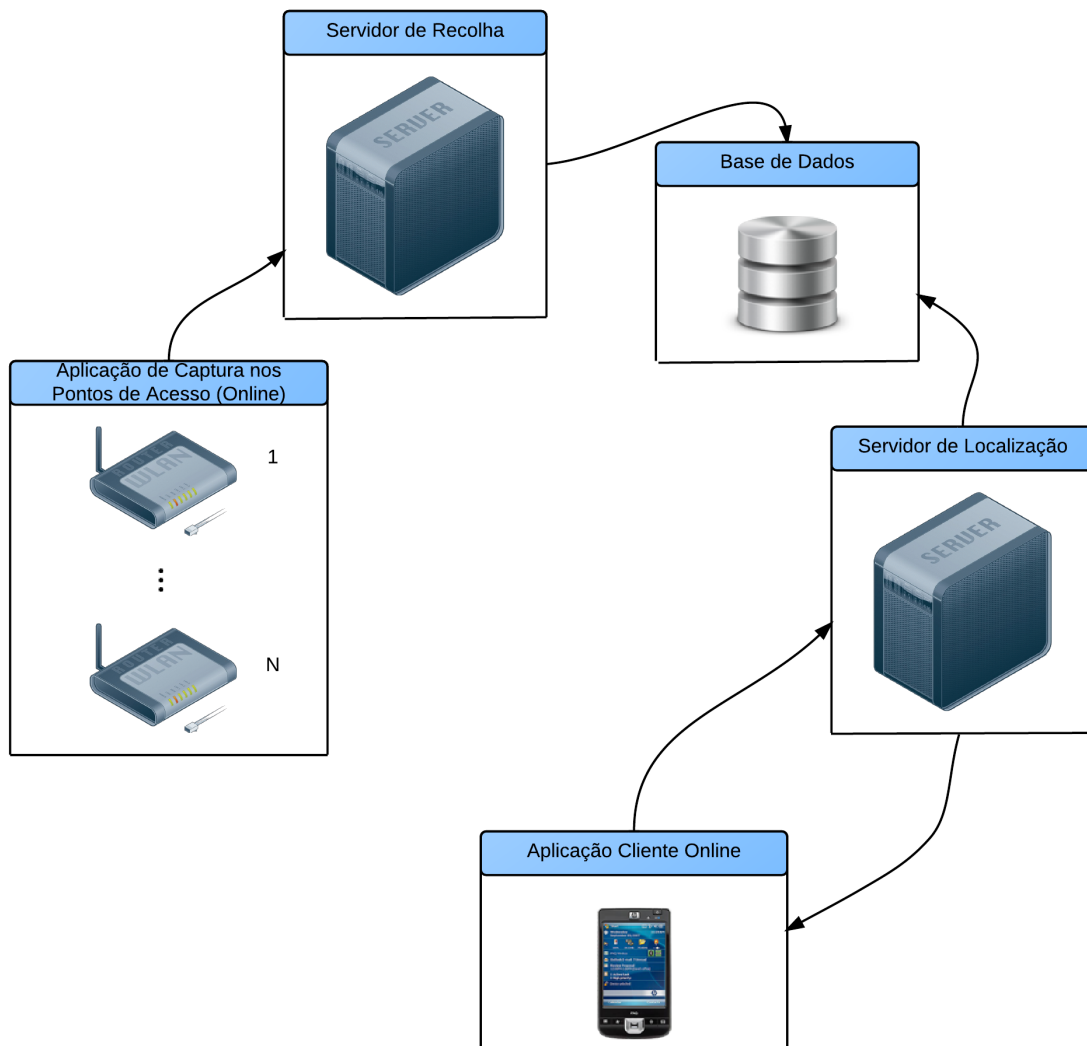
Contudo, não podemos esperar que esta técnica seja completamente eficaz na captura do tráfego wireless. Channel hopping irá causar a perda de tráfego, pois estamos rapidamente a mudar de canal. Se a interface estiver a operar sobre o canal 11 e alterarmos para outro canal, não vamos ser capazes de "ouvir" qualquer tráfego que ocorre no canal 11 até completar o ciclo e retomarmos a ele. Por este facto, o processo de channel hopping não é indicado para analisar tráfego de um dispositivo específico ( como é o caso da fase offline).

### **Modo Monitor**

Nas redes sem fios 802.11, estamos geralmente interessados em capturar toda a informação num canal particular, independentemente da rede a que o tráfego se destina. Infelizmente, colocar uma interface em modo promíscuo, não nos permite capturar todos os pacotes de um canal, mas apenas os pacotes da rede ao qual estamos associados. Para capturar todos os pacotes de um canal, necessitamos de colocar o dispositivo em modo monitor.

### **3.2.2 Fase Online**

Durante a etapa de tempo real, o esquema geral e seus módulos estão presentes na figura 3.2. A aplicação cliente online tem a função principal de apresentar ao utilizador a estimativa de localização no mapa. A aplicação interage com o servidor de localização. A componente servidor de localização como se comprova pela imagem, tira partido da informação contida na base de dados para proceder ao cálculo da localização do utilizador. Depois de efetuado o cálculo, devolve o resultado à aplicação cliente online. Assim como na fase de calibração, o servidor de recolha e a aplicação de captura nos pontos de acesso também estão presentes na fase online, embora com algumas alterações. O servidor de recolha tem a função de guardar toda a informação capturada através da aplicação de captura nos pontos de acesso



**Figura 3.2:** *Arquitectura geral da fase online*

(online). Nesta fase cada AP contém a aplicação de captura nos pontos de acesso que captura toda a informação possível no seu raio de alcance.



# Capítulo 4

## Implementação do Sistema de Localização

Neste capítulo são apresentados o material utilizado na implementação, bem como as decisões tomadas em relação ao vários processos do sistema. É exposta a estrutura utilizada no cabeçalho dos pacotes, e o modo como efetuamos a mudança de canal wireless para otimizar todo o processo de captura de pacotes.

São também explicadas as opções de implementação nas duas fases do sistema. Na fase offline, as componentes do servidor de localização, a base de dados e a aplicação móvel são discutidas. Posteriormente a fase online contem de forma descritiva informação sobre a aplicação cliente online e os algoritmos implementados.

### 4.1 Hardware e Software utilizados

Um dos componentes principais de *hardware* utilizados na implementação deste trabalho, foram os routers. Foram utilizados quatro routers Asus. Dois dos pontos de acesso são do modelo WL-500g Premium v1, um do modelo WL-500g Premium

v2 e outro do modelo WL-300g.

Uma das decisões tomadas em relação aos APs, foi a alteração do firmware de origem. Depois de uma pesquisa, a escolha recaiu no firmware DD-WRT (7). Um firmware bastante completo e com alguns serviços interessantes como a possibilidade de partilha de diretorias através do samba. A razão da escolha do firmware DD-WRT, é que ele permite de forma acessível correr código em linguagem *C* no router. Para o efeito, temos que informar no processo de compilação a arquitetura alvo.

As linguagens de programação *C* e *java* foram utilizadas para a implementação dos vários componentes do sistema. Para implementar o programa de captura de pacotes nos APs, utilizou-se a linguagem *C*. Isto porque os routers têm recursos limitados e também devido ao programa ser baseado no *wiviz* (26) que está igualmente desenvolvido nesta linguagem. Para as restantes componentes do sistema de localização, foi utilizada a linguagem *java*.

Neste projeto, foi decidido guardar o mapa das assinaturas numa base de dados *mysql*. A interação entre a base de dados e linguagem *java* foi assegurada recorrendo ao driver *JDBC* (*Java Database Connectivity*). A máquina que contém a base de dados está situada no laboratório de informática piso 0, assim com o servidor de localização que tem como sistema operativo o *Ubuntu 10.04*.

Foi utilizado um *smarthphone Samsung Galaxy Ace (GT-S5830)*, como cliente móvel. Este dispositivo, possui o sistema operativo *Android 2.2*. A escolha de um *Android* recaiu no facto de se tratar de um sistema operativo (*open source*), que está presente numa grande variedade de dispositivos móveis e disponibiliza boa documentação no auxílio ao desenvolvimento de aplicações.



## 4.2 Aplicação de Captura nos Pontos de Acesso

Para o desenvolvimento da aplicação de recolha optamos por utilizar a livreria pcap ( *Packet Capture library* ) (12). Trata-se de uma livreria open source, utilizada por sistemas de deteção de intrusões e sniffing como o *Wireshark network protocol analyzer* (5) e o *kismet* (13). Todos os pacotes na rede, mesmo aqueles destinados a outros hosts, são acessíveis através deste mecanismo, facilitando assim a recolha da informação de forma passiva.

A organização da nossa aplicação assim como a maior parte dos sniffers baseados na livreria pcap, é composto da seguinte estrutura:

1. Começamos por determinar qual a interface de rede onde desejamos efetuar a captura (sniff on). No nosso caso trata-se do device "wlan0". Podemos defini-la manualmente, ou solicitar ao pcap para seleccionar uma interface capaz de proceder à recolha. Para tal, utilizamos a função:

```
1 char * pcap_lookupdev(char *errbuf)
```

Esta função encontra o device padrão pelo qual pode efetuar a captura.

2. Abrir e preparar o device de captura. Aqui é onde dizemos ao pcap qual o device de onde capturamos. Podemos, se desejarmos, capturar sobre múltiplos devices. Este processo é realizado com o auxílio da seguinte função:

```
1 pcap_t * pcap_open_live(char *device, int snaplen, int promisc
, int to_ms, char *errbuf)
```

A função recebe como parâmetro uma String com o nome da interface de rede. Se a String for "ANY", inicia a captura sobre todos os interfaces. O terceiro argumento, define se utiliza ou não o modo promiscuo.

3. Caso seja necessário, podemos aplicar um filtro de forma a tratar apenas os pacotes desejados. O conjunto de regras (rule set) é criado, compilado e apli-

cado. Este passo é opcional. Na fase de recolha offline, podemos utilizar esta capacidade de filtragem para especificar o endereço MAC do dispositivo alvo.

```
1 strcpy(exp_filtro,"ether src ");
2 strcat(exp_filtro,MAC);
3 pcap_compile(handle,&fpcomp,exp_filtro,0,net);
4 pcap_setfilter(handler,&fpcomp);
```

4. Finalmente, definimos o ciclo de execução do pcap. Produzimos um loop de "n" pacotes ou um loop infinito. A função seguinte serve para esse efeito.

```
1 int pcap_loop(pcap_t *p, int cnt, pcap_handler callback,
    u_char *user);
```

Como argumentos, a função recebe um section handler, um número inteiro, que especifica o número de pacotes a capturar, e a função callback.

