

DANIEL BARBOSA DAVID
DIEGO ISIDORO DE FRANÇA
ERON FERREIRA DE CASTRO JUNIOR

**PROJETO SLIT:
SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO INTERNA EM TEMPO REAL**

São Paulo
2012

DANIEL BARBOSA DAVID
DIEGO ISIDORO DE FRANÇA
ERON FERREIRA DE CASTRO JUNIOR

PROJETO SLIT:
SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO INTERNA EM TEMPO REAL

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Eletrônicos

Orientadores:
Prof. Dr. João Francisco Justo Filho
Prof. Dr. Leopoldo Rideki Yoshioka

São Paulo
2012

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, que sempre esteve presente e me deu todo o apoio e motivação para o meu desenvolvimento pessoal e para a minha formação acadêmica.

Daniel Barbosa David

Dedico este trabalho à minha família pelo suporte e confiança ao longo da minha vida, aos meus amigos e orientadores pelo apoio neste projeto e a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para meu crescimento pessoal e intelectual durante a faculdade.

Diego Isidoro de França

Dedico este trabalho à minha família, por todo o apoio, amor e confiança recebidos ao longo de toda a minha vida, e à Laura, pelo carinho e amor a mim concedidos. Quero também agradecer-lhes por terem me ajudado a chegar até aqui trilhando sempre o caminho do bem e da verdade.

Eron Ferreira de Castro Junior

AGRADECIMENTO

Aos Professores Dr. João Francisco Justo Filho e Dr. Leopoldo Rideki Yoshioka, por sua orientação, apoio e acompanhamento ao longo do desenvolvimento deste projeto.

À Bibliotecária e Professora Ana Maria Badiali, por sua enorme contribuição para que esta documentação pudesse ser elaborada da maneira apropriada, em concordância com as normas vigentes da ABNT.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela grande contribuição ao longo do curso para a nossa formação profissional e intelectual.

"O importante não é aquilo que fazem de nós,
mas o que nós mesmos fazemos do que os
outros fizeram de nós."
(Jean-Paul Sartre)

RESUMO

O crescimento do uso de dispositivos móveis com alta capacidade de processamento tem estimulado o desenvolvimento de aplicativos destinados à localização em ambientes fechados. Porém, projetar um localizador que concilia boa precisão e baixo custo é uma tarefa desafiadora. Uma abordagem interessante e bastante presente na literatura consiste em utilizar a infraestrutura de redes locais sem fio no padrão IEEE 802.11 já existentes no local por intermédio de modelos probabilísticos através de duas etapas. Na primeira, denominada fase *offline*, há o mapeamento prévio da área pela qual será realizada a navegação: são definidas as coordenadas físicas dos pontos de medição em relação a uma origem arbitrária; são coletadas amostras do sinal Wi-Fi ao longo dos mesmos para os pontos de acesso que cobrem o ambiente e, por fim, gera-se um banco de dados com as medições. Na segunda etapa, denominada fase *online*, percorre-se o ambiente com o dispositivo e, utilizando-se um método probabilístico, os sinais obtidos são processados e comparados com aqueles obtidos na fase *offline*, de forma a se obter o posicionamento estático ou dinâmico em tempo real. Este trabalho apresenta um projeto de localização baseado na tecnologia Wi-Fi: o SLIT – Sistema de Localização *Indoor* em Tempo Real. Este sistema explora o fato de os sinais de potência Wi-Fi variarem tanto com o tempo quanto com a localização e utiliza um mapeamento prévio do ambiente na forma de grades para explorar a técnica do filtro de partículas. As simulações e os experimentos realizados demonstram que o sistema possui dois pontos fortes: apresenta robustez com relação à queda de pontos de acesso, o que é bastante desejável, tendo em vista que se utiliza uma infraestrutura sobre a qual não se tem controle; apresenta robustez e precisão apreciável quando a localização é feita com o usuário parado sobre um único ponto e também quando está se movimentando ao longo do espaço.

Palavras-Chave: SLIT, Localização, Ambientes fechados, RTLS, Wi-Fi, Algoritmo de Localização, Filtro de Partículas.

ABSTRACT

The growing use of mobile devices with high processing capability has stimulated the development of applications for *indoor* localization. However, designing a *locator* that combines good accuracy with low cost is a challenging task. An interesting approach present in the recent literature is to use the existing infrastructure of *wireless* LANs of IEEE 802.11 at the place through probabilistic models through two stages. In the first stage, called the *offline* phase, a preliminary mapping of the area in which the navigation will be held is performed: the physical coordinates of the measurement points are defined over an arbitrary origin; samples of the Wi-Fi signal are collected from all access points covering the environment and, finally, a database of the measurements is generated. In the second stage, called the *online* phase, the device travels up the environment once again, and using a probabilistic method, the signals obtained are processed and compared with those obtained in the *offline* phase in order to obtain the static or dynamic positioning in real time. This work presents a localization project based on the Wi-Fi technology: the SLIT - *Indoor* Location System in Real Time. This system explores the fact that the signal power Wi-Fi varies with time as well as with location and uses a previous mapping of the environment in the form of grids to explore the particle filtering theory. The simulations and experiments show that the system has two strengths: it presents robustness with respect to the falling of access points, which is highly desirable in order to use an infrastructure over which one has no control; it presents robustness and it is considerable accurate when the localization is calculated with the user standing stationary over a single point or with the user moving across the space.

Keywords: SLIT, Localization, *Indoor* environments, RTLS, Wi-Fi, Localization Algorithm, Particle Filtering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Países com os maiores números (em milhões) de dispositivos com sistemas operacionais iOS e Android. (Fonte: Flury Analytics, 2012).	16
Figura 1.2 - Mercados consumidores de dispositivos com eletrônicos portáteis que estão crescendo mais rapidamente. (Fonte: Flury Analytics, 2012).	17
Figura 1.3 - Parcela de usuários dispostos a compartilhar sua localização em troca de conteúdos relevantes. (Fonte: JiWire, 2011).	18
Figura 1.4 - Informações mais importantes para consumidores baseadas em localização. (Fonte: JiWire, 2011).	20
Figura 2.1 - Exemplo de medições de parâmetros de sinais provenientes de três diferentes fontes. (Fonte: Malik, 2009).	27
Figura 2.2 - Estimativa da posição do receptor a partir do tempo de chegada.	28
Figura 2.3 - Estimativa da posição do receptor a partir do ângulo de chegada.	28
Figura 2.4 - Estimativa da posição do receptor a partir do tempo de diferença de chegada.	29
Figura 2.5 - Medições de RSSI através de uma tag Wi-Fi. (Fonte: Malik, 2009).	30
Figura 2.6 - Representação de um acelerômetro. (Fonte: Sandia National Laboratories).	32
Figura 2.7 - Representação de um giroscópio mecânico.	34
Figura 4.1 - Diagrama rápido do sistema.	41
Figura 4.2 - Aplicação que interagirá com o usuário.	43
Figura 5.1 - Samsung Galaxy ACE S7500 PLUS.	45
Figura 5.2 - Nexus S.	45
Figura 5.3 - Tela principal do programa de treinamento SLIT <i>Scanner</i> .	48
Figura 5.4 - Programa SLIT <i>Scanner</i> – definindo-se o número de amostras.	49
Figura 5.5 - Programa SLIT <i>Scanner</i> – definindo-se o período de amostragem.	49
Figura 5.6 - Programa SLIT <i>Scanner</i> – procurando-se por pontos de acesso.	50
Figura 5.7 - Programa SLIT <i>Scanner</i> – opção <i>Last Scan Results</i> .	51
Figura 5.8 - Programa SLIT <i>Scanner</i> – opção <i>Erase</i> .	52
Figura 5.9 - Programa SLIT <i>Scanner</i> – opção <i>Import from SD Card</i> .	53
Figura 5.10- Programa SLIT <i>Scanner</i> – <i>Export to SD Card</i> .	54
Figura 6.1 - Pontos de coleta dos sinais de intensidade de potência de sinal na sala C1-10.	57

Figura 6.2 - Mapa de RSSI do ponto de acesso 8 na sala C1-10.	59
Figura 6.3 - Mapa de RSSI do ponto de acesso 6 na sala C1-10.	59
Figura 6.4 - Mapa de RSSI do ponto de acesso 7 na sala C1-10.	60
Figura 6.5 - Histograma de Potência na posição (0, 0) para o ponto de acesso 8.	61
Figura 6.6 - Histograma de Potência na posição (0, 0) para o ponto de acesso 6.	61
Figura 6.7 - Histograma de Potência na posição (0, 0) para o ponto de acesso 7.	62
Figura 6.8 - Pontos de coleta de dados no segundo experimento.	66
Figura 6.9 - Pontos de coleta de dados no terceiro experimento.	71
Figura 6.10 - Mapa com o sistema de coordenadas adotado.	72
Figura 6.11: Fluxograma do algoritmo do filtro de partículas.	76
Figura 6.12 - Distribuição das partículas ao início da execução e após uma iteração.	78
Figura 6.13 - Distribuição das partículas após 10 e 15 iterações.	79
Figura 6.14 - Distribuição das partículas após 20 e 25 iterações.	80
Figura 6.15 - Evolução do erro de estimação com Ruído = 1 e duas amostras por ponto.	81
Figura 6.16 - Evolução do erro de estimação com ruído = 1 e oito amostras por ponto.	82
Figura 6.17 - Evolução do erro de estimação com ruído = 3 e oito amostras por ponto.	83
Figura 6.18 - Distribuição das partículas ao início da execução e após uma iteração.	84
Figura 6.19 - Distribuição das partículas após 10 e 15 iterações.	85
Figura 6.20 - Distribuição das partículas após 20 e 25 iterações.	86
Figura 7.1 - Programa SLIT <i>Locator</i> - interface do aplicativo.	88
Figura 7.2 - Programa SLIT <i>Locator</i> - mapa com zoom.	89
Figura 7.3 - Programa SLIT <i>Locator</i> - Menu de escolha dos pontos de interesse.	90
Figura 7.4 - Programa SLIT <i>Locator</i> - Exibição do ponto de interesse no mapa.	91
Figura 7.5 - Programa SLIT <i>Locator</i> - Menu de ajuste de parâmetros.	92
Figura 8.1 - Interferências físicas no sinal captado.	97
Figura 8.2 - Interferências físicas no sinal captado.	97
Figura 8.3 - Porcentagem de consumidores que agiram em resposta a uma mensagem baseada em localização. (Fonte: JWire, Q4 2011).	99

Figura 8.4 - Comportamento de usuários que tomaram alguma ação em resposta a uma mensagem baseada em localização. (Fonte: <i>JiWire</i> , Q4 2011).	99
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Especificações do <i>smartphone</i> Samsung Galaxy ACE S7500 PLUS. ..	45
Tabela 5.2 - Especificações do <i>smartphone</i> Nexus S.	45
Tabela 5.3 - Ranking dos 6 sistemas operacionais embarcados, vendas e <i>market share</i> no terceiro quarto de 2012 (milhões de unidades). (Fonte: IDC).....	47
Tabela 5.4 - Exemplo de banco de dados do treinamento visualizado no SQLite Data Browser.	54
Tabela 5.5 - Sinais obtidos em dBm para os pontos de acesso <i>i</i> e <i>j</i>	55
Tabela 6.1 - Pontos de acesso mais fortes ao longo de cada posição na sala C1-10.	58
Tabela 6.2 - Exemplo de cálculo da distância de Bhattacharyya.	65
Tabela 6.3 - Pontos de acesso mais fortes em algumas posições do bloco B.....	68
Tabela 8.1 - Matriz de Probabilidades.....	102
Tabela 8.2 –Análise de riscos a partir das ameaças ao sistema.....	102

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- API** - *Application Programming interface*
- GLONASS** - *Global Navigation Satellite System*
- GPS** - *Global Positioning System*
- IEEE** - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*
- ISM** - *Industrial, Scientific and Medical radio bands*
- NLOS** - *Non Line Of Sight*
- NFC** - *Near Field Communication*
- PAN** - *Personal Area Network*
- RFID** - *Radio-Frequency Identification*
- RSSI** - *Received Signal Strength Indicator*
- RTLS** - *Real Time Location System*
- Wi-Fi** - *Wireless Fidelity*
- WLAN** - *Wireless Local Area Network*
- WiMAX** - *Worldwide Interoperability for Microwave Access*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	20
2	CONCEITOS E TECNOLOGIA	23
2.1	Sistema de Localização em Tempo Real (RTLS).....	23
2.2	Tecnologias para Sistemas de Localização	24
2.2.1	<i>Bluetooth</i>	24
2.2.2	RFID	25
2.2.3	Wi-Fi.....	26
2.3	Parâmetros de medição para sinais de radiofrequência.....	26
2.3.1	Tempo de chegada	27
2.3.2	Ângulo de chegada	28
2.3.3	Diferença de tempo de chegada	29
2.3.4	Indicador de Força do Sinal Recebido	29
2.3.5	Modelos de propagação - um método inicial.....	30
2.3.6	Sensores	31
3	TECNOLOGIA ESCOLHIDA: WI-FI.....	37
4	IMPLEMENTAÇÃO	41
4.1	Diagrama rápido	41
4.2	RTLS a partir do sinal Wi-Fi.....	42
4.3	<i>Hardware</i>	43
4.4	Aplicação.....	43
5	ETAPA DE DESENVOLVIMENTO	45
5.1	Aparelhos utilizados	45
5.2	Android	46
5.3	<i>Software</i> de coleta de dados	47
5.3.1	Interface e configuração coleta de dados.....	48
5.3.2	Procedimento para coleta de dados.....	50
5.3.3	Resultados	50
5.3.4	Manipulando o banco de dados a partir do programa.....	51
6	ETAPA EXPERIMENTAL	56
6.1	Primeiro Experimento	56
6.1.1	Algoritmo de testes.....	58

6.1.2	Conclusões do Experimento Inicial	64
6.2	Segundo Experimento	65
6.2.1	Algoritmo de Testes	67
6.2.2	Análise dos Resultados	69
6.2.3	Conclusões do Experimento	69
6.3	Terceiro Experimento	70
6.3.1	Algoritmo de Testes	73
6.3.2	Filtro de Partículas	74
6.3.3	Parâmetros Ajustáveis	76
6.3.4	Análise dos Resultados	77
6.3.5	Conclusões do Experimento	87
7	APLICATIVO FINAL DE LOCALIZAÇÃO	88
7.1	Interface gráfica	88
7.2	Menu de opções	91
7.2.1	Opção <i>Set noise</i>	92
7.2.2	Opção <i>Import DB</i>	92
7.2.3	<i>Estimation Weight</i>	92
7.2.4	<i>Stabilization</i>	93
7.2.5	<i>Particles</i>	93
8	GERENCIAMENTO DE PROJETO	94
8.1	Análise SWOT	94
8.1.1	Pontos fortes	94
8.1.2	Fraquezas	96
8.1.3	Oportunidades	98
8.1.4	Ameaças	100
8.2	Análise de Riscos	101
8.2.1	Probabilidade	101
8.2.2	Impacto	101
8.2.3	Matriz de probabilidades	101
8.2.4	Medidas a serem adotadas	103
8.3	Retornos	103
9	CONCLUSÃO	105
9.1	Características finais do Sistema	105
9.2	Resultados alcançados	105

9.3	Trabalhos futuros.....	106
9.4	Considerações finais	106

1 INTRODUÇÃO

Na última década, dispositivos eletrônicos portáteis, como *tablets* e *smartphones*, tornaram-se cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas em todo o mundo. Segundo a empresa Flury Analytics, a taxa de crescimento de dispositivos iOS e Android ultrapassou a de qualquer outro produto tecnológico na história: a adoção desses produtos está dez vezes mais rápida do que aquela ocorrida com os computadores de uso pessoal da década de 80, duas vezes mais rápida que a taxa de crescimento da Internet na década de 90 e três vezes mais rápida que o crescimento das redes sociais recentes.

De acordo com as estimativas da Flury, havia mais de 640 milhões de usuários de dispositivos com iOS e Android durante o mês de Julho de 2012. As figuras 1.1 e 1.2 mostram, respectivamente, os países com o maior número de usuários de dispositivos com sistemas Android e iOS e aqueles em que o consumo destes aparelhos apresenta os maiores crescimentos percentuais.

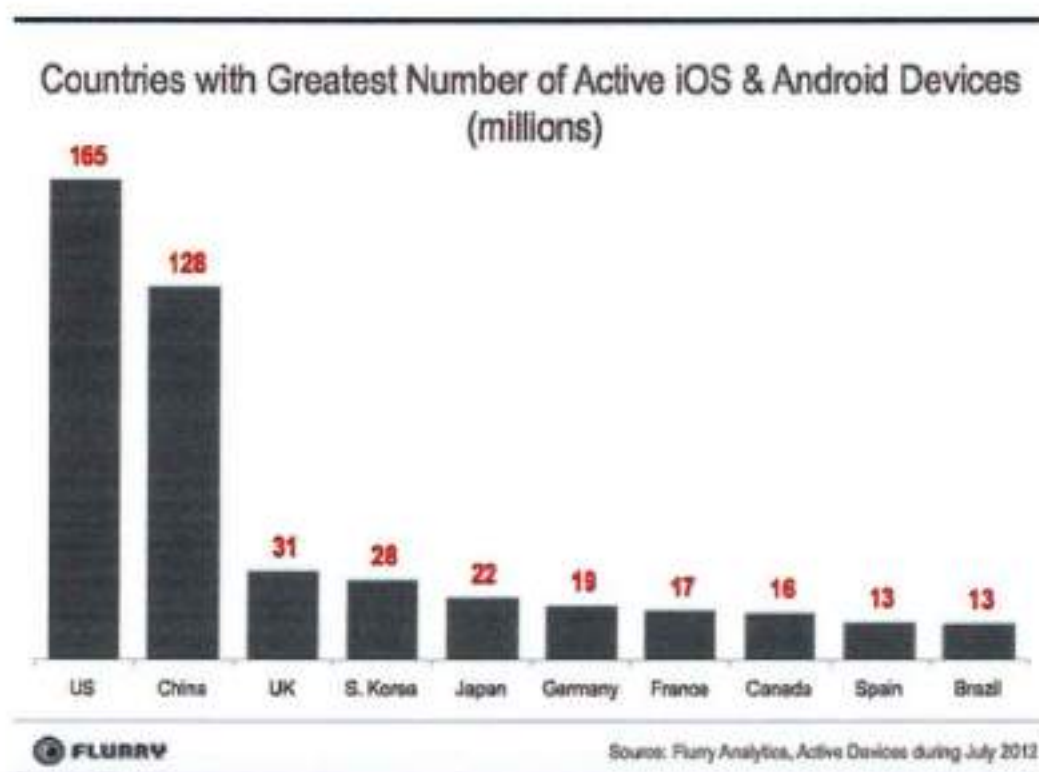


Figura 1.1 - Países com os maiores números (em milhões) de dispositivos com sistemas operacionais iOS e Android. (Fonte: Flury Analytics, 2012).

Fastest Growing iOS & Android Markets by Active Devices

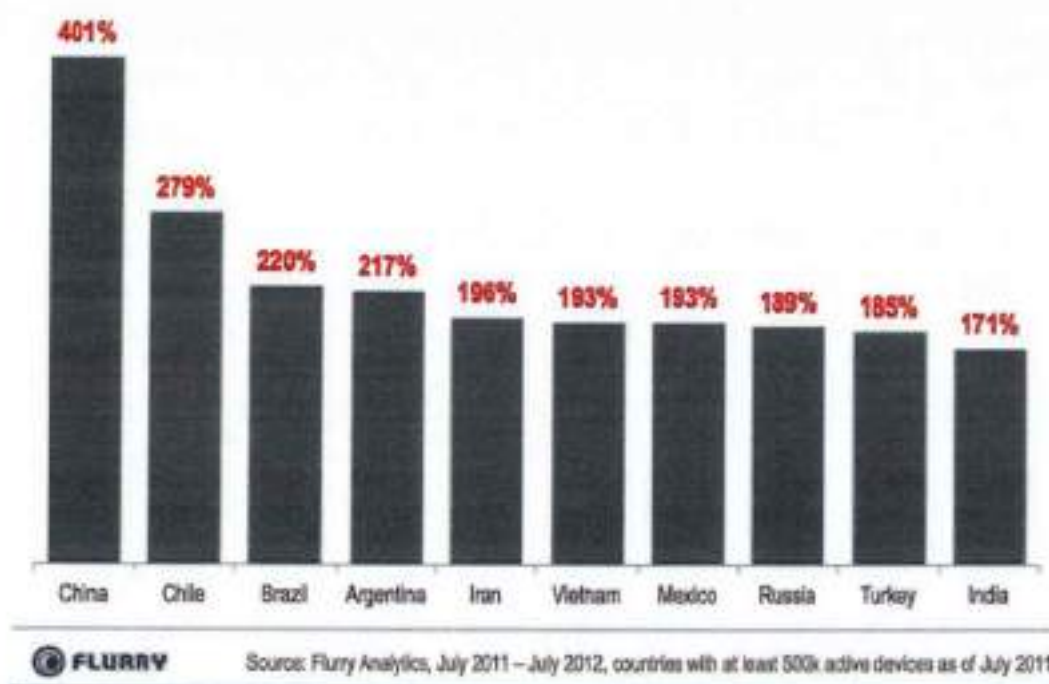


Figura 1.2 - Mercados consumidores de dispositivos com eletrônicos portáteis que estão crescendo mais rapidamente. (Fonte: Flury Analytics, 2012).

Dispositivos eletrônicos móveis, além de alta capacidade de processamento, possuem uma grande variedade de sensores, que permitem o desenvolvimento de diversos aplicativos, entre os quais estão os sensíveis ao contexto. Estes podem fornecer ao usuário serviços e informações úteis com base na situação em que ele e o seu dispositivo se encontram.

A localização do usuário é uma informação acessível e economicamente atraente e pode ser obtida através de um aparelho utilizando-se uma combinação adequada de sinais provenientes de seus componentes eletrônicos internos, seja através de sensores embarcados ou da antena Wi-Fi. Além disso, é um elemento capaz de acrescentar um maior conforto às pessoas, uma vez que proporciona um maior dinamismo aos serviços e permite que elas possam interagir de outras formas tanto entre si como com o ambiente em que estão localizadas de forma rápida e eficaz, com tomadas de decisão a partir do posicionamento.