Cada pacote capturado, é tratado por uma função callback definida por nós. Através da função callback podemos extrair informação relevante, como a força do sinal e o canal wireless. A estrutura base é a seguinte:

```
1 void got_packet(u_char *args, const struct pcap_pkthdr *header,
    const u_char *packet);
```

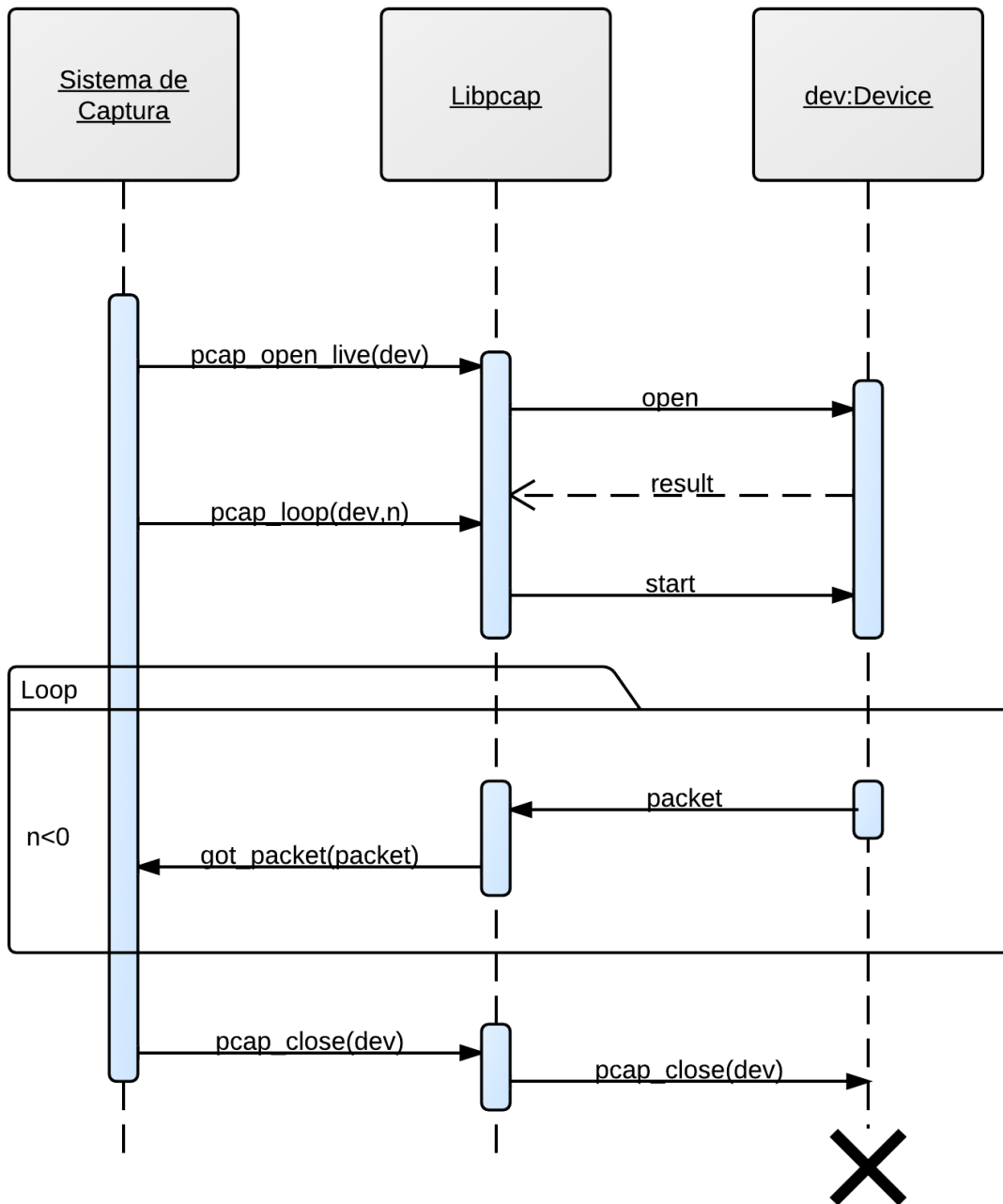
O cabeçalho e o apontador para os dados do pacote são os argumentos existentes nesta função.

5. Depois de capturar os pacotes, fechamos a secção e o processo fica completo.

A figura 4.1 contém o diagrama sequencial de todo o processo.

## Informação dos Pacotes

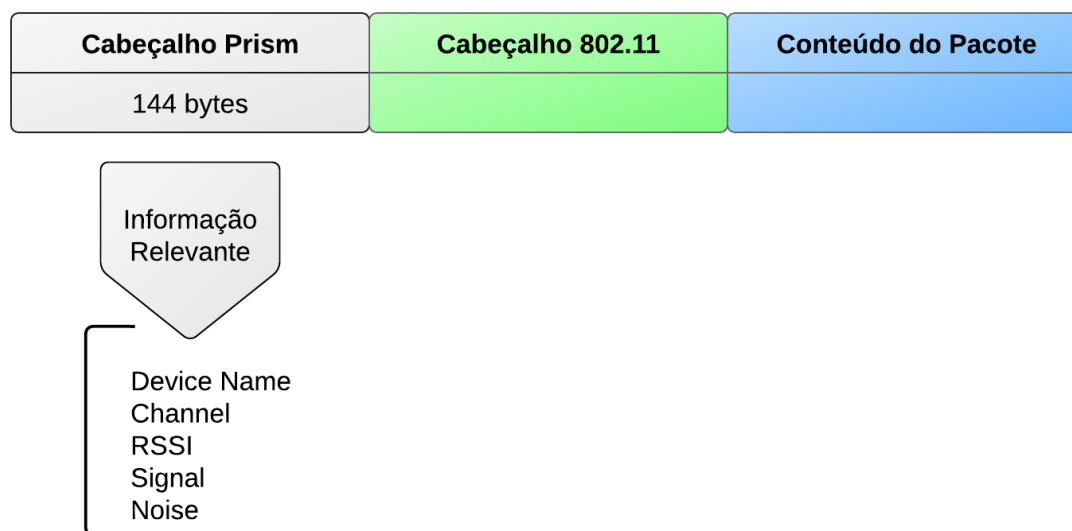
O cabeçalho Prism é geralmente um cabeçalho extra desenvolvido para providenciar informação adicional sobre os pacotes 802.11. É um formato suportado



**Figura 4.1:** Diagrama de seqüência da fase de captura

por uma grande variedade de drivers, bem como, pela livreria pcap com o tipo `DLT_PRISM_HEADER`.

Assim, os pacotes capturados contêm a seguinte estrutura:



**Figura 4.2:** *Formato de um pacote capturado*

Existem 2 variações da aplicação de recolha de pacotes. Uma para cada uma das fases do processo de localização. Ambas estão a correr em modo monitor. Para o firmware utilizado, o comando *wl monitor 1* activa a captura no modo pretendido.

Na fase de calibração, a aplicação desenvolvida tem a particularidade de aceitar como filtro, mais do que um endereço MAC. Isto deve-se ao fato, de na fase de testes necessitarmos de comparar os dados de dois dispositivos - um laptop e um android. Isto facilita muito o preenchimento da base de dados offline, porque com este mecanismo é possível preencher a base de dados com os dados simultâneos de vários equipamentos móveis.

Outro aspeto a ter em consideração, é que a fase offline não necessita de efetuar mudanças de canal wireless de forma periódica (channel hopping). Esta funcionalidade não é útil neste cenário pois o objetivo é capturar somente no canal onde se encontra o dispositivo móvel alvo. A seleção do canal estático teve que ser ponderado e selecionado depois de alguns testes de forma a verificar em que condições os dados seriam recebidos. Na secção de testes podem ser vistos os motivos pelo qual se optou por selecionar o canal seis (ver secção 5.2).

Para a componente online, uma das alterações foi a introdução da técnica já referida anteriormente, o *channelhopping*. Trata-se de uma script que opera inter-ruptamente em paralelo com a aplicação de recolha de pacotes. Numa etapa mais avançada, verificamos os resultados obtidos com a melhoria apresentada.

## 4.3 Fase offline (Calibração)

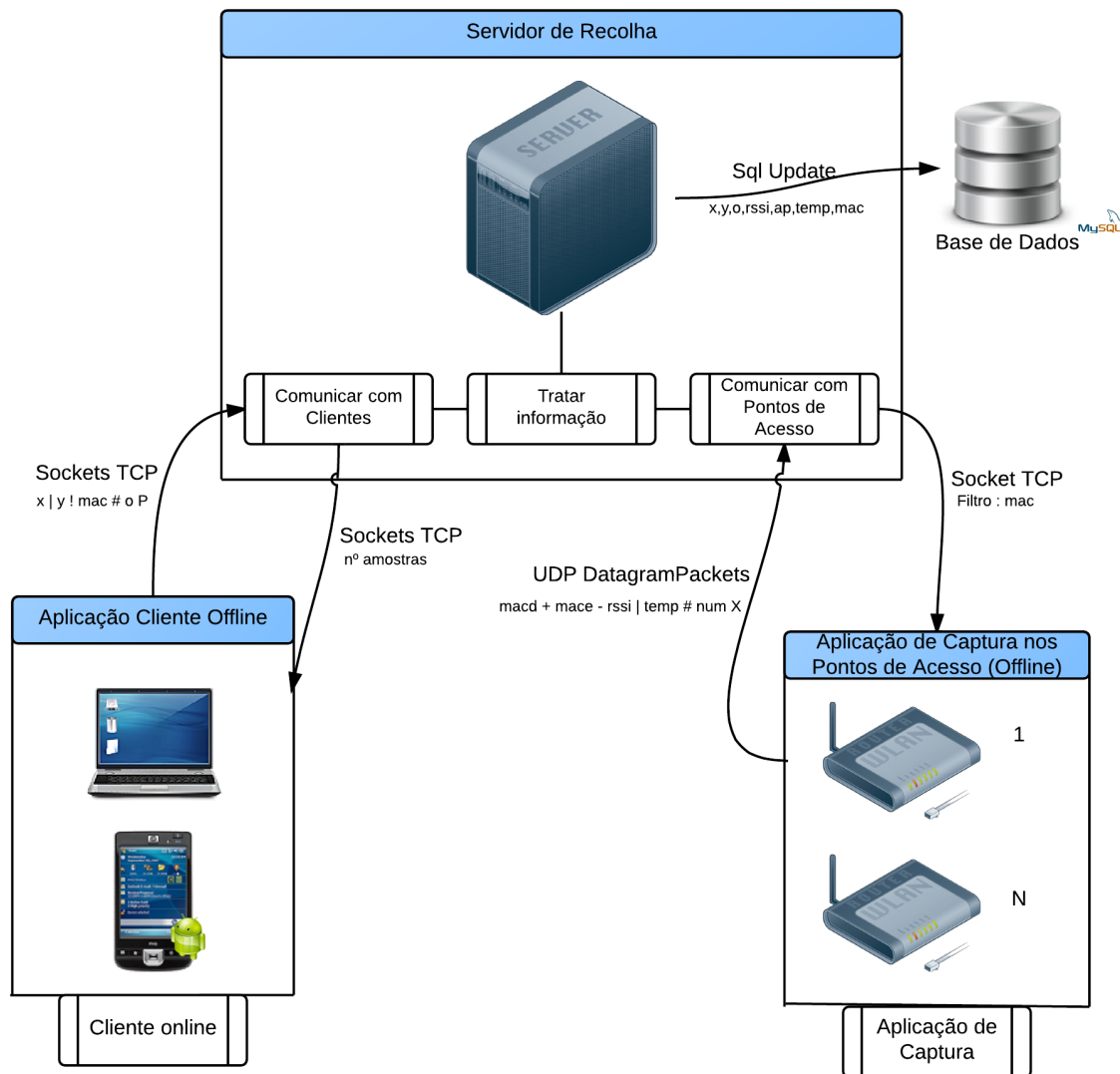
O esquema geral da Fase offline e todos os seus modulos estão ilustrados na figura 4.3. São descritos os protocolos de comunicação utilizados entre os componentes. Nesta secção vamos descrever o processo de implementação de cada um deles, à excepção da componente da aplicação de captura nos pontos de acesso que foi discutida na secção anterior.