Uma aplicação de localização para interiores permitiria que o usuário, mesmo desconhecendo o ambiente em que estivesse, obtivesse informações completas sobre o local. Ele teria acesso a um mapa do local, visualizaria a sua localização e usaria estes dados para tomar as suas próximas decisões. O sistema seria interessante e útil, por exemplo, para guiar clientes em grandes lojas ou centros comerciais, ou ainda auxiliar turistas em edificações, como museus e praças esportivas. Seria ainda de grande utilidade para turistas estrangeiros, principalmente com a aproximação da Copa do Mundo de futebol e Jogos Olímpicos, pois forneceria informações úteis em diversas línguas, facilitando a orientação desses indivíduos em vários ambientes.

Are you willing to share your location on your mobile device for more relevant content?



Source: JIWire, Q2 2011

Figura 1.3 - Parcela de usuários dispostos a compartilhar sua localização em troca de conteúdos relevantes. (Fonte: JIWire, 2011).

Por outro lado, ambientes abertos (*outdoor*) já possuem sistemas consolidados para o mapeamento de posição, principalmente através de satélites, como o GPS (*Global Positioning System*) (LOGSDON, 1995) ou o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*). O GPS constitui um sistema de geolocalização que cobre o globo terrestre e oferece um erro de até 10 metros em área abertas. Tal erro pode ser minimizado utilizando-se uma

estação de referência, em um sistema denominado DGPS (*Differential Global Positioning System*) (WÜBENNA *et al.*, 1996).

Tanto o GPS quanto o DGPS são amplamente dependentes do contínuo recebimento de sinais de satélites. Por isso, são inadequados para a obtenção do posicionamento em um ambiente fechado. Nesses ambientes, os sinais de sistemas de navegação via satélite não são obtidos com eficiência, principalmente devido ao fato de as construções possuírem grande quantidade de aço e de alumínio em suas estruturas, fazendo com que os sinais recebidos sejam ou muito fracos ou não estejam disponíveis.

Há, portanto, uma demanda por um sistema de localização para ambientes internos que seja simultaneamente preciso, barato e confiável. Na ausência de sinais via satélite, as tecnologias de localização disponíveis para ambientes fechados (*indoor*) são ainda limitadas e se encontram em desenvolvimento. Um importante esforço na área é a *In-Location Alliance*, anunciada em 23 de Agosto de 2012 (NOKIA, 2012). Este grupo, formado por 22 empresas, tem como foco promover o desenvolvimento e os serviços de localização *indoor*. Entre os membros da aliança estão grandes empresas de tecnologia móvel, como Qualcomm, Samsung, Nokia e Sony Mobile.

A consolidação de um aplicativo de localização possibilitaria o desenvolvimento de outras aplicações que, a partir das informações referentes ao posicionamento, proporcionariam a criação de novas políticas direcionadas a cada usuário e a cada ambiente. Um hospital, por exemplo, poderia coordenar a sua política de atendimentos clínicos de forma individualizada, gerenciando os seus profissionais por intermédio de um sistema que determinasse a localização dentro do hospital do profissional da especialidade médica adequada a cada necessidade.

Um sistema como este permitiria ainda que os *shoppings centers* direcionassem promoções de produtos específicos, baseando-se no histórico de lojas já visitadas e das compras efetuadas pelos seus consumidores, assim como na posição atual dos clientes dentro das dependências do mesmo. Os supermercados poderiam guiar seus clientes através da loja, informando-lhes

acerca de ofertas, a disponibilidade e a localização de determinados produtos e informações adicionais dos mesmos. A figura 1.4 mostra as informações, baseadas em localização, que foram identificadas como as mais relevantes aos consumidores.



Figura 1.4 - Informações mais importantes para consumidores baseadas em localização. (Fonte: JMWire, 2011).

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo principal o desenvolvimento de um sistema de localização pessoal, com funcionamento em tempo real, voltado para ambientes fechados. O sistema deverá obter a localização do usuário por meio dos sinais Wi-Fi da infraestrutura de redes sem fio 802.11 já disponíveis no ambiente, sem a necessidade de adição de novos pontos de acesso. Pretende-se desenvolver o projeto na forma de um aplicativo para dispositivos móveis, tais como *smartphones* e *tablets*, de forma que o usuário possa obter a sua localização usando apenas os sensores presentes no seu dispositivo. Com isso pretende-se criar um sistema de fácil implantação, baixo custo e interface simples e prática.

Quanto aos objetivos para o desempenho do sistema, podem ser mencionados:

1. O sistema deve fornecer a posição do usuário em tempo real, atualizando constantemente a localização apresentada a cada 2 segundos, pelo menos.
2. Precisão mínima de 10 metros, tanto com o usuário parado como em movimento.
3. O sistema deve ser confiável e robusto, de forma que as condições ambientais em um dado momento acarretem pouca ou nenhuma influência prejudicial à qualidade das estimativas de localização realizadas.
4. O sistema deve apresentar robustez contra quedas e desligamentos ocasionais de pontos de acesso Wi-Fi, permitindo que a localização do usuário possa ser determinada com precisão aceitável mesmo nesses casos.

Entre os objetivos da etapa de implementação do projeto estão:

- 1) **Processar os sinais recebidos com uma abordagem adequada:** os sinais de potência recebidos possuem uma propagação do tipo NLOS – *Non Line Of Sight*, na qual não há um caminho direto entre transmissor e receptor, o que impede o uso de um modelo de propagação para que a localização seja estimada. Além disso, a passagem de pessoas, abertura e fechamento de portas e janelas e a introdução de novos elementos ao ambiente não devem provocar alterações perceptíveis no seu funcionamento. Assim, o sucesso do projeto está diretamente ligado à busca de um método adequado para a abordagem do problema.
- 2) **Criar imunidade a quedas de pontos de acesso:** a presença de alguns pontos de acesso, devido a fatores como raio de alcance, desligamento e quedas ocasionais, pode não ser detectada em todos os momentos em que o aplicativo estiver

sendo usado. Assim, o sistema deve ser robusto o suficiente para que, mesmo na eventualidade de desligamento ou reposicionamento de algum ponto de acesso Wi-Fi, ainda se possa determinar a localização do usuário com precisão aceitável.

- 3) **Eficiência computacional:** por se tratar de um *software* sendo executado em um dispositivo móvel, deve ser dada atenção especial ao esforço computacional demandado, que deve ser o menor possível, visando um baixo consumo de bateria e uma boa adequação à capacidade de processamento limitada do aparelho.
- 4) **Análises experimentais:** como se está lidando com uma infraestrutura sobre a qual não se tem controle, o projeto prevê a realização de coleta de dados nos ambientes em que o sistema será utilizado. Verificada a consistência de cada uma destas séries empíricas a partir de diversas medições, serão realizadas diversas simulações para a obtenção de um método destinado ao cálculo de posicionamento a partir dos dados referentes à potência dos sinais obtidos, como histogramas com abordagem bayesiana e filtro de partículas.
- 5) **Coleta intensiva de dados em uma área com um grande número de pontos de acesso:** devido à precisão pretendida, de até 10 metros, o número total de pontos mapeados deve ser grande o suficiente para que a localização obtida seja precisa. Ainda, é necessário que haja um número de pontos de acesso que possam cobrir todas as posições do ambiente em que o sistema será utilizado, de forma que em cada local sejam observados pelo menos cinco sinais diferentes, garantindo robustez ao sistema e precisão à estimativa de localização.

2 CONCEITOS E TECNOLOGIA

2.1 Sistema de Localização em Tempo Real (RTLS)

Um sistema de localização *indoor* é um sistema do tipo RTLS - *Real Time Location System* (MALIK, 2009), que permite rastrear e identificar a localização de objetos e pessoas em tempo real. Para uma melhor compreensão do seu funcionamento e das tecnologias que podem ser usadas para construí-lo, o sistema pode ser dividido em:

- **Etiquetas (*tags*):** são pequenos dispositivos eletrônicos móveis e sem fio, em alguns casos capazes de algum processamento, e dotados de alguma forma de transmissão e recepção de sinais. Podem ser carregados pelas pessoas ou afixados aos objetos que se deseja localizar. São as unidades rastreáveis do sistema que se comunicam com os sensores de localização por meio de sinais eletromagnéticos.
- **Sensores de localização:** são unidades fixas, cujas posições são conhecidas pelo algoritmo responsável pelo cálculo de localização. Eles têm a função de identificar as *tags*, ou de serem identificados pelas mesmas, por meio de algum parâmetro físico, que depende da tecnologia. Como exemplos podem ser citados: o uso de sinais de radiofrequência transmitidos entre o sensor de localização e a *tag* nos sistemas RFID – *Radio-Frequency Identification*, assim como o uso de sinais na faixa de 2,4GHz por roteadores do protocolo 802.11.
- **Algoritmo de localização (*location engine*):** corresponde ao *software* responsável por realizar a aquisição de sinais relevantes para que o posicionamento das *tags* possa ser estimado. A posição obtida é então comunicada ao *middleware* e à aplicação.
- **Middleware:** é o termo utilizado para descrever o *software* encarregado da troca de informações entre os componentes da

tecnologia RTLS utilizada (tags, sensores e o algoritmo de localização) e a aplicação a qual o sistema se destina. Seu objetivo principal é tornar a aplicação independente da tecnologia utilizada.

- **Aplicação:** é o programa que fornece a interface com o usuário. Sua função é solucionar o problema específico para o qual o sistema foi projetado, realizando tarefas para o usuário ou ainda para outro programa. Pode servir, por exemplo, para disparar um alerta caso uma pessoa entre em uma área não autorizada, ou armazenar um histórico de posições, ou ainda obter detalhes sobre objetos presentes em uma determinada área do espaço monitorado.

2.2 Tecnologias para Sistemas de Localização

Dado um sistema RTLS, há várias tecnologias que podem fornecer dados que, uma vez processados, permitem obter as informações relacionadas ao posicionamento. A literatura apresenta diversas possibilidades usando o sistema *Bluetooth* (ALTINI, BRUNELLI, FARELLA, BENINI, 2010), sistemas com RFID (NI *et al.*, 2004), sensores embarcados (SHANKLIN, 2011) e também do Wi-Fi (KRUMM, HORVITZ, 2004).

2.2.1 *Bluetooth*

O *Bluetooth* é um padrão tecnológico de comunicação sem fio, de baixo consumo energético, voltado à troca de dados entre dispositivos a curtas distâncias. Trata-se de um padrão aberto que, diferentemente de outros protocolos sem fio, não é definido pelo IEEE. Para a transmissão, utiliza sinais de radiofrequência de curto alcance, na faixa ISM – *Industrial, Scientific and Medical*, a qual foi reservada a princípio para fins industriais, científicos e

médicos, mas onde se observam atualmente diversas aplicações voltadas para comunicação de curto alcance e baixa potência.

O *Bluetooth* atende a diversos tipos de aparelhos eletrônicos, criando redes pessoais, tecnicamente denominadas PANs – *Personal Area Network*, com alto nível de segurança. Apesar de amplamente utilizado, não possui um padrão uniformizado e, por se tratar de uma tecnologia aberta, tem a sua funcionalidade constantemente modificada. Além disso, não possibilita o uso de um método simples para o cálculo de potência do sinal recebido.

2.2.2 RFID

O RFID é um meio de identificação sem fio, que utiliza sinais eletromagnéticos de radiofrequência para transmitir dados entre um dispositivo fixo e pequenas unidades móveis denominadas etiquetas (ou *tags*) RFID, com o objetivo de identificar ou rastrear as mesmas. Devido às suas reduzidas dimensões, as etiquetas RFID podem ser afixadas a objetos, equipamentos, mercadorias, automóveis ou mesmo carregadas por pessoas. Dispõem de uma antena que permite a comunicação com uma base transmissora. São classificadas em três tipos:

- **Passivas:** não possuem bateria própria, valendo-se unicamente da energia proveniente do sinal enviado pela base transmissora. Por essa razão, apenas respondem ao sinal recebido.
- **Semi-passivas:** possuem uma pequena bateria própria, voltada à alimentação de eventuais sensores conectados à *tag* e para que o alcance de transmissão possa ser ampliado.
- **Ativas:** são *tags* dotadas de uma bateria de maior capacidade que as semi-passivas, independentes dos sinais da base transmissora e que podem tanto transmitir quanto receber sinais a

altas frequências. Devido à maior complexidade de sua construção, possuem maior valor agregado.

2.2.3 Wi-Fi

O Wi-Fi é um padrão definido pelo IEEE sob os protocolos 802.11x. É o padrão mais usado para a conectividade sem fio para redes locais, sendo usado por redes baseadas em tecnologia IP- *Internet Protocol* para equipamentos, como celulares e computadores portáteis. Como prova desse sucesso, pode-se citar o crescente número de *hot spots* no mundo e o fato de a maioria dos computadores portáteis novos já estarem equipados com interfaces IEEE 802.11.

Os *hot spots*, presentes nos centros urbanos e principalmente em locais públicos, tais como universidades, aeroportos, hotéis, restaurantes, dentre outros, estão mudando o perfil de uso da Internet e, inclusive, dos usuários de computadores.

2.3 Parâmetros de medição para sinais de radiofrequência

A figura 2.1 mostra um sistema RTLS composto por elementos que se comunicam utilizando sinais de radiofrequência. Para que o desempenho do mesmo seja satisfatório, é fundamental a utilização dos parâmetros de medição adequados, os quais são definidos detalhadamente a seguir.

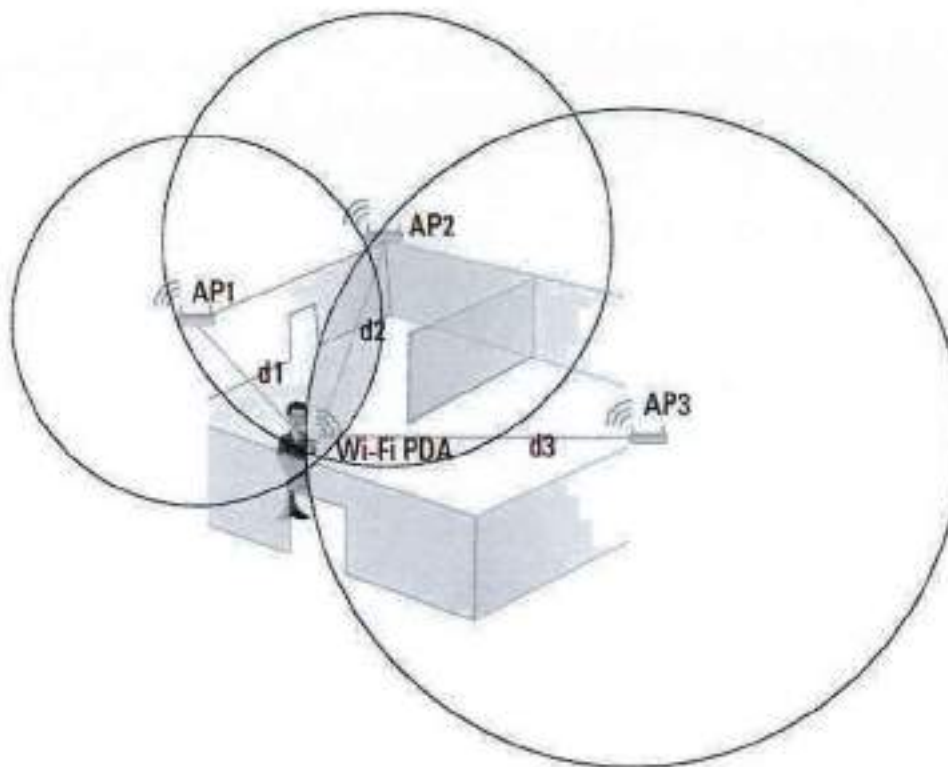


Figura 2.1 - Exemplo de medições de parâmetros de sinais provenientes de três diferentes fontes. (Fonte: Malik, 2009)

2.3.1 Tempo de chegada

Tempo de chegada ou TOA - *Time of Arrival*, corresponde ao tempo necessário para que um sinal de rádio viaje de um único transmissor até um único receptor remoto. Para sinais de alta frequência, é possível calcular a distância entre o transmissor e o receptor através da velocidade da luz no vácuo e do tempo de chegada através da equação:

$$d_{\text{transmissor-receptor}} = \frac{c}{\text{ToA}}, \quad (2.1)$$

sendo:

- d** a distância entre o transmissor e o receptor,
- c** a velocidade da luz no vácuo e corresponde a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- ToA** o tempo de chegada.

Assim, em um ambiente fechado com três fontes emissoras de sinal eletromagnético, cujas posições são conhecidas, pode ser utilizada a técnica de trilateração para se obter o posicionamento de um receptor.

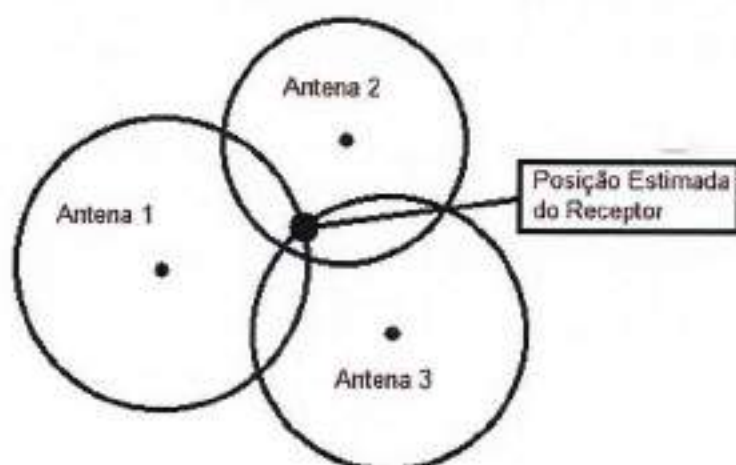


Figura 2.2 - Estimativa da posição do receptor a partir do tempo de chegada.

2.3.2 Ângulo de chegada

Ângulo de chegada ou AoA (do inglês, *Angle of Arrival*) é um método de medida para se determinar a direção de propagação de uma onda de radiofrequência incidente em um arranjo de antenas. Este parâmetro determina a direção a partir da medida da diferença do tempo de chegada (TDOA) aos elementos individuais dos arranjos. A partir da medida destes atrasos, o ângulo de chegada (AoA) pode ser calculado.

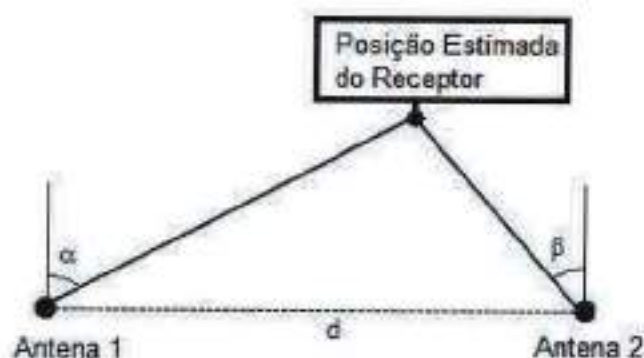


Figura 2.3 - Estimativa da posição do receptor a partir do ângulo de chegada.

2.3.3 Diferença de tempo de chegada

Diferença de tempo de chegada (TDOA – *Time Difference of Arrival*) - em vez de se calcular a medida exata do tempo de chegada (TOA), o que requer alta resolução e frequências de clock sincronizadas tanto nos dispositivos eletrônicos quanto nos sensores de localização, o parâmetro TDOA mede a diferença entre os tempos de recepção de sinais transmitidos de cada um dos transmissores e recebidos por um dispositivo, encarregado de efetuar a medição. Geralmente, esta medida é feita a partir da diferença de fase recebida através de cada elemento no arranjo de antenas. Assim, pode ser calculada a distância entre o receptor e o transmissor.

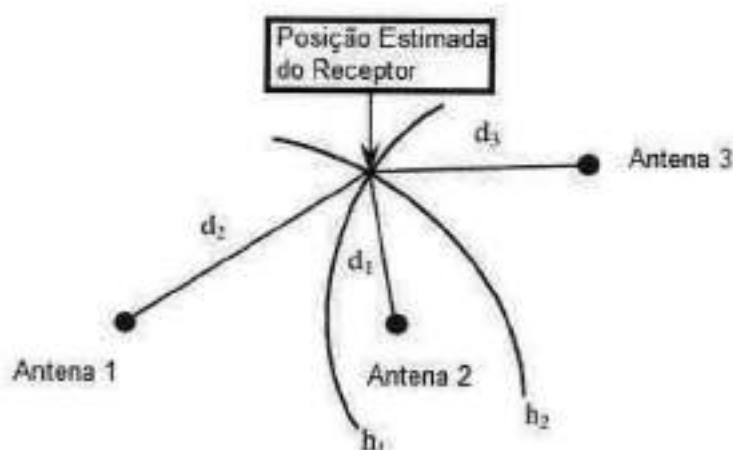


Figura 2.4 - Estimativa da posição do receptor a partir do tempo de diferença de chegada.

2.3.4 Indicador de Força do Sinal Recebido

Indicador de Força do Sinal Recebido ou RSSI (do inglês, *Received Signal Strength Indication*) é o parâmetro que contém a medida da potência presente em um sinal recebido. Em um sistema IEEE 802.11, o RSSI é a força relativa do sinal recebido em um ponto do espaço, em um ambiente que possui conexões sem fio a partir de uma antena Wi-Fi.

Assim que o sinal é propagado a partir de sua fonte de emissão, ele sofre atenuação, o que significa que há queda no nível de potência do mesmo.

Tal diminuição é logarítmica e é bem definida, se desconsiderados os efeitos de transmissão. Como o nível de potência é conhecido no início da transmissão, o RSSI pode ser usado para estimar a distância percorrida pelo sinal transmitido.

Este parâmetro requer, porém, cuidado ao ser utilizado, uma vez que é afetado por obstáculos, perdas de multi-percurso, temperatura, abrir e fechar de portas, variações de umidade, presença e mobilidade de seres humanos, efeito sombra, dentre outros.