### 4.3.1 Aplicação Cliente Offline

A *Aplicação cliente offline* foi desenvolvida utilizando a linguagem java durante o curso do projeto anterior. Foi atualizada de forma a interagir com um número superior a 3 APs. É destinada aos dispositivos dos utilizadores que tenham ligação à rede.

Adicionalmente, e como um dos objetivos deste projeto passa por diversificar os dados na base de dados e analisar a correlação entre as medidas das várias placas de rede dos vários dispositivos, decidiu-se criar uma nova aplicação do cliente.

A nova aplicação do cliente offline foi desenvolvida para a plataforma Android (10). A escolha de *Android* recaiu no facto de se tratar de um sistema operativo (*open source*), que está presente numa grande variedade de dispositivos móveis e disponibiliza boa documentação no auxílio ao desenvolvimento. Assim, o facto de existirem



**Figura 4.3:** *Protocolos de comunicação dos componentes offline*

vários modelos de dispositivos que suportam esta tecnologia, permite-nos povoar nesta fase e analisar posteriormente, os dados provenientes de várias placas de rede.

O funcionamento da aplicação é simples e consiste inicialmente no pedido da seguinte informação ao cliente:

- Coordenada X
- Coordenada Y

- Orientação

Com a informação recolhida e depois de verificar que os dados introduzidos são válidos, segue-se uma consulta aos dados da placa wireless do dispositivo, mais concretamente do endereço MAC. Nesta fase, são necessárias permissões adicionais para a nossa aplicação android. Para obtermos acesso à informação desejada, foi necessário editar o ficheiro `AndroidManifest.xml` e adicionar:

```
1 <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_WIFI_STATE
  "/>
2 <uses-permission android:name="android.permission.INTERNET"/>
```

A informação é enviada para o servidor de localização em formato de String. Optou-se por separar cada campo por um único carácter específico, de forma a diminuir o tamanho e conseqüente custo da comunicação. Esta opção, torna também menos complexo o processo de *parsing* do lado do servidor.



**Figura 4.4:** *Formato do pacote de dados*

No menu principal da aplicação é possível verificar todas as mensagens de retorno do sistema numa `TextView`. É uma funcionalidade útil para descobrir potenciais problemas de conexão ou a informação de resposta por parte do servidor. Em caso de sucesso, o servidor informa do número de amostras recolhidas por cada um dos pontos de acesso. De referir que a comunicação entre a aplicação do cliente e o servidor de localização se estabelece por vias de sockets TCP. Existe um botão para limpar todos os dados e efetuar auto focus no `edittext` inicial x.

A aplicação contém ainda funcionalidades que permitem ao utilizador exercer um maior controlo e customização. Existe a possibilidade de seleccionar o botão das preferências, onde o utilizador é redireccionado para um novo menu. Dentro do menu das definições, podemos alterar os dados referentes ao servidor de localização(host



**Figura 4.5:** *Aplicação Cliente Offline*

e porta) e do Receptor(porta). O número de pontos de acesso é outra das opções customizáveis. Com a introdução do número de APs na comunicação, o sistema torna-se facilmente adaptável para novos cenários de captura. Todas as definições são guardadas de forma persistente através do mecanismo de *SharedPreferences* do Android. Isto significa, que mesmo depois de encerrada a aplicação, as preferências do utilizador são preservadas, para uma futura utilização.

O número de APs pode ser definido apenas no servidor, mas como a *Aplicação cliente offline* é destinada ao administrador do sistema, um campo que contém o número de pontos de acesso foi adicionado às definições. A vantagem desta opção é permitir ao administrador alterar o seu ambiente alvo com um menor esforço.

Outra opção disponível ao utilizador, é a seleção de uma *checkbox* que ativa a reprodução de tráfego por parte do dispositivo. Quando a flag está ativa, é criada uma thread destinada apenas para o efeito de gerar tráfego. O tráfego é gerado com a obtenção de forma cíclica de uma página de um servidor HTTP e pelo envio de



uma mensagem para o endereço *broadcast* 255.255.255.255. A thread é interrompida quando o servidor alerta para o fim do ciclo de recolha. Esta funcionalidade é vantajosa, pois auxilia os APs no processo de recolha de pacotes.

### 4.3.2 Servidor de Recolha

A componente do *Servidor de recolha* surge como intermediário entre os vários módulos da fase offline. O cliente inicia o processo de contacto com servidor de recolha através do protocolo de comunicação exposto na figura 4.4. Depois de recebidas as informações do endereço MAC, coordenadas e orientação, o *Servidor de recolha* contacta a aplicação presente nos diversos APs (sendo lançada uma thread de recolha por cada AP) informando qual o(s) MAC(s) para aplicar o filtro de captura (ver figura 4.6).

O *Servidor de recolha* faz o tratamento da informação proveniente dos routers, inserindo todos os pacotes capturados na base de dados. O formato da tabela da base de dados é descrito na secção 4.3.3.

No final da captura por parte dos routers, estes informam o servidor de recolha, que por sua vez contacta a aplicação do cliente sobre o número de amostras capturadas.

Durante a implementação do servidor de recolha, foi introduzido um mecanismo pré-definido de atribuição de endereços, com vista a facilitar a adaptação do componente a um maior número de pontos de acesso. O número de pontos de acesso pode ser definido pelo administrador do sistema, através das definições da aplicação cliente offline. Foi também introduzido um ficheiro de configurações de forma a facilitar todo o tipo de alteração a endereços e campos do sistema.

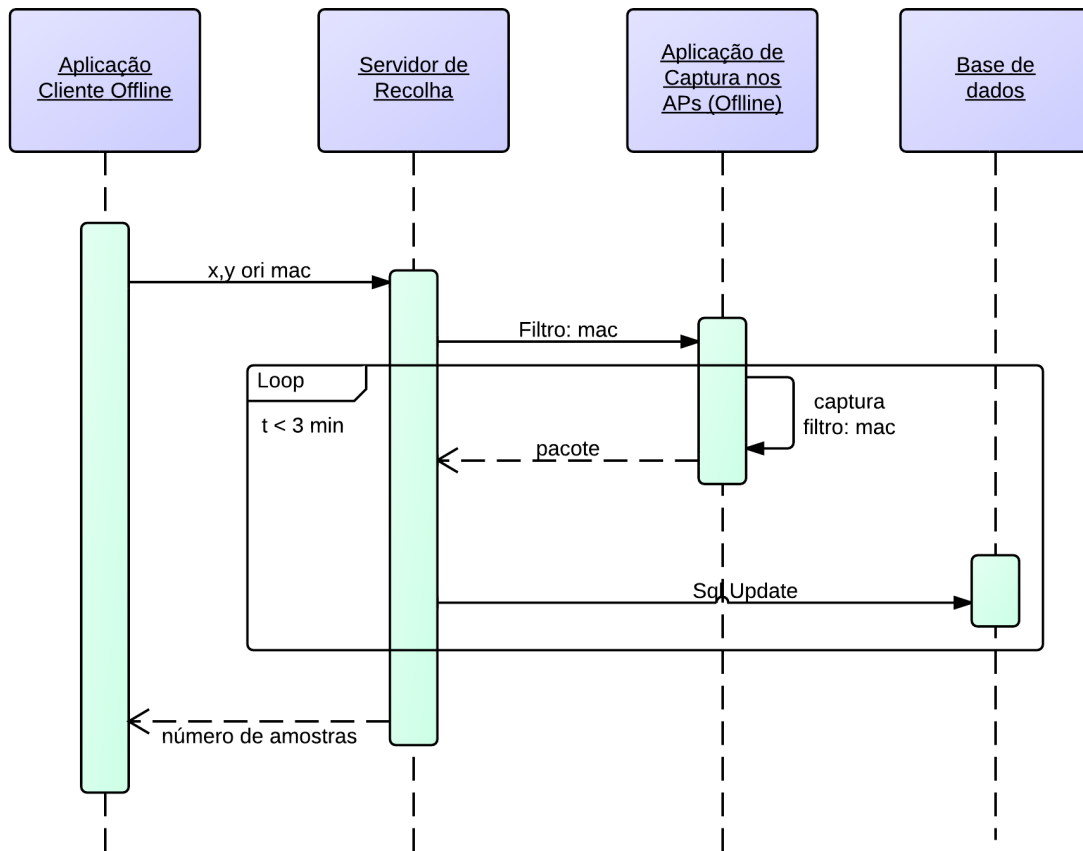


Figura 4.6: Diagrama de sequência da comunicação - Servidor de Recolha

### 4.3.3 Base de Dados Offline

Na implementação deste trabalho, a base de dados offline foi desenvolvida em MySQL (20). Foi definida uma estrutura para a tabela que armazena os dados recolhidos nesta fase. A tabela foi criada com o seguinte comando SQL:

```

1 CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'TabelaDadosOffline' (
2   'id' double unsigned NOT NULL AUTO_INCREMENT,
3   'xx' float unsigned DEFAULT NULL,
4   'yy' float unsigned DEFAULT NULL,
5   'ori' varchar(1) DEFAULT NULL,
6   'RSSI' float unsigned DEFAULT NULL,
7   'ap' smallint(5) unsigned DEFAULT NULL,
8   'tempoBD' timestamp NOT NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
9   'mac' varchar(12) DEFAULT NULL,
10  UNIQUE KEY 'id' ('id')
11 );

```

Cada campo da tabela *offline*, contém informação útil sobre o mapeamento. O *id* corresponde a um valor de entrada único. O campo *XX* e *YY*, são as coordenadas de cada ponto de referência para os valores de *x* e *y* respectivamente. A orientação do cliente no momento da recolha, é guardado no campo *ori*. O valor da força de sinal recolhido, é guardado no campo *RSSI* que é do tipo *float*. Outro dado importante está presente no campo *tempoBD*, que contém o tempo de inserção do registo na Base de dados. Por fim, a informação do endereço *mac* do dispositivo do cliente, é armazenado no campo *mac*.