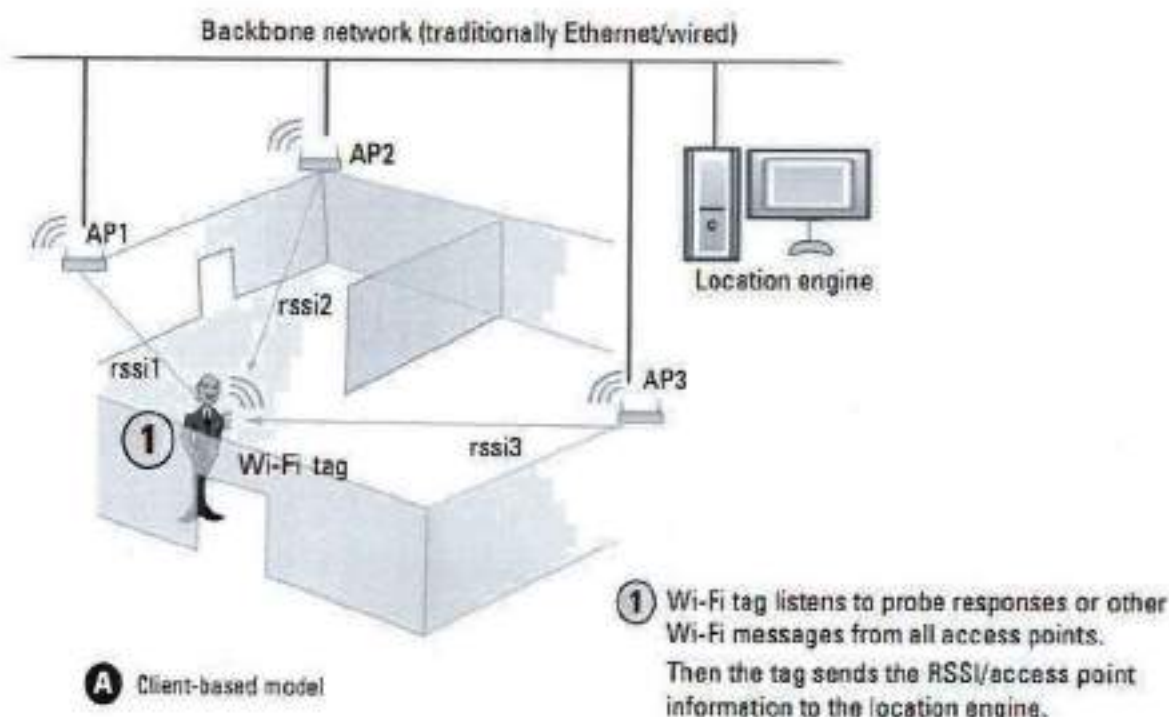


Figura 2.5 - Medições de RSSI através de uma tag Wi-Fi. (Fonte: Malik, 2009)

2.3.5 Modelos de propagação - um método inicial

Em uma abordagem baseada nas leis de propagação de sinais eletromagnéticos, o problema principal consiste em se computar as distâncias entre transmissores e receptores através das medidas de intensidade de sinal. Para tanto, o método requer um modelo para a propagação de ondas eletromagnéticas que expresse a distância em função do valor da intensidade do sinal recebido. Há duas escolhas principais.

Uma é baseada em interpolação polinomial. A outra é baseada na equação de Friis (HALLIDAY *et al.*, 2011).

A interpolação polinomial tenta aproximar uma série de medidas de intensidade de sinal associadas à distância entre o sistema transmissor e o receptor por uma expressão polinomial.

A outra abordagem é baseada na fórmula de Friis, que fornece a intensidade de um sinal de acordo com os parâmetros físicos da onda eletromagnética e a distância entre transmissor e receptor:

$$\frac{P_R}{P_T} = G_R G_T \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (2.2)$$

sendo:

P_R a potência de sinal recebida;

P_T a potência de sinal transmitida;

G_R o ganho da antena do receptor;

G_T o ganho da antena do transmissor;

λ o comprimento de onda;

d a distância entre o emissor e o receptor.

2.3.6 Sensores

A seguir são descritos alguns tipos de sensores, disponíveis na maioria dos *smartphones* e *tablets* atuais, e que podem potencialmente auxiliar na determinação da localização dinâmica do sistema.

2.3.6.1 Acelerômetro

Um acelerômetro é um componente que realiza a medição da aceleração do dispositivo ao qual se encontra conectado. O valor medido está

relacionado ao quanto uma massa interna de testes é comprimida. Praticamente todos os modelos atuais de *smartphones* e *tablets* possuem um tipo de acelerômetro integrado, o qual pode ser utilizado por uma variedade de aplicativos. Uma utilidade possível do mesmo é a determinação da localização do aparelho de forma dinâmica. A partir de uma entrada inicial do posicionamento, podem-se utilizar medidas contínuas da aceleração para se calcular o deslocamento do usuário em qualquer direção e, assim, atualizar a sua posição.

Em repouso relativamente à superfície da Terra o dispositivo irá indicar aproximadamente 1 G, com sentido para baixo. Assim, a medição não corresponde necessariamente à mudança de velocidade no espaço, uma vez que há o efeito da gravidade sobre a massa de testes que reside no interior do dispositivo. Tomando-se a Terra como referencial, para que a aceleração devido ao movimento seja calculada é preciso subtrair as medições do "offset" gravitacional.



Figura 2.6 - Representação de um acelerômetro. (Fonte: Sandia National Laboratories).

A mais importante fonte de erro de um acelerômetro é o viés, que corresponde ao *offset* do sinal da saída real em m/s^2 . Um viés constante causa

um erro na posição que cresce quadraticamente com o tempo e que pode ser expresso por

$$s(t) = \varepsilon * \frac{t^2}{2}, \quad (2.3)$$

sendo:

t o tempo de integração,

ε o valor do viés constante.

O viés pode ser estimado a partir da média de longo prazo da saída do acelerômetro quando o mesmo não estiver medindo nenhuma aceleração. Erros não corrigidos de viés são tipicamente aqueles que limitam o rendimento do dispositivo.

2.3.6.2 Giroscópio

Um giroscópio é um dispositivo utilizado tanto para se medir como para se manter a orientação, com base no princípio de conservação do momento angular. Mecanicamente, ele pode ser descrito como uma roda girante ou um disco cujos eixos são livres para assumir qualquer orientação.

O dispositivo é montado em balancins, de tal forma que o torque externo sobre o disco seja minimizado. Assim, sua orientação tende a se manter fixa em relação ao espaço externo, independentemente de quaisquer movimentos da plataforma sobre a qual ele esteja montado, devido ao alto momento angular associado à sua rotação. Desta forma, mesmo que um giroscópio mecânico esteja sujeito à rotação, permanecerá em uma orientação global constante e os ângulos entre os balancins irão se alterar.

Há giroscópios baseados em outros princípios operacionais, como os eletrônicos do tipo MEMS - *Micro Electro-Mechanical System*, encontrados em diversos modelos de *smartphones*. A diferença é que enquanto um giroscópio

convencional mede orientação, um giroscópio do tipo *MEMS* mede a taxa de variação angular, sendo por isso denominado giroscópio de taxa.

Os *MEMS* contêm elementos vibratórios que medem o efeito de Coriolis. Uma única massa é colocada para vibrar ao longo de um eixo de acionamento de tal forma que quando o giroscópio é rotacionado uma vibração secundária é induzida ao longo do eixo perpendicular devido à força de Coriolis. A partir deste efeito secundário, pode ser obtida a sua velocidade angular.



Figura 2.7 - Representação de um giroscópio mecânico.

O efeito de Coriolis estabelece que em um referencial móvel que gira com velocidade angular ω uma massa que se mova com velocidade v está sujeita à força de Coriolis, dada por:

$$\vec{F}_{\text{Coriolis}} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v} \quad (2.5)$$

É importante observar que enquanto o acelerômetro e o magnetômetro medem aceleração e ângulo relativos à Terra, o giroscópio mede a velocidade angular relativa ao corpo.

O viés de um giroscópio de taxa é a média da saída do giroscópio quando ele não está submetido a qualquer rotação (ou seja: o deslocamento da saída a partir do valor verdadeiro), em $^{\circ} / h$ (graus por hora). Um erro de inclinação constante de ϵ , quando integrado, causa um desvio angular, que cresce linearmente com o tempo:

$$\theta = \epsilon * t, \quad (2.4)$$

sendo:

t o tempo de integração

ϵ o valor do viés.

Se o viés é conhecido, basta compensá-lo por simples subtração da polarização da saída.

Outros erros presentes em giroscópios são os de calibração, alinhamentos e linearidades. Esses erros tendem a aparecer apenas enquanto o dispositivo estiver girando. Tais erros levam à acumulação adicional de deriva no sinal integrado, a magnitude do qual é proporcional à velocidade e duração dos movimentos.

2.3.6.3 Magnetômetro

Um magnetômetro é um instrumento usado para medir a força ou a direção do campo magnético na área ao redor do instrumento. Magnetômetros podem ser divididos em dois tipos básicos: magnetômetros escalares, que medem a força total do campo magnético ao qual estão sujeitos, e magnetômetros vetoriais, que possuem a capacidade de medir as componentes do campo em direções particulares relativas à orientação espacial do dispositivo.

As duas principais fontes de erro de medição estão relacionadas à contaminação magnética do sensor, erros na medição da frequência e materiais contendo ferro no operador e nas proximidades do dispositivo. Se o sensor for rotacionado enquanto a medição é realizada, um erro adicional é gerado.

2.3.6.4 Fusão de sensores

A fusão de sensores consiste na combinação dos dados obtidos através de diferentes fontes de sensoriamento. A razão para esse procedimento está na consideração da hipótese de que a informação resultante, neste caso, será mais confiável do que quando as fontes são consideradas de forma individual.

3 TECNOLOGIA ESCOLHIDA: WI-FI

Os principais motivos para esta escolha para constituírem, respectivamente, a tecnologia-base do sistema de posicionamento *indoor* e o parâmetro de medição são:

- 1) **Padrão bem definido e uso do parâmetro RSSI:** diferentemente das tecnologias Bluetooth e RFID, o Wi-Fi incorpora a medida de potência de sinal a todas as funções de drivers de *firmware* e às APIs, as quais são definidas pelos fabricantes e suportadas pelo IEEE. Isso é fundamental para que a localização de um dispositivo possa ser determinada a partir da potência dos sinais recebidos, uma vez que permite que linguagens como Java possuam chamadas ao sistema que acessam as informações recebidas através da antena Wi-Fi do celular e as tornem disponíveis para utilização, como é o caso do RSSI.
- 2) **Utilização da infraestrutura já existente:** o uso do Wi-Fi como tecnologia base para o sistema permite que seja usada a infraestrutura de redes locais sem fio já presentes em grandes locais fechados, como *shopping centers*, aeroportos, supermercados e faculdades, dispensando a inclusão de *hardware* adicional e de novos pontos de acesso.
- 3) **Dispositivos com conectividade Wi-Fi:** dispositivos móveis, além de serem amplamente usados, possuem, em grande maioria, conectividade Wi-Fi, o que possibilita que possam receber os sinais de RSSI que, após analisados pelo *middleware* do sistema, permitirão que o sistema calcule a localização do usuário.

4) Crescente disponibilidade: em locais fechados frequentados por um grande número de pessoas, é comum a disponibilidade de redes sem fio para o acesso de dispositivos móveis. Segundo a Reuters, a quantidade de *hot spots* de acesso à Internet (Wi-Fi) a nível mundial vai crescer mais do que quatro vezes, para 5,8 milhões em 2015, impulsionado por uma demanda cada vez maior por parte dos consumidores por conexões públicas para dispositivos móveis.

5) Vasta literatura disponível: sistemas de localização *indoor* que utilizam o Wi-Fi como tecnologia básica estão muito presentes na literatura.

Youssef (2003) apresenta um método probabilístico para a determinação da localização através do Wi-Fi dividido em duas etapas: uma fase *offline*, em que é construído um banco de dados contendo o mapa de RSSI do ambiente, e uma fase *online* em que a localização é estimada através das amostras coletada na fase *offline* através do teorema de Bayes. Ele propõe que sejam utilizadas distribuições de probabilidade dos valores de RSS, com a finalidade de lidar com a natureza ruidosa do sinal *wireless*. Também apresenta a técnica denominada *Joint Clustering*, através da qual é possível reduzir consideravelmente o esforço computacional do algoritmo de localização, o que viabiliza a implementação em dispositivos móveis.

Krumm e Horvitz (2004) propõem o sistema LOCADIO – *Location from Radio*, que utiliza o sinal dos pontos de acesso Wi-Fi para inferir tanto o movimento quanto a localização do dispositivo através de modelos ocultos de Markov e de um modelo que descreve o comportamento do usuário. O sistema é composto por uma etapa inicial de calibração que reduz o tempo gasto com treinamento, ocorrendo da seguinte forma: são coletados sinais de potência para um conjunto de coordenadas para que seja gerado um banco de dados inicial e, em seguida, o banco de dados é expandido interpolando-se os valores de potência a partir de um novo conjunto de coordenadas.

Shah e Malaney (2006) utilizam simulações para avaliar a eficácia do método do filtro de partículas para um localizador Wi-Fi que considera um modelo de propagação do tipo log-normal fading, o que dispensa a coleta de amostras para compor um banco de dados prévio. Também prediz as perdas que um sinal irá encontrar ao se propagar em um ambiente fechado em função da distância de propagação e é formalmente expresso por:

$$PL(dB) = P_{Tx}(dBm) - P_{Rx}(dBm) = PL_0 + 10\gamma \log_{10} \frac{d}{d_0} + X_g \quad (3.1)$$

sendo:

$PL(dB)$ a perda total no percurso, medida em decibéis (dB);

$P_{Tx}(dBm) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{Tx}}{1mW} \right)$ é a potência transmitida em dBm, sendo P_{Tx} a potência transmitida em watts;

$P_{Rx}(dBm) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{Rx}}{1mW} \right)$ é a potência recebida em dBm, sendo P_{Rx} a potência recebida em watts;

PL_0 é perda de caminho em decibéis (dB) na distância de referência d_0 ;

d é o comprimento do caminho;

d_0 é a distância de referência;

γ é o expoente de perdas no caminho;

X_g é uma variável aleatória Gaussiana com média zero, que reflete a atenuação em decibéis (dB) causada pelo efeito de *fading* – desvanecimento.

Paul e Wan (2008) apresentam um trabalho focado na predição dos movimentos do usuário. O trabalho considera que o uso de modelos de propagação seria pouco eficaz para ambientes fechados pelos seguintes motivos: o grande número de propagações multipercurso e a propagação de

sinais ser, na maioria das vezes, do tipo NLOS, em que não há um caminho direto entre fonte e receptor. Assim, a abordagem é probabilística e baseada e seus métodos exploram o uso do filtro de Kalman do tipo SPKF - Sigma-Point Kalman Filters, o qual se mostra de grande valia para localização de objetos móveis a partir de um modelo não-linear. Além da identificação RSSI de sinais Wi-Fi, o sistema faz uso de outros sensores de baixo custo, como sensores de movimento por infravermelho e sensores de passo (*foot-switches*), combinando um modelo de predição de movimentos para uma pessoa caminhando com o uso de sensores para rastrear a posição e velocidade.

4 IMPLEMENTAÇÃO

4.1 Diagrama rápido

O *Fast Diagram* - diagrama rápido é uma ferramenta bastante utilizada para a total concepção de um projeto. Basicamente, é um exercício que serve para identificar os objetivos e as soluções a serem adotadas a cada etapa de desenvolvimento de uma determinada tarefa. Este instrumento segue a seguinte lógica: caso se avance no diagrama da esquerda para a direita, a pergunta "Como?" deve ser feita a cada etapa; já se o avanço se der da direita para a esquerda deve ser feita a cada etapa a pergunta "Por quê?".

O diagrama é iniciado com o principal foco do projeto: criar interações. Observa-se que uma solução plausível e que aborda conceitos de Engenharia de Sistemas Eletrônicos está em desenvolver aplicações de localização *indoor* para aparelhos eletrônicos portáteis. Isso será feito a partir da obtenção do parâmetro RSSI do sinal Wi-Fi, seguida de duas etapas: uma de treinamento e outra de obtenção da posição. Tudo isso, utilizando-se um modelo teórico adequado, tal como é mostrado no diagrama a seguir.

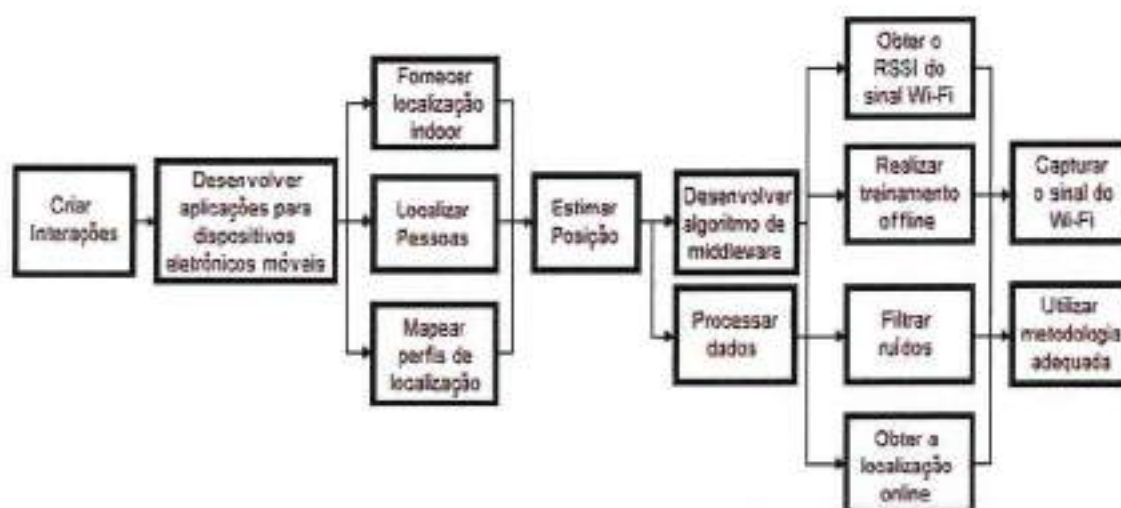


Figura 4.1 - Diagrama rápido do sistema.

4.2 RTLS a partir do sinal Wi-Fi

O sistema RTLS desenvolvido com sinais Wi-Fi pode ser dividido nas seguintes partes descritas a seguir:

- **Roteadores *Wireless*:** estão presentes na infraestrutura externa e sobre a qual não se tem controle. São os responsáveis por garantir o fornecimento dos sinais físicos de referência.
- **Receptores de sinais Wi-Fi:** correspondem às antenas Wi-Fi existentes nos dispositivos eletrônicos móveis dos usuários. Estes elementos realizam a captura dos sinais de potência das redes locais a uma dada frequência de amostragem.
- ***Location Engine* - algoritmo de localização:** corresponde ao programa responsável por utilizar os sinais recebidos pelos receptores Wi-Fi para calcular o posicionamento do usuário a partir de seu dispositivo móvel.
- ***Middleware*:** é o programa encarregado pela troca de informações entre os componentes do sistema RTLS e o aplicativo. Como a execução ocorre no mesmo dispositivo em que é realizado o cálculo de localização, este elemento será relativamente simples, correspondendo à parte do *software* responsável pelo envio da posição calculada à etapa de aplicação.
- **Aplicação:** é o programa que fornece a interface de interação ao usuário, através da qual o usuário pode observar a sua própria localização dentro de um ambiente previamente mapeado tal como de certos pontos de interesse e a localização de outros usuários.

4.3 Hardware

O *hardware* do projeto será constituído pela infraestrutura de redes locais do ambiente e pela estrutura de circuitos integrados internos do celular.

Nos locais em que se deseja fazer a localização, serão utilizados todos os pontos de acesso da infraestrutura possíveis sem que, a princípio, sejam introduzidos pontos auxiliares, visando justamente tornar o sistema viável economicamente.

Já o processamento dos dados recebidos do *middleware* e a aplicação para o usuário serão executados no dispositivo móvel, fazendo-se o uso de sua estrutura interna.

4.4 Aplicação

A aplicação (ou *software*) para o usuário final do sistema será o programa que irá interagir com o *middleware* do sistema de localização para disponibilizar as informações desejadas de uma forma simples, precisa e intuitiva para o usuário, tal como é mostrado na figura 4.2.

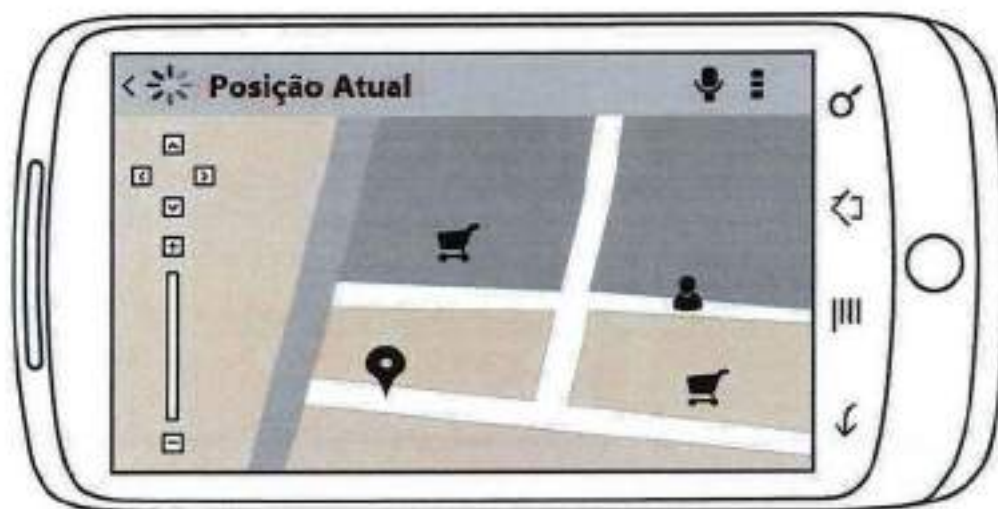


Figura 4.2 - Aplicação que interagirá com o usuário.

O programa será escrito em linguagem Java e será executado em dispositivos com o sistema operacional Android. Seu desenvolvimento o tornará compatível com várias versões do sistema operacional e diversos tamanhos de tela, desde *smartphones* até *tablets*.

A aplicação permitirá que o usuário obtenha sua própria localização, informações sobre a posição de outras pessoas (principalmente de crianças) tal como de locais de interesses, como lojas.

5 ETAPA DE DESENVOLVIMENTO

5.1 Aparelhos utilizados

Tabela 5.1 - Especificações do *smartphone* Samsung Galaxy ACE S7500 PLUS.

Dimensões físicas	Altura: 114.5mm Largura: 62.5 Profundidade: 11.2 mm	
Peso	115g	
Processador	1 GHz Cortex-A5	
Sistema Operacional	Android OS, v2.3 (Gingerbread), upgradable to v4.1	
Memória	3 GB storage, 512 MB RAM microSD, up to 32GB	
Display	320 x 480 pixels, 3.65 inches	
Conectividade	GSM 850, 900, 1800 e 1900 HSDPA, 7.2 Mbps Assisted GPS (A-GPS) Wi-Fi 802.11 b/g/n Bluetooth v3.0 with A2DP microUSB v2.0	
Sensores	Acelerômetro, sensor de proximidade, compasso.	