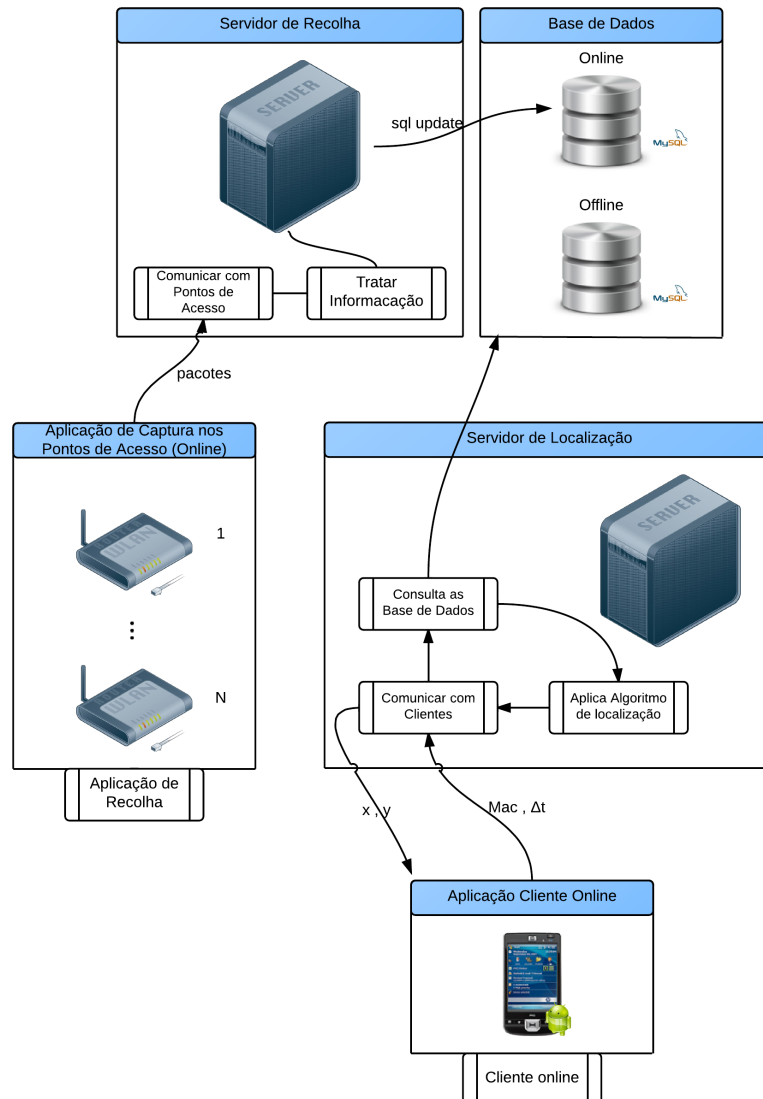
De forma a resumir a informação *offline* com vista a facilitar a aplicação de algoritmos de localização, foram criados 2 programas *java* para esse efeito. Uma tabela contém os dados referentes à média dos valores dos APs por ponto de referência. A segunda tabela contém o valor da probabilidade de ocorrência por intervalos em cada ponto de referência.

## 4.4 Fase Online (Tempo Real)

Uma vez terminada a fase de calibração, o próximo passo é a implementação dos componentes da fase online. Nesta secção estão descritas as decisões tomadas e os protocolos utilizados na comunicação dos módulos. Um esquema detalhado desta fase pode ser visto na figura 4.7.

### 4.4.1 Aplicação Cliente Online

A *Aplicação cliente online* é a interface gráfica que possibilita ao utilizador observar a sua localização no dispositivo móvel. Ela faz a interação entre a componente do servidor de localização e o cliente.



**Figura 4.7:** *Protocolos de comunicação dos componentes online*

A comunicação definida entre os dois componentes tem uma estrutura simples (Figura 4.8). O servidor de localização, apenas recebe a informação referente ao endereço MAC do dispositivo, e do intervalo de tempo. O intervalo de tempo é o número em segundos, pelo qual o utilizador deseja ser localizado. Os dados recolhidos nesse periodo de tempo são os usados pelo algoritmo de localização.

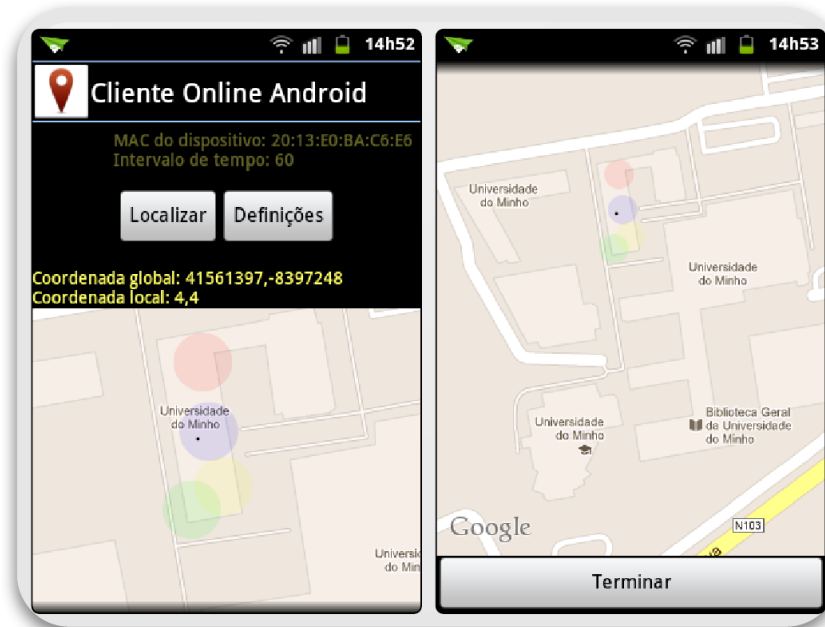
Na aplicação desenvolvida, o endereço MAC do cliente é extraído automaticamente das informações do sistema. É utilizada a função `getSystemService (Context.WIFI_SERVICE)` para recolher o estado e os valores do serviço Wi-Fi. Nor-

malmente o valor do endereço MAC recolhido é o utilizado pelo cliente, mas existe a opção de definir manualmente o MAC pelo utilizador nas definições da aplicação. No caso do intervalo de tempo, foi estabelecido 120 segundos como o valor predefinido. Contudo, tal como o endereço MAC, é fornecida ao utilizador a possibilidade de redefinir esse valor. Um aspeto a ter em conta é, no caso de o valor ser muito curto, podem não existir dados suficientes na base de dados online para providenciar uma estimativa de localização.

<b>Endereço MAC</b>	<b>#</b>	<b><math>\Delta t</math></b>	<b>P</b>
00:18:DE:CF:29:53		120	

**Figura 4.8:** *Protocolo de comunicação da aplicação cliente online*

Após o processo de localização, o cliente recebe os dados da sua localização sobre a forma de coordenada local. A coordenada local é o valor em metros referente a posição do utilizador no mapa do 3º piso do departamento de informática. Para tornar a nossa aplicação mais versátil, e facilmente aplicável noutra ambiente, decidiu-se converter as coordenadas locais em coordenadas globais.



**Figura 4.9:** *Aplicação Cliente Online*

O processo de conversão das variáveis locais em globais, passa por definir inicialmente o ponto de referência (1,1) na sua coordenada global correspondente. Como os

pontos de referência têm um espaçamento igual ao longo do corredor do cenário de testes, foi estabelecido um padrão de atribuição de variáveis com base nesse espaço. Assim, a expressão que nos indica as coordenadas de latitude e longitude em função dos pontos de referência é a seguinte:

$$lat_g = lat(1, 1) + (x - 1) * sx$$

$$lon_g = lon(1, 1) + (y - 1) * sy$$

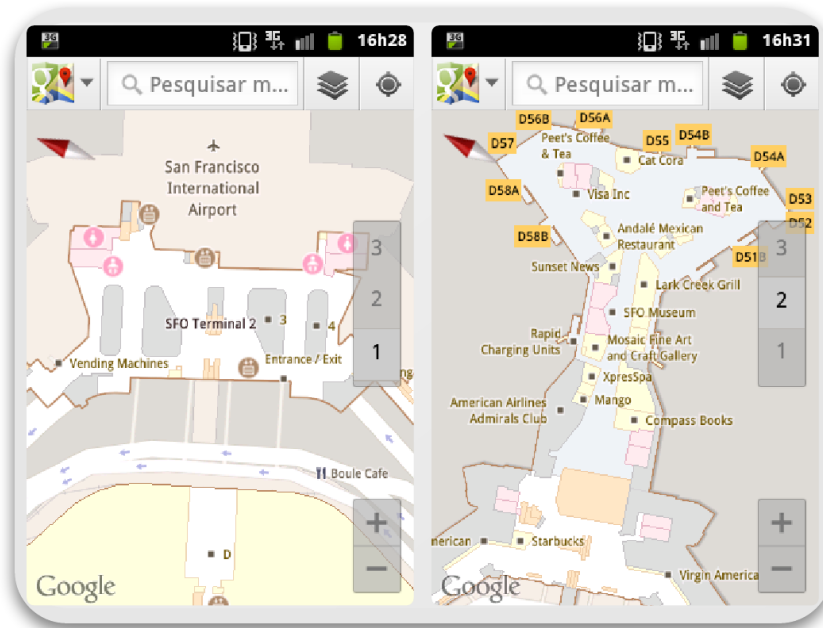
Onde o  $x$  e  $y$  são as coordenadas locais, e o  $sx$  e  $sy$  são respectivamente o espaçamento padrão da latitude e longitude.

A interface gráfica tira partido da biblioteca externa google maps. Trata-se de um pacote que contém um poderoso número de informações das ruas e mapas a nível global. Com a integração deste serviço, e sabendo a coordenada no formato GeoPoint, podemos providenciar ao cliente uma boa perspectiva da sua localização global. A vantagem desta abordagem, é que numa fase avançada, pode servir de complemento ao serviço outdoor GSP. Assim, seria possível localizar um dispositivo móvel de forma contínua, independentemente do meio ambiente onde se encontra. Hoje em dia, esta ferramenta já começa a apostar na criação de mapas *indoor*. Como podemos ver na figura 4.10, são grandes as potencialidades do google maps *indoor*. Os 3 pisos do aeroporto de São Francisco na Califórnia, já se encontram ao dispor do utilizador. A longo prazo, com o crescente número de edifícios a serem adicionados, a nossa aplicação já está preparada para tirar partido dos mapas interiores. Para o nosso caso de estudo também foi estudada a hipótese de adicionar o mapa do 3 piso do departamento de informática no google maps mas por enquanto, essa opção apenas está disponível no Japão, Reino Unido e Estados Unidos<sup>1</sup>.

Na interface gráfica, a posição calculada é assinalada no mapa por um ponto negro. Outros elementos que ajudam o cliente a ter a noção do espaço onde se

---

<sup>1</sup> <https://support.google.com/gmm/bin/topic.py?hl=en&topic=1685871>



**Figura 4.10:** Piso 1 e 2 do aeroporto de São Francisco (Google Maps)

encontra, são os APs. Eles são visíveis sobre a forma de círculos coloridos (com cores diferenciadas) e com um raio de alcance de sinal.