Figura 5.1 - Samsung Galaxy ACE S7500 PLUS.

Tabela 5.2 - Especificações do *smartphone* Nexus S.

Dimensões físicas	Altura: 123.9mm Largura: 63mm Profundidade: 10.88mm	
Peso	129g	
Processador	Cortex A8 (Hummingbird), 1 GHz	
Sistema Operacional	Android™ 2.3.4 (Gingerbread)	
Memória	16GB iNAND flash memory	
Display	4.0" WVGA (480x800)	
Conectividade	GSM: 850, 900, 1800, 1900 HSDPA (7.2Mbps) HSUPA (5.76Mbps) Assisted GPS (A-GPS) Wi-Fi: 802.11 n/b/g Bluetooth 2.1+EDR microUSB 2.0 Near Field Communication (NFC)	
Sensores	Acelerômetro, giroscópio de três eixos, sensor, compasso digital, sensor de proximidade, sensor de luz ambiente.	

Figura 5.2 - Nexus S.

5.2 Android

O Android é um sistema operacional embarcado, que é executado sobre o núcleo Linux. Atualmente, é desenvolvido pelo *Open Handset Alliance*, um consórcio formado por 86 empresas de *hardware*, *software* e telecomunicações. O *Android Open Source Project*, liderado pelo Google, é o encarregado por manter e assegurar as atualizações do sistema.

Apesar de projetado para uso principalmente em *smartphones* e *tablets*, sua natureza aberta e personalizável permite que seja usado também em outros dispositivos eletrônicos, como *laptops*, leitores de e-books, televisores e aparelhos de GPS.

O sistema Android possui diversas APIs - Interfaces de Programação de Aplicativos para gerenciar todos os aspectos de conectividade para cada uma das tecnologias disponíveis no aparelho, como Bluetooth, Wi-Fi e NFC - *Near Field Communications*, fazendo com que o programa desenvolvido na plataforma seja compatível com diversos modelos de aparelhos eletrônicos pertencentes a diferentes fabricantes.

O sistema operacional Android foi a opção escolhida para o projeto. Além de constituir um *software* livre, distribuído pelo Google a partir da licença Apache, seus aplicativos são escritos em linguagem Java e podem ser desenvolvidos a partir de vários IDEs – Ambientes de Desenvolvimento Integrados, como o MOTODEV e o Eclipse, os quais são bastante amigáveis para os desenvolvedores.

Além disso, a escolha é sustentada por uma pesquisa de mercado, que mostra claramente que a maioria dos usuários usa dispositivos com Android. Segundo a IDC, no terceiro quarto de 2012 o sistema operacional Android responde por 75% do mercado de celulares do tipo *smartphone*, seguido pelo iOS, da Apple, com uma fatia de 14.9%. Em relação a 2011, o crescimento do número de celulares que utilizam Android foi de 91.5%. Os detalhes com relação a outros sistemas são mostrados na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Ranking dos 6 sistemas operacionais embarcados, vendas e *market share* no terceiro quarto de 2012 (milhões de unidades). (Fonte: IDC).

Sistema	3Q2012 Numero de equipamentos vendidos	3Q2012 <i>Market Share</i>	3Q2011 Numero de equipamentos vendidos	3Q2011 <i>Market Share</i>	Crescimento de 2011 para 2012
Android	136.0	75.0%	71.0	57.5%	91.5%
iOS	26.9	14.9%	17.1	13.8%	57.3%
BlackBerry	7.7	4.3%	11.8	9.5%	-34.7%
Symbian	4.1	2.3%	18.1	14.6%	-77.3%
Windows Phone 7/ Windows Mobile	3.6	2.0%	1.5	1.2%	140.0%
Linux	2.8	1.5%	4.1	3.3%	-31.7%
Outros	0.0	0.0%	0.1	0.1%	-100%
Total	181.1	100%	123.7	100%	46.4%

5.3 Software de coleta de dados

Utilizando-se a linguagem Java, foi escrito o programa de nome SLIT *Scanner* no IDE MOTODEV Studio, com compatibilidade válida com dispositivos eletrônicos que possuam o sistema operacional Android na versão 2.3 ou em uma versão superior. O aplicativo permite realizar a coleta de RSSI ao longo de qualquer ambiente – fechado ou aberto – que possua uma infraestrutura composta por pontos de acesso Wi-Fi.

Deve-se atribuir ao ambiente, inicialmente, um sistema de coordenadas retangulares (*grid*), a serem usadas para identificar cada ponto em que forem realizadas as medições de RSSI. Durante a coleta de dados, estas coordenadas são solicitadas e devem ser fornecidas ao aplicativo, para que o mesmo possa criar um banco de dados associando uma sequência de medições a um ponto específico do espaço considerado.

Para realizar a tomada de dados, deve-se fornecer um comando ao programa, que então coleta uma sequência de amostras com um determinado período de amostragem. Tanto o número de amostras como o

período de amostragem são previamente escolhidos. Os valores coletados são, a seguir, armazenados no banco de dados da memória do dispositivo.

5.3.1 Interface e configuração coleta de dados

O aplicativo desenvolvido possui a interface mostrada na figura 5.3. Para que a coleta de dados possa ser configurada, colocam-se as coordenadas nos campos x, y e z de *coordinates*.

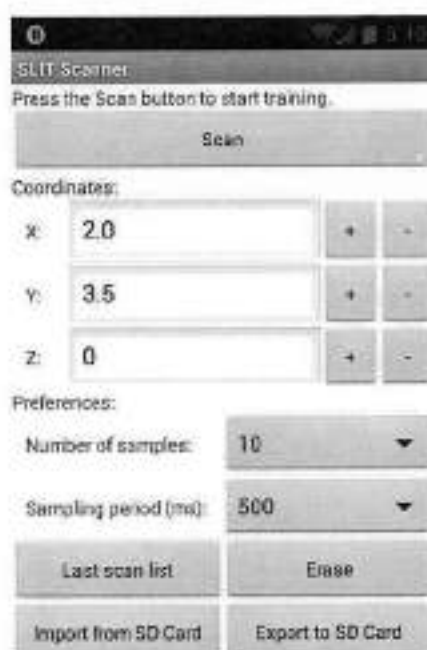


Figura 5.3 - Tela principal do programa de treinamento SLIT Scanner.

Em seguida, define-se o número de amostras que serão coletadas, o qual possui um valor mínimo de 1 e máximo de 10, conforme mostrado na figura 5.4.



Figura 5.4 - Programa SLIT Scanner – definindo-se o número de amostras.

Finalmente, define-se o período de amostragem em milissegundos, o qual possui um valor mínimo de 100 ms e máximo de 500 ms, o que é mostrado pela figura 5.5.



Figura 5.5 - Programa SLIT Scanner – definindo-se o período de amostragem.

5.3.2 Procedimento para coleta de dados

Quando todos os parâmetros (coordenadas, número de amostras e período de amostragem) estão definidos, pressiona-se o botão *Scan* para que os valores de RSSI dos pontos de acesso observáveis de uma determinada localização física possam ser obtidos. A figura 5.6 mostra a tela do programa quando é realizada uma busca pelos pontos de acesso.



Figura 5.6 - Programa SLIT Scanner – procurando-se por pontos de acesso.

5.3.3 Resultados

Terminada a coleta de valores de RSSI em uma localização, é possível observar os últimos resultados obtidos clicando-se em *Last Scan List*. Ao fazê-lo, é apresentada uma tela em que os dados referentes a cada ponto de acesso são mostrados com o seguinte formato:

<número da amostra> <nome da rede> <endereço MAC> <Potência Recebida (dBm)>

A figura 5.7 mostra uma tela de exemplo com os resultados obtidos.



Figura 5.7 - Programa SLIT Scanner – opção *Last Scan Results*.

5.3.4 Manipulando o banco de dados a partir do programa

O banco de dados do sistema é gerado na primeira aquisição de dados pelo aplicativo *SLIT Scanner*. Ele é construído na forma de uma matriz de valores, apresentando o seguinte formato: a primeira linha contém os títulos de cada uma das colunas; as demais apresentam os valores obtidos em cada uma das medições. A primeira coluna, intitulada *id*, corresponde ao índice de cada amostra; as colunas *x*, *y* e *z* correspondem às coordenadas físicas da posição em que a coleta de dados está sendo realizada. As demais colunas são intituladas com os endereços MAC dos pontos de acesso encontrados durante a medição, os quais são obtidos juntamente com os valores RSSI dos mesmos. Os valores listados sob cada endereço MAC representam os valores RSSI, em dBm, do ponto de acesso correspondente, em cada medição.

A cada nova coleta, novas linhas são acrescentadas ao banco de dados, contendo os últimos valores medidos. Caso algum novo ponto de acesso seja identificado, é acrescentada uma nova coluna, rotulada com o seu endereço MAC e contendo os valores RSSI obtidos do mesmo.

5.3.4.1 Operação *Erase*

O programa de coleta de dados possui a opção *Erase* que pode ser usada para três tarefas:

- 1) Excluir todo o banco de dados (*All database*);
- 2) Excluir todas as linhas, exceto a primeira (endereços MAC);
- 3) Excluir apenas o último *scan* realizado.

A opção número 1 é útil quando se tem um banco de dados não confiável, contendo colunas correspondentes a pontos de acesso pertencentes a ambientes distintos, como os prédios da Engenharia Elétrica e da Engenharia Civil da Escola Politécnica.

A opção número 2 é útil quando se tem um banco de dados confiável e cheio e se deseja manter o formato do mesmo para que novas medições possam ser realizadas, uma vez que as colunas continuarão com os mesmos endereços MAC obtidos anteriormente. Com isso, o novo banco de dados mantém os pontos de acesso listados em uma mesma ordem.

Finalmente, a opção número 3 é útil quando se realiza uma medição com algum parâmetro errado, sejam coordenadas, número de amostras ou período de amostragem.



Figura 5.8 - Programa SLIT Scanner – opção *Erase*.

5.3.4.2 Opção *Import from SD Card*

Quando já existir um banco de dados armazenado no cartão SD de memória do dispositivo móvel utilizado, é possível importá-lo para o aplicativo a partir do comando *Import from SD Card*, como mostrado na figura 5.9. Um procedimento comumente usado para o treinamento consistiu em importar o banco de dados do cartão SD e em seguida excluir as linhas do mesmo. Desta forma, era obtido um banco de dados vazio com colunas designadas pelos mesmos pontos de acesso das medições anteriores, o que permitiu manter-se um padrão no ordenamento dos pontos de acesso.



Figura 5.9 - Programa SLIT Scanner – opção *Import from SD Card*.

5.3.4.3 Opção *Export to SD Card*

Com o treinamento concluído, pode-se exportar o banco de dados para que os valores obtidos sejam processados através de um *software* externo que irá auxiliar na construção de um modelo adequado à fase de determinação da localização do usuário. Para isso, utiliza-se a opção *Export to SD Card*, ilustrada na figura 5.10.



Figura 5.10- Programa SLIT Scanner – Export to SD Card.

5.3.4.4 Acessando o banco de dados

Com um banco de dados presente no cartão SD, é possível extrair o banco de dados para um computador via USB para que o mesmo possa ser analisado. Ao fazê-lo, obtém-se um arquivo com extensão .db, que pode ser lido a partir de programas de bancos de dados. No caso presente, optou-se pelo do SQLite Data Browser. A visualização possui a seguinte aparência:

Tabela 5.4 - Exemplo de banco de dados do treinamento visualizado no SQLite Data Browser.