A customização é um aspeto importante na aplicação do cliente, daí que o modo de vista do mapa pode ser alterado para um de dois modos. Existe a hipótese de se visualizar o mapa em modo híbrido (predefinido) ou no modo satélite. O utilizador pode efetuar a escolha no menu das definições 4.11. Igualmente no menu das definições existe a possibilidade de introduzir o endereço do servidor de localização. Esta funcionalidade como objetivo aumentar a versatilidade da nossa aplicação.

Assim como acontece com a aplicação cliente offline, todas as definições são guardadas de forma persistente através do mecanismo de *SharedPreferences* do Android. Isto significa, que mesmo depois de encerrada a aplicação, as preferências do utilizador são preservadas, para uma futura utilização.

Como forma de guardar os dados necessários para o cálculo da margem de erro da posição, foi implementado um sistema de logs. A informação é guardada num

ficheiro, onde o conteúdo corresponde a um identificador único, à hora atual e à estimativa de localização. A presença de um campo de coordenadas reais no menu das definições, foi outra das funcionalidades destinadas no auxílio nos testes da margem de erro dos algoritmos.



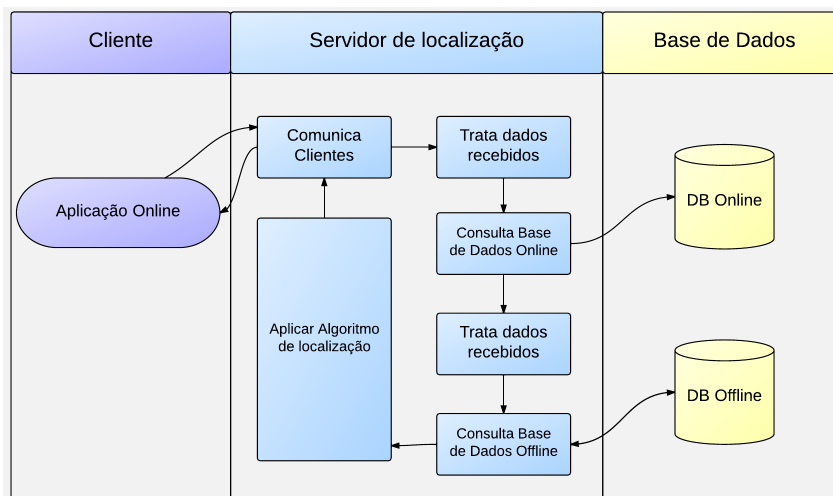
Figura 4.11: *Aplicação Cliente Online 2*

#### 4.4.2 Servidor de Localização

O servidor de localização é a entidade que responde a pedidos de localização por parte dos clientes do sistema. Tem como ponto de partida o endereço MAC do utilizador e possibilita a especificação da janela temporal pela qual o cliente deseja ser localizado. Na Figura 4.12 podemos ver todos os módulos que compõem o servidor de localização.

Comunica com Clientes - Neste módulo, o servidor fica a aguardar por pedidos de clientes, através de um socket TCP. Uma vez efetuada uma ligação, os dados são recebidos em formato de string e depois do processo de localização a resposta é transmitida ao cliente no formato de coordenadas locais. Esta última transmissão é





**Figura 4.12:** *Arquitetura do Servidor de localização*

igualmente realizada por TCP.

Trata dados recebidos - Em seguimento do módulo anterior, a string recebida da transmissão do cliente tem que ser tratada. De maneira a extrairmos a informação com um parsing, o formato da string tem que ser definido previamente. A figura 4.8 ilustra o formato simples utilizado.

Se extraída corretamente, a informação obtida corresponde ao endereço MAC e ao intervalo de tempo pelo qual nos vamos localizar. Agora estamos preparados para consultar a base de dados online com os filtros desejados.

Consulta Base de dados Online - Neste módulo é realizada a pesquisa na base de dados online, tendo como ponto de partida os dados MAC e intervalo de tempo enviados pelo cliente. Isto porque com o filtro na *query sql*, selecionamos apenas a informação que nos é útil. Com o MAC especificamos o cliente, e com o intervalo de tempo selecionamos apenas os registos compreendidos entre esse valor e a hora atual, evitando assim valores antigos.

A consulta é direcionada sobre a base de dados online, pois esta possui os dados capturados em tempo real. É necessário aplicar N interrogações sql, uma para cada

AP, e tratamos a informação da força do sinal para um array de dimensão N. Esse array vai servir depois para comparação com os dados offline.

Trata dados recebidos - Depois de questionada a base de dados, procedemos ao tratamento da informação resultante. A informação da média do RSSI por cada AP é guardada. Cada posição do vector corresponde ao valor da média para o número do AP correspondente.

Consulta base de dados offline - Sabendo o vector com as médias em tempo real, temos agora que consultar os dados da base de dados offline. Os dados calculados são guardados em variáveis do tipo `java.util.HashMap<Integer,Double>` onde a key são os identificadores únicos de posição, e os valores são a força do sinal respetivo. De referir que temos uma Hashmap por cada ponto de acesso. Outro cenário é quando necessitamos guardar os dados para o algoritmo probabilístico. Nesse caso, guardamos o valor da probabilidade para o intervalo que corresponde ao valor do RSSI da fase online.

Aplicar algoritmo de localização - Componente responsável por calcular a posição do cliente. Com base nos dados adquiridos quer na fase online quer na fase offline, o algoritmo procede à comparação destes valores através da soma das distâncias ou soma das probabilidades. Na secção respetiva, podemos obter mais detalhe sobre cada algoritmo implementado.

Depois de decidir qual a posição do utilizador, o servidor contacta a aplicação do cliente, através do socket que ainda se encontra ativo, e informa da localização em formato de coordenadas locais.

### 4.4.3 Algoritmos de localização

Um dos objetivos do sistema de localização, é providenciar uma estimativa com um bom grau de certeza. Para isso, neste projeto desenvolvemos os seguintes métodos de cálculo de posição.

#### Algoritmo 1 - Soma das Distâncias

Numa fase inicial, foi implementado um algoritmo de localização baseado na distância entre os pontos. A fórmula pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$d = | \text{ponto1} - \text{RSSIap1} | + | \text{ponto2} - \text{RSSIap2} | + | \text{ponto3} - \text{RSSIap3} | + | \text{ponto4} - \text{RSSIap4} |$$

Onde o valor do  $\text{ponto}_i$  corresponde à medida obtida em tempo real, e o valor de  $\text{RSSIap}_i$  equivale à medida presente na base de dados offline para o ap  $i$ . Com base na distância entre os valores obtidos em tempo real e os mantidos na base de dados offline, o algoritmo vai selecionar a posição para a qual a soma das distâncias tem o menor valor absoluto. No auxílio à construção dos vetores anteriormente referidos, foram preenchidos dois Hashmaps. Um com os dados da base de dados offline e outro com os dados recolhidos em tempo real. Este algoritmo foi adaptado da implementação anterior por forma a lidar com N APs.

#### Algoritmo 2 - Nova Soma das Distâncias

Com os testes realizados ao Algoritmo 1 e respetiva análise da informação (ver secção de testes), concluiu-se que algumas melhorias seriam necessárias. O primeiro aspeto a alterar, ocorre quando se verifica um valor inferior a -85dBm na diferença

parcial de um AP. Nesse caso, descartamos o valor diferencial. Isto porque, quando o sinal é muito fraco existe a possibilidade de na fase online o AP não estar ao alcance a partir do local. A segunda proposta, foi a atribuição de diferentes pesos distribuídos pelo grau de confiabilidade do valor do rssi. Ou seja, sabemos à partida que quanto mais forte é o sinal, menor é a probabilidade de erro e distorções na sua propagação, logo atribui-se um peso superior.

Foram selecionadas 3 gamas de valores para a força de sinal.

- A) Intervalo de muita confiança compreendido de -40 dBm a -60 dBm;
- B) Intervalo de relativa confiança entre os valores -60 dBm a -75 dBm;
- C) Intervalo de pouca confiança com valores a variar de -75 dBm a -85 dBm;

A cada gama de valores fez-se corresponder os respetivos pesos 1,2 e 3. Onde a condição " $A < B < C$ " se verifica.

Para testar o comportamento deste algoritmo, foram utilizados os mesmos pontos que do teste anterior. Os resultados foram semelhantes, mas com uma ligeira melhoria. Na tabela 5.3 podemos ver os valores obtidos para os pontos testados.

### Algoritmo 3 - K Vizinhos

O terceiro algoritmo implementado é o chamado de K vizinhos mais próximos (KNN).

O processo consiste na seleção das K posições mais próximos do valor medido. Com este método, a localização é estimada através da conjugação dos K resultados obtidos. No nosso caso, decidiu-se considerar o K igual a 2, isto porque num ambiente

com um corredor extenso como o nosso, a seleção de um  $K$  elevado não traz vantagens consideráveis.

A vantagem deste algoritmo em relação aos anteriores, é que ele está preparado para providenciar uma estimativa para além dos pontos de referência existentes na base de dados. Através da conjugação de dois pontos, podemos apontar para uma posição intermédia.

#### Algoritmo 4 - Probabilístico

Para submeter o nosso ambiente de testes a um novo método de cálculo, utilizou-se um algoritmo probabilístico. O método consiste em calcular um histograma de probabilidade para cada AP nos respetivos pontos de referência. Para isso, subdividimos a gama de força do sinal em 10 intervalos e contabilizamos as probabilidades para todos eles. Os intervalos selecionados estão presentes na tabela 4.1.

I1	I2	I3	I4	I5
$[-35, -40.6]$	$[-40.6, -46.2]$	$[-46.2, -51.8]$	$[-51.8, -57.4]$	$[-57.4, -63]$
I6	I7	I8	I9	I10
$[-63, -68.6]$	$[-68.6, -74.2]$	$[-74.2, -79.8]$	$[-79.8, -85.4]$	$[-85.4, -91]$

**Tabela 4.1:** *Gama dos intervalos de probabilidade*

Para desenvolver este algoritmo, foi necessário criar uma nova tabela na base de dados de forma a guardar os valores probabilísticos. Para obter a informação dos casos mais prováveis para cada ponto de referência, utilizamos a seguinte expressão (17):

$$P(l_t|o_t) = P(o_t|l_t) * P(l_t) * N$$

onde,  $P(l_t|o_t)$  corresponde à probabilidade condicionada de estar no local  $l$  no instante  $t$ , para uma observação RSSI no instante  $t$ . A probabilidade  $P(o_t|l_t)$  equivale a observar um valor RSSI num local  $l$  para o instante  $t$ . O conjunto desses valores dá origem ao histograma de probabilidades. No cenário proposto, o valor  $P(l_t)$  é constante. Isto verifica-se, pois consideremos igualmente provável o utilizador estar em todos os sitios do departamento. O valor  $N$  corresponde a um fator de normalização que assegura que a soma de todas as probabilidades é 1.

Depois da informação estar presente na base de dados, o algoritmo vai recorrer à soma das probabilidades para proceder à seleção da posição do utilizador. A posição que obtém a maior soma de probabilidades (SOP) é escolhida (19).

$$(SOP) = \sum_{i=1}^N P_i = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n'} P_{ij}$$

# Capítulo 5

## Testes e Resultados

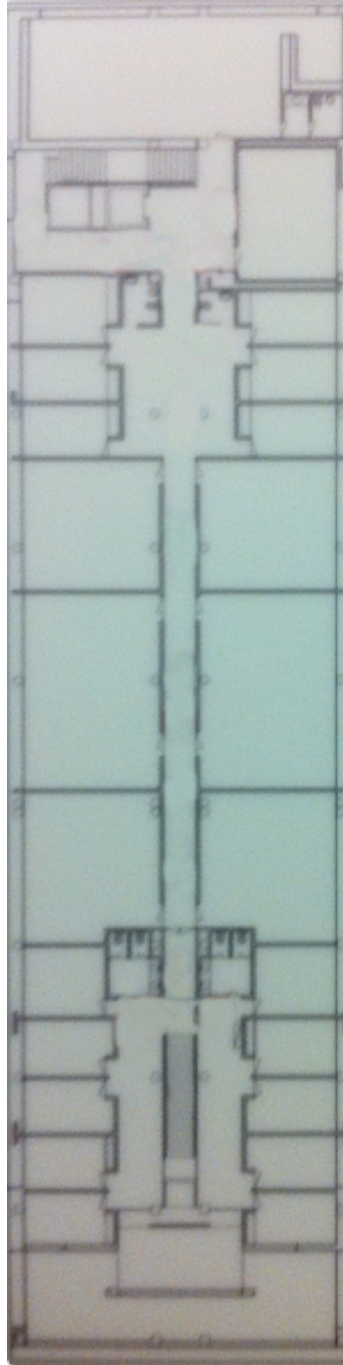
Neste capítulo é ilustrado o cenário onde o sistema de localização foi implementado. São descritas todas as decisões tomadas, como a localização dos pontos de referência e pontos de acesso.

São também apresentados os testes preliminares efectuados, por forma a estudar o comportamento da força de sinal sobre diferentes cenários. Por fim, são mostrados os resultados do comportamento dos algoritmos implementados.

### 5.1 Cenário de testes

O piso 3 do departamento de informática, foi o local escolhido para implementar o sistema de localização. Trata-se de um local bastante amplo, e que possui várias divisões. A grande quantidade de obstáculos pelo qual a força de sinal tem que se deparar, formam à partida um bom local de testes para o nosso sistema. Isto porque, no projeto realizado no ano anterior, o local de testes decorreu numa sala de pequenas dimensões (14 x 6 metros), onde as diferenças do valor do sinal eram pouco significativas, logo tornava-se complicado fornecer uma estimativa precisa. Na

figura 5.1 podemos ver a planta do ambiente utilizado.

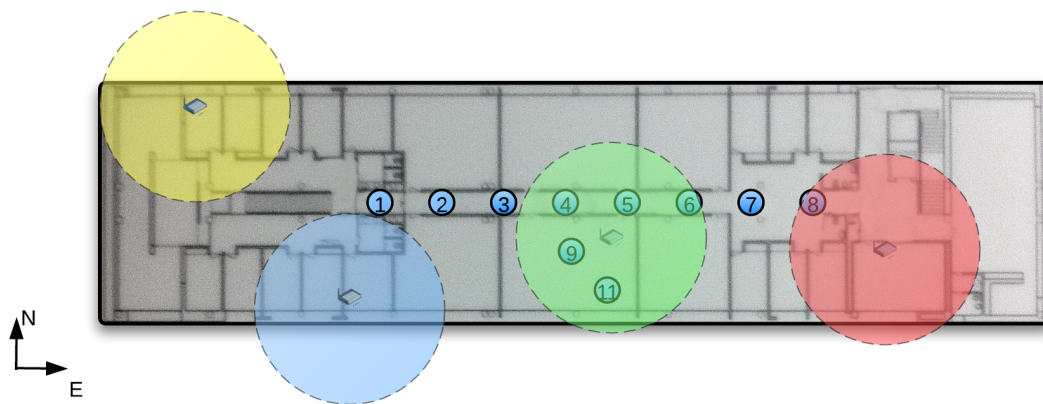


**Figura 5.1:** *Planta do Piso 3 do Departamento de Informática*



### 5.1.1 Seleção dos Pontos de Referência

Com o ambiente alvo conhecido, é agora necessário pensar quais os pontos de referência que desejamos mapear. Na figura 5.2 podemos ver quais os pontos do mapa que foram selecionados. Para um total de 10 pontos, foram efetuadas 4 recolhas para as várias orientações : norte, sul, este e oeste. O espaçamento entre cada ponto de referência é de aproximadamente 2 metros.



**Figura 5.2:** Pontos de referência selecionados

O número de amostras recolhido em cada ponto de referência varia dependendo da localização do cliente. Foi imposto um limite temporal, para determinar o fim da captura. No nosso caso, foi estabelecido 3 minutos de tempo total de recolha por cada ponto.

Numa primeira etapa da fase offline, foi necessário tomar decisões relativas à distribuição dos APs pelo piso. Consideraram-se várias opções, e os pontos azuis da figura 5.2 foram escolhidos. O principal objetivo passou por distribuir os APs de forma moderadamente dispersa pelo piso 3 de forma a cobrir toda a sua superfície.

Todos os APs estão ligados à mesma rede do departamento de informática, e continham endereços de host sequenciais (rede 193.136.9.0/24, endereço 20+n para o  $AP_n$  ).

Foi necessário alterar a tabela do *iptables* de todos os APs para conseguirmos iniciar a conexão desde o servidor de localização. Assim, uma script no formato *firewall* foi adicionada aos routers com a seguinte informação:

```
1 > nvram set rc_firewall="
2 > iptables -I INPUT 1 -s 193.136.9.0/24 -j ACCEPT
3 > iptables -I FORWARD 1 -s 193.136.9.9/24 -j ACCEPT
4 > "
5 > nvram commit
```

A segunda linha da script coloca uma regra no *iptables* por forma a aceitar os pacotes da rede 193.136.9.0/24 e a terceira cria a regra de encaminhamento de pacotes para a mesma rede.

Depois de distribuídos e configurados os APS, surgiram 3 variáveis importantes que eram necessárias ter em conta. Eram elas, o canal pelo qual se iria recolher os dados, o equipamento usado para povoar a base de dados e o horário da recolha.

## 5.2 Testes preliminares

A realização deste teste teve como principal objetivo, analisar a possível variação de resultados, tendo em conta vários fatores e cenários de captura. O primeiro fator, prendia-se com a utilização de diferentes tipos de hardware. Outro fator relevante, é a questão temporal. Obtiveram-se dados em diferentes períodos do dia/noite. Por fim, foram analisados o impacto que o canal wireless introduz nos dados capturados.

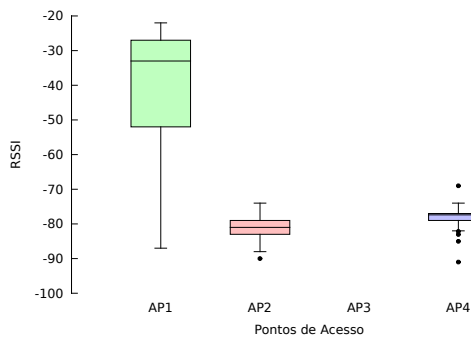
O ponto assinalado no mapa com o número 9 (figura 5.2), corresponde ao posicionamento dos clientes. Foram utilizados 2 clientes no total. O cliente 1 é um portátil que corre uma aplicação java que executa ciclicamente (20 segundos de intervalo) um pedido de uma página a um servidor HTTP. Quanto ao cliente 2, o dispositivo android, gera tráfego de rede de forma semelhante. Recorre a uma flag, presente na

aplicação do cliente, para iniciar uma thread destinada a esse efeito.

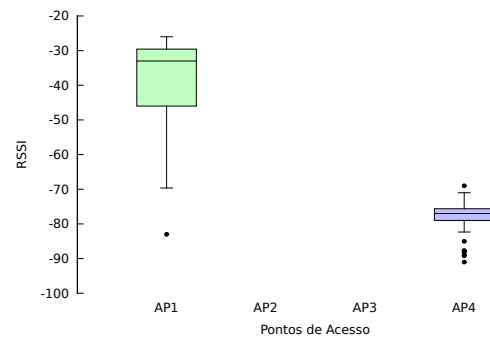
De forma a analisar os dados, foram gerados gráficos estatísticos no formato de caixa de bigodes. É um tipo de representação gráfica, em que se realçam algumas características da amostra, nomeadamente a existência de *outliers* (valores que se distinguem dos restantes, dando a ideia de não pertencerem ao mesmo conjunto de dados). O conjunto dos valores da amostra compreendidos entre o 1º e o 3º Quartil, Q1 e Q3 é representado por um retângulo com a mediana indicada por uma barra intermédia.

### Diferentes Dispositivos

Nesta etapa, foram utilizados 2 clientes diferentes. Ambos, possuem características de hardware distintas. Trata-se de um portátil (Cliente 1) e um smartphone (Cliente 2). No gráficos 5.3 e 5.4, podemos verificar os resultados obtidos por ambos os clientes.



**Figura 5.3:** *Dados do Cliente 1 - Portátil*



**Figura 5.4:** *Dados do Cliente 2 - Android*

Como se comprova pelos gráficos, existem diferenças nos dados recolhidos por cada dispositivo. Ao avaliar os dados por AP, notamos que para o AP1, o valor do RSSI, não contém variações muito significativas entre os dois clientes. O mesmo se sucede com o AP4. O AP3, como se encontra mais longe do local de recolha, não tem alcance suficiente para capturar pacotes dos clientes. O principal aspeto a ter

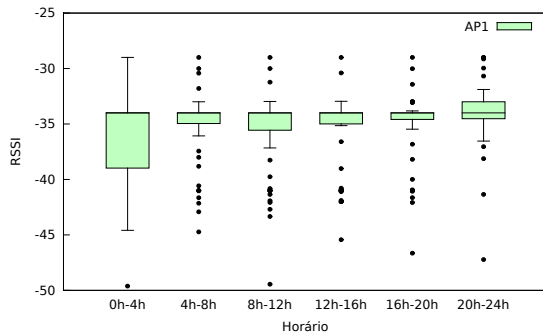
em consideração, trata-se da ausência de dados recolhidos pelo AP2 para o cliente 2. Para o Cliente 1 o mesmo já não acontece.

De acordo com o gráfico, podemos concluir que o tipo de hardware teve influência no processo de recolha, visto que para o AP mais afastado obtivemos dados discrepantes. Uma explicação possível para esta diferença nos resultados, pode se tratar simplesmente do facto da placa de rede do smartphone ter menor alcance. Outra hipótese, está relacionada com questões de poupança de energia, e consequente diminuição do valor de emissão de pacotes.

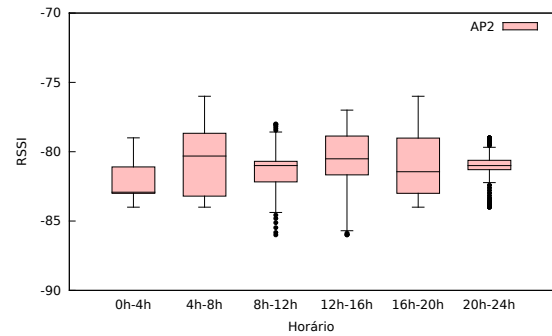
### Diferentes Horários

O aspeto temporal também foi analisado neste teste. Foi colocado durante um dia completo toda a estrutura de captura em funcionamento tendo o cliente 1 como alvo. Para esta experiência foi necessário alterar o programa de recolha dos APs de forma a correrem sem interrupções. Como anteriormente, o cliente gera tráfego a partir das coordenadas assinaladas no mapa com o número 9. Os resultados obtidos por cada AP nas diferentes alturas do dia, estão presentes respectivamente nos gráficos 5.5, 5.6 e 5.7.

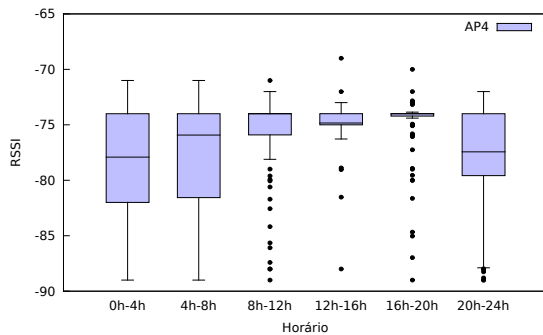
Depois de analisados cuidadosamente os resultados podemos verificar que o padrão de comportamento dos APs não se altera significativamente ao longo do tempo. Observa-se por exemplo, que a mediana se mantém ao longo do tempo e os intervalos se sobrepõem. Apesar de o gráfico denotar oscilações ligeiras, isso deve-se ao zoom do eixo do y estar um pouco elevado, pois caso contrário não seria perceptível qualquer variação.



**Figura 5.5:** *Variação do RSSI ao longo do tempo (AP1)*



**Figura 5.6:** *Variação do RSSI ao longo do tempo (AP2)*



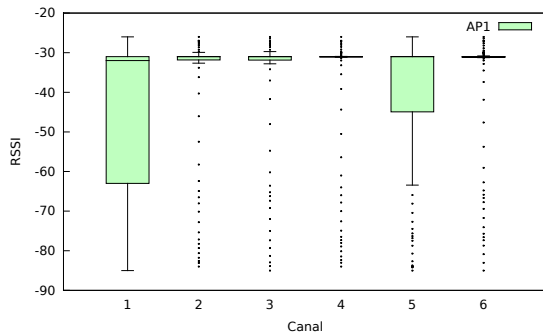
**Figura 5.7:** *Variação do RSSI ao longo do tempo (AP4)*

## Diferentes Canais Wireless

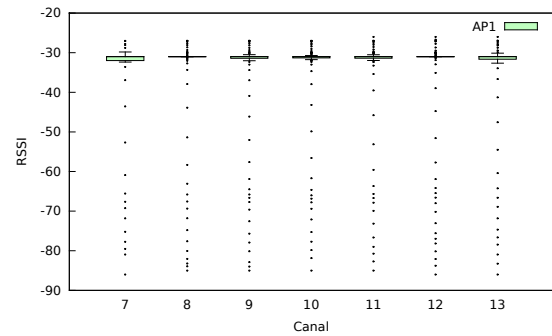
Por fim, foram conferidas as variações para diferentes canais wireless. Dos 13 canais existentes, cada um teve uma hora de tempo de recolha. Este processo de *channel hopping* foi executado paralelamente em todos os APs de forma a manter os dados coerentes para cada canal.

Dos gráficos 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11 estão representados os dados obtidos para esta componente do teste:

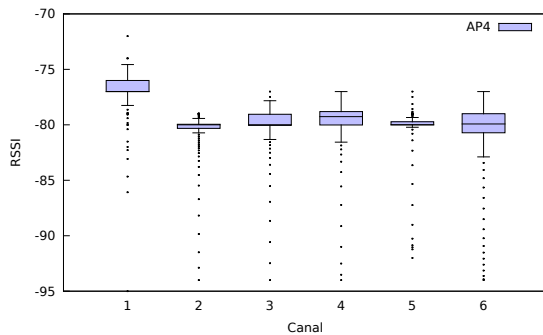
De assinalar que os valores da mediana se encontram próximos para ambos os APs nos diferentes canais. Apesar da pouca variação, no canal 1 verifica-se uma discrepância mais acentuada do que nos restantes canais. Um dos possíveis fatores para este acontecimento, é o facto de o canal 1 estar mais "ocupado" com redes wireless e



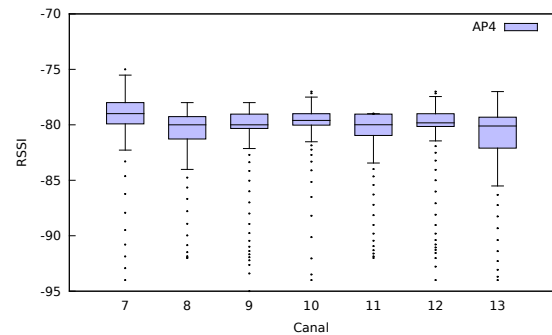
**Figura 5.8:** Variação do RSSI em função do canal Wi-Fi (1-6) - AP1



**Figura 5.9:** Variação do RSSI em função do canal Wi-Fi (7-13) - AP1



**Figura 5.10:** Variação do RSSI em função do canal Wi-Fi (1-6) - AP4



**Figura 5.11:** Variação do RSSI em função do canal Wi-Fi (7-13) - AP4

assim, a probabilidade de erros e colisões ser mais acentuado. Esta informação pode ser útil na escolha do canal a usar no processo de recolha da fase offline. Decidiu-se evitar o canal 1 e escolher um com um bom desempenho, neste caso o canal 6.

### 5.3 Teste ao sistema de localização

Depois de implementados os algoritmos, uma série de medições foi levada a cabo de forma a verificar o comportamento dos mesmos. Nesta secção são apresentados em forma de tabela as estimativas providenciadas pelos 4 algoritmos para um conjunto de pontos de referência.

Uma das funcionalidades que nos auxiliou nestes testes foram as *logfiles* presentes na Aplicação cliente online. As tabelas dos resultados obtidos seguem o formato das

*logfiles*. Para cada teste de posição foi utilizada uma janela temporal de 120 segundos.

### 5.3.1 Algoritmo 1 - Soma das Distâncias

A primeira série de medições foram efetuadas usando o algoritmo 1. Foram selecionados alguns pontos prévios de forma a englobar as várias regiões do cenário de testes. A tabela 5.1 contém os resultados dos testes obtidos e presentes na *logfile* da aplicação do cliente.

ID	Posição Real	Posição Estimada	Tempo
1	1,1	1,1	13/09/12 15:33:03
2	4,4	6,6	13/09/12 15:38:23
3	7,7	6,6	13/09/12 15:43:12
4	9,9	9,9	13/09/12 15:45:50
5	11,11	9,9	13/09/12 15:52:44

**Tabela 5.1:** *Logfile de testes ao Algoritmo Soma das Distâncias*

Como se pode verificar na tabela, os resultados não são muito precisos em algumas posições, mais concretamente na posição (4,4) onde o erro obtido excede o desejado (aproximadamente 4 metros).

Depois de analisada a informação presente na base de dados offline (tabela 5.2), podemos perceber o porquê de alguma discrepância nas estimativas. Existe um fator que torna a comparação online e offline não consistente. Esse fator verifica-se quando na fase offline, um AP se encontra visível mas com um RSSI muito baixo. Por vezes na fase online, e devido a limitações no tempo de captura, os APs com um valor muito baixo de força de sinal não obtêm qualquer medição. Isto reproduz-se em erros na estimativa de localização.

X	Y	RSSI1	RSSI2	RSSI3	RSSI4
1	1	-84.702	-81.1735	-70.9783	-81.3042
2	2	-81.808	-81	-82.0173	-83.7653
3	3	-64.9985	-75.5161	0	-85.3957
4	4	-72.1801	-82.7831	0	-85.4583
5	5	-65.3116	-80.2692	0	-86.04
6	6	-72.5838	-73.911	0	0
7	7	-81.9892	-78.9729	0	0
8	8	-86.9077	-66.4802	0	0
9	9	-59.1083	0	0	-81.5608

**Tabela 5.2:** *Informação da base de dados offline*

No caso concreto da posição real (4,4), verificou-se que na fase online o AP4 não obteve qualquer medição nos 120 segundos de captura. Isto levou ao algoritmo efetuar apenas a comparação entre os 2 primeiros APs, logo estimou a posição (6,6) erradamente.

### 5.3.2 Algoritmo 2 - Nova Soma das Distâncias

O segundo algoritmo surge como uma melhoria ao primeiro, depois das conclusões tiradas aos testes do mesmo. Como já referido, foram 2 as grandes alterações por forma a eliminar potenciais erros de cálculo. Optou-se por descartar todas as comparações com APs de muito fraca força de sinal, e introduziu-se um mecanismo de atribuição de pesos por relevância de força de sinal.

Como podemos comprovar pelos resultados obtidos, o algoritmo 2 tem um comportamento mais eficaz comparativamente com o algoritmo 1. No caso do ponto



ID	Posição Real	Posição Estimada	Tempo
1	9,9	9,9	13/09/12 16:23:03
2	1,1	1,1	13/09/12 16:31:03
3	4,4	3,3	13/09/12 16:38:23
4	7,7	6,6	13/09/12 16:43:12
5	9,9	9,9	13/09/12 16:45:50
6	11,11	9,9	13/09/12 16:52:44

**Tabela 5.3:** *Logfile de testes ao Algoritmo Nova Soma das Distâncias*

de referência real (4,4), o algoritmo diminui o erro para cerca de dois metros. De referir que a posição real (11,11) não tem medições na fase offline, logo o algoritmo providencia um estimativa para o ponto de referência mais próximo. Este foi um dos pontos de partida para a introdução ao algoritmo 3. A falta de estimativas para locais que não pertencem ao conjunto de pontos de referência offline, levou à implementação de uma nova solução.

### 5.3.3 Algoritmo 3 - K Vizinhos

Os testes ao algoritmo 3 seguem o mesmo modelo dos anteriores, ou seja é selecionado um conjunto de pontos previamente definidos e verificamos se o algoritmo providencia a localização correta. Na tabela 5.4 estão ilustrados os resultados.

ID	Posição Real	Posição Estimada	Tempo
1	9,9	9,9	25/09/12 11:23:03
2	1,1	1,1	25/09/12 11:31:03
3	4,4	Entre 3,3 e 4,4	25/09/12 11:38:23
4	7,7	Entre 6,6 e 7,7	25/09/12 11:43:12
5	9,9	9,9	25/09/12 11:45:50
6	11,11	9,9	25/09/12 11:52:44

**Tabela 5.4:** *Logfile de testes ao Algoritmo K vizinhos*

Um dos objetivos principais deste algoritmo foi alcançado. Ele consegue diminuir o erro em relação ao anterior, e ao mesmo tempo informa sobre a potencial localização intermédia de um utilizador. Por exemplo, para o caso da posição real (7,7) o algoritmo apesar de não efetuar a estimativa correta, faz uma conjugação das 2 posições mais próximas e consegue diminuir o erro em relação aos métodos anteriores.

### 5.3.4 Algoritmo 4 - Probabilístico

A ultima série de testes, foi feita ao Algoritmo probabilístico. Os resultados estão presentes na tabela 5.5.

ID	Posição Real	Posição Estimada	Tempo
1	9,9	9,9	9/10/12 18:23:03
2	1,1	7,7	9/10/12 18:31:03
3	4,4	3,3	9/10/12 18:38:23
4	7,7	6,6	9/10/12 18:43:12
5	9,9	9,9	09/10/12 18:45:50
6	11,11	9,9	09/10/12 18:52:44

**Tabela 5.5:** *Logfile de testes ao Algoritmo Probabilístico*

Apesar das estimativas estarem dentro do normal, para o caso da posição (1,1) o erro é muito elevado. Uma explicação para este acontecimento, é o facto de o AP4 por vezes não obter valores na fase offline e portanto a soma de probabilidades do ponto de referência (7,7) ser ligeiramente superior.

Para melhorar os resultados do algoritmo, espera-se que no futuro o alargamento do mapa de assinatura seja realizado. Quanto maior for o número de medições, mais informação vai ser contida no histograma de probabilidades isto leva a uma consequente melhoria dos resultados do algoritmo.

# Capítulo 6

## Conclusões

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Mestrado em Engenharia Informática, proporcionado pelo Departamento de Informática da Universidade do Minho. O seu desenvolvimento foi orientado pelo Professor Doutor António Costa e pela Professora Doutora Maria João Nicolau.

A localização em redes Wi-Fi foi o tema escolhido para a elaboração deste projeto. Trata-se de uma área com muito potencial e atualmente com grande foco de estudo. Por se tratar de um campo de estudos recente foi um desafio muito enriquecedor pois todas as decisões tomadas no decorrer do projeto foram pontos de aprendizagem importantes para o futuro.

O estudo dos artigos relacionados com o tema foram valiosos para todos os intervenientes deste trabalho, pelo que o relatório de pré-dissertação teve um papel importante neste aspeto. Fundamentais foram também as Unidades Curriculares lecionadas no primeiro ano do Mestrado.

Como este projeto surgiu no seguimento de um anterior, existiu alguma dificuldade em assimilar completamente todo o código desenvolvido, daí que foi necessário muito tempo para compreender efetivamente o funcionamento dos vários componen-

tes do sistema.

A decisão de expandir o cenário de localização e conseqüente número de pontos de acesso, foi muito ponderada e levou a muitos ajustes nos vários módulos do sistema. Na componente de recolha online, foram introduzidas melhorias na aplicação dos routers, com a criação de uma script de mudança de canal wireless. Assim, é possível monitorizar ao pormenor todo o tráfego englobado no raio de alcance dos routers. A adaptação do código para o número superior de pontos de acesso, foi também adicionado.

Foram desenvolvidas duas aplicações para dispositivos móveis com o sistema operativo Android. Trata-se da aplicação para o cliente offline e online. Estas tarefas foram uma mais valia para o enriquecimento do conhecimento, no que diz respeito ao desenvolvimento de aplicações para um mercado cada vez mais emergente que é o dos smartphones.

Dos algoritmos apresentados, dois determinísticos e baseados nas distâncias, um baseado nos  $k$  vizinhos mais próximos e um probabilístico, todos apresentam resultados satisfatórios para o meio ambiente em que foram testados.

## 6.1 Trabalho Futuro

Com a necessidade cada vez mais presente de uma localização interior que forneça bons resultados, o tema localização em redes Wi-Fi é atualmente muito investigado e novas propostas surgem rapidamente. É por isso necessário investigar periodicamente essas novas abordagens, de forma a enriquecer o sistema desenvolvido.

A curto prazo, o desenvolvimento de uma aplicação que monitorize os objetos na rede poderia ser uma mais valia como complemento ao sistema desenvolvido.

Numa fase posterior o alargamento do sistema para todo o departamento de informática pode ser alvo de estudo. Igualmente vantajoso no futuro, seria a disponibilidade deste sistema para o público em geral. Para este caso, tem que se pensar num modelo de gestão de acessos que garanta uma boa acessibilidade à informação e segurança dos dados.

No que respeita à aplicação móvel, podemos pensar em formas de efectuar uma sobreposição do mapa do ambiente alvo na aplicação. Esta informação poderia ser enviada pelo servidor durante a conexão inicial. De forma a verificar o nível de satisfação dos clientes podemos incluir um inquérito ou uma secção de *feedback* que é transmitida ao servidor.

O povoamento da base de dados offline com dados deduzidos pela proximidade de valores, é um dos principais aspetos a ter em conta no futuro. Com uma base de dados mais extensa, a maioria dos algoritmos comporta-se com mais eficiência.

O sistema foi pensado para permitir uma rápida mudança de algoritmos. Caso surja uma nova ideia, esta pode ser facilmente implementada no sistema.



# Bibliografia

- [1] P. Bahl and V.N. Padmanabhan. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system. In *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, volume 2, pages 775–784 vol.2, 2000. 3, 13, 15, 16
- [2] James J. Caffery and Gordon L. Stber. Overview of Radiolocation in CDMA Cellular Systems. *IEEE Communications Magazine*, 36:38–45, 1998. 9
- [3] Americas Headquarers Cisco. Wi-fi location-based services 4.1 design guide. 2008. 4
- [4] Louis Cohen, Lawrence Manion, and Keith Morrison. *Research methods in education*. RoutledgeFalmer, London, 5th edition, 2000.
- [5] G. Combs et al. Wireshark-network protocol analyzer. *Version 0.99*, 5, 1998. 33
- [6] B.P. Crow, I. Widjaja, L.G. Kim, and P.T. Sakai. Ieee 802.11 wireless local area networks. *Communications Magazine, IEEE*, 35(9):116–126, sep 1997. 1
- [7] dd wrt, 2012. [http://www.dd-wrt.com/wiki/index.php/Main\\_Page](http://www.dd-wrt.com/wiki/index.php/Main_Page) , consultado a 25/02/2012. 32
- [8] Ekahau. Ekahau, 2010. <http://www.ekahau.com>, consultado a 03/01/2012. 17
- [9] Per K. Enge. The global positioning system: Signals, measurements, and performance. *International Journal of Wireless Information Networks*, 1:83–105, 1994. 10.1007/BF02106512. 1, 9
- [10] Google. Android developers, 2012. <http://developer.android.com/reference/> , consultado a 23/05/2012. 37
- [11] Quang-Dung Ho and Tho Le-Ngoc. An integrated wireless communications platform for smart electronic healthcare applications. In *Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2011 24th Canadian Conference on*, pages 001544–001547, may 2011. 21

- [12] V. Jacobson, C. Leres, and S. McCanne. libpcap, lawrence berkeley laboratory, berkeley, ca. *Initial public release June*, 1994. 33
- [13] Mike Kershaw. Kismet, 2008. <http://www.kismetwireless.net/>, consultado a 23/02/2012. 33
- [14] Thomas King, Stephan Kopf, Thomas Haenselmann, Christian Lubberger, and Wolfgang Effelsberg. COMPASS: A probabilistic indoor positioning system based on 802.11 and digital compasses. In *Proceedings of the 1st international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation characterization*, WiNTECH '06, pages 34–40, New York, NY, USA, 2006. ACM. 16
- [15] Antti Kotanen, Marko Hännikäinen, Helena Leppäkoski, and Timo D. Hämäläinen. Experiments on local positioning with bluetooth. In *Proceedings of the International Conference on Information Technology: Computers and Communications*, ITCC '03, pages 297–, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society. 10
- [16] F. Lassabe, D. Charlet, P. Canalda, P. Chatonnay, and F. Spies. Friis and iterative trilateration based wifi devices tracking. In *Parallel, Distributed, and Network-Based Processing, 2006. PDP 2006. 14th Euromicro International Conference on*, page 4 pp., feb. 2006. 3, 11
- [17] Binghao Li, James Salter, Andrew G. Dempster, and Chris Rizos. Indoor positioning techniques based on wireless lan. In *LAN, FIRST IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS BROADBAND AND ULTRA WIDEBAND COMMUNICATIONS*, pages 13–16. 19, 53
- [18] Chin-Heng Lim, Yahong Wan, Boon-Poh Ng, and C.-M.S. See. A real-time indoor wifi localization system utilizing smart antennas. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 53(2):618 –622, may 2007. 3, 11
- [19] Wei Meng, Wendong Xiao, Wei Ni, and Lihua Xie. Secure and robust Wi-Fi fingerprinting indoor localization. In *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011 International Conference on*, pages 1 –7, sept. 2011. 4, 18, 21, 22, 54
- [20] MySQL, 2012. <http://www.mysql.com/products/standard/>, consultado a 22/04/2012. 42
- [21] L.M. Ni, Yunhao Liu, Yiu Cho Lau, and A.P. Patil. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. In *Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on*, pages 407 – 415, march 2003. 10, 21
- [22] Jianga Shang, Shengsheng Yu, Fuqiang Gu, Zhanya Xu, and Liangfeng Zhu. A mobile guide system framework for museums based on local location-aware



- approach. In *Computer Science and Service System (CSSS), 2011 International Conference on*, pages 1935–1940, june 2011. 20
- [23] Rodrigo Vera, Sergio F. Ochoa, and Roberto G. Aldunate. EDIPS: an easy to deploy indoor positioning system to support loosely coupled mobile work. *Personal Ubiquitous Comput.*, 15:365–376, April 2011. 17
- [24] F. Viani, M. Donelli, M. Salucci, P. Rocca, and A. Massa. Opportunistic exploitation of wireless infrastructures for homeland security. In *Antennas and Propagation (APSURSI), 2011 IEEE International Symposium on*, pages 3062–3065, july 2011. 20
- [25] IEEE 802.11 wireless Local Area Networks, 2011. <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>, consultado a 12/12/2011. 3
- [26] Wiviz, 2012. <http://devices.natetrue.com/wiviz/>, consultado a 13/03/2012. 32
- [27] Moustafa Youssef and Ashok Agrawala. The Horus location determination system. *Wirel. Netw.*, 14:357–374, June 2008. 17