Amostra	id	x	y	z	m00219175aa56
1	1	0.0	0.0	0	-61
2	2	0.0	0.0	0	-65
3	3	0.0	0.0	0	-62
4	4	0.0	0.0	0	-63
5	5	1.0	0.0	0	-58
6	6	1.0	0.0	0	-59
7	7	1.0	0.0	0	-56
8	8	1.0	0.0	0	-57

Cada ponto de acesso lido possui reservada uma única coluna no banco de dados. Dadas dez medições e dois pontos de acesso i e j , admitindo-se que o ponto de acesso i tenha sido encontrado enquanto j não tenha, será realizado o seguinte procedimento: as linhas correspondentes a i serão preenchidas com os valores lidos em dBm enquanto as linhas de j serão preenchidas com o valor -99 que indica, por convenção, que o ponto de acesso j não foi encontrado.

Tabela 5.5 - Sinais obtidos em dBm para os pontos de acesso i e j .

Ponto de Acesso i	Ponto de Acesso j
-85	-99
-85	-99
-86	-99
-88	-99
-87	-99
-86	-99
-84	-99
-83	-99
-84	-99
-85	-99

6 ETAPA EXPERIMENTAL

Definida a abordagem do problema de localização *indoor* a partir da tecnologia Wi-Fi, prosseguiu-se com uma etapa experimental, destinada a realização de medições e verificação da funcionalidade de alguns métodos de determinação da localização pesquisados na literatura.

Cabe aqui apresentar as definições das duas fases em que o sistema foi planejado para trabalhar, que são simuladas nos algoritmos de testes descritos a seguir.

Treinamento *offline*: mapeamento do ambiente por meio da coleta de dados (potência dos sinais recebidos dos pontos de acesso da rede Wi-Fi) em vários pontos da área de interesse.

Determinação da localização *online*: fase de utilização do sistema pelo usuário final. Nesta etapa a potência recebida dos pontos de acesso é comparada com o banco de dados obtido no treinamento para estimar a localização atual do usuário.

6.1 Primeiro Experimento

Dadas as seguintes condições:

- **Equipamento utilizado:** Samsung Galaxy ACE PLUS S7500
- **Local de coleta de dados:** sala C1-10 do prédio da Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- **Número de pontos de coleta:** 12

A coleta de sinais de intensidade de potência foi precedida por uma demarcação da sala C1-10. De posse de uma trena e da planta com as dimensões físicas do local, foram estimadas as coordenadas, em metros, dos

pontos de treinamento, tomando-se como origem o canto inferior esquerdo da figura 6.1, estando a entrada da sala entre as coordenadas (3, 0) e (4, 0).

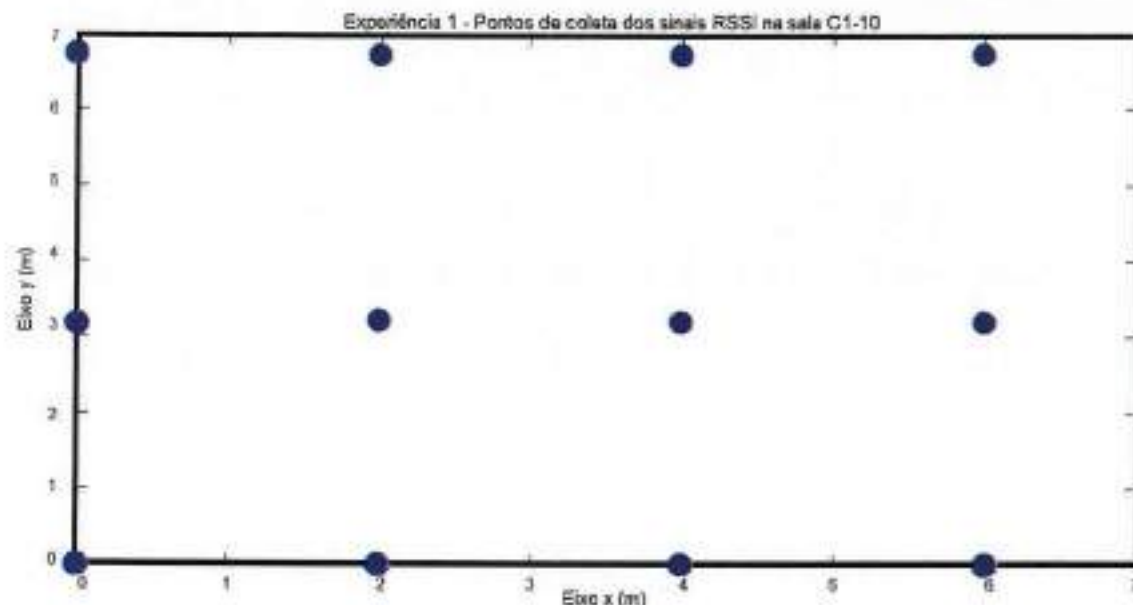


Figura 6.1 - Pontos de coleta dos sinais de intensidade de potência de sinal na sala C1-10.

Com o *SLIT Scanner*, foi realizada a coleta dos sinais RSSI dos pontos de acesso Wi-Fi, obtidos em dBm, em cada uma das coordenadas da figura 6.1, com as seguintes especificações:

- **Número de amostras por ponto:** 20
- **Período de amostragem:** 500 ms

Os valores obtidos foram então armazenados no banco de dados do *smartphone* e exportados para o *software* MATLAB da MathWorks para que fossem devidamente processados a partir de um primeiro algoritmo de testes.

6.1.1 Algoritmo de testes

O primeiro algoritmo de testes desenvolvido é composto pelas seguintes etapas:

- 1) Calculam-se os valores médios de potência em dBm recebidos em cada posição da etapa *offline* para cada ponto de acesso. Em seguida, determinam-se os pontos de acesso com maior intensidade média de sinal. Os resultados obtidos são mostrados na tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Pontos de acesso mais fortes ao longo de cada posição na sala C1-10.

Coordenadas espaciais	1º	2º	3º
(0, 0)	8	6	7
(2, 0)	8	7	3
(4, 0)	8	7	6
(6, 0)	8	7	6
(0, 3.2)	8	7	6
(2, 3.2)	8	7	6
(4, 3.2)	8	7	6
(6, 3.2)	8	7	6
(0, 6.7)	8	7	6
(2, 6.7)	8	7	2
(4, 6.7)	7	8	6
(6, 6.7)	8	7	3

A numeração dos pontos de acesso na tabela 6.1 corresponde à ordem em que os mesmos foram observados durante a coleta de dados. É utilizada aqui para identificar os pontos de acesso, no lugar de seus endereços MAC, para facilitar a sua visualização.

Podem-se observar, nos mapas de RSSI abaixo, as formas como as intensidades dos sinais oriundos de cada ponto de acesso se distribuem ao longo do ambiente.

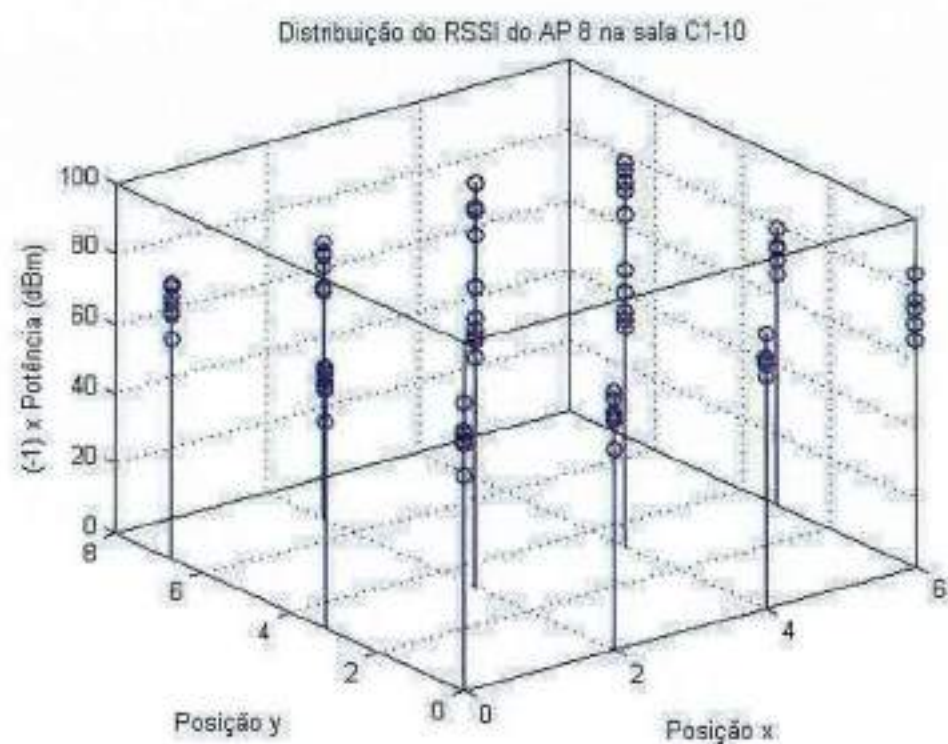


Figura 6.2 - Mapa de RSSI do ponto de acesso 8 na sala C1-10.

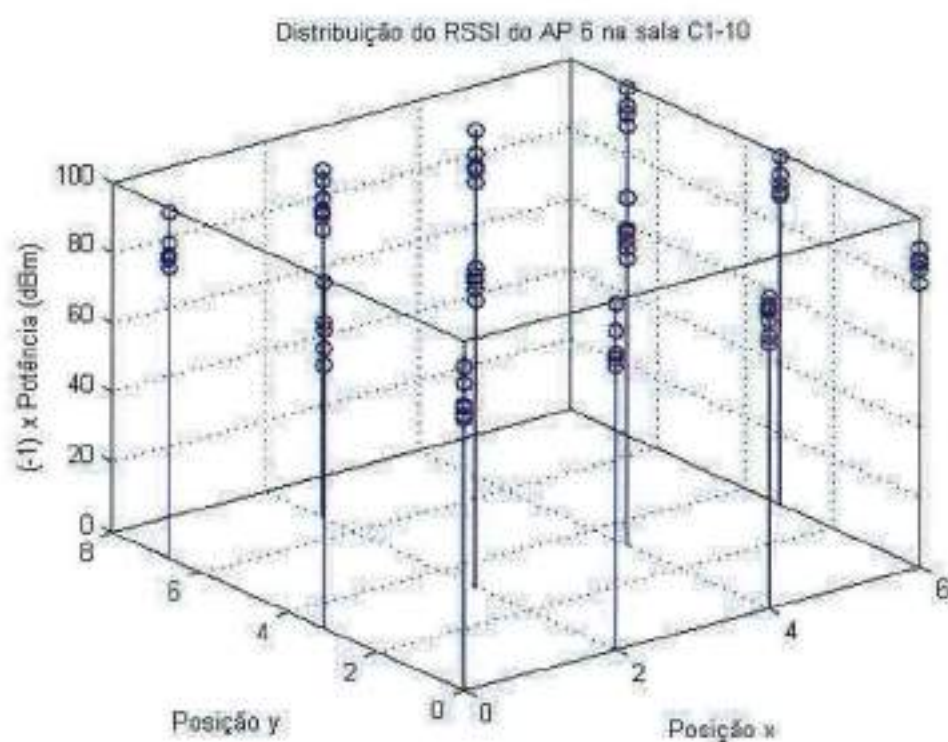


Figura 6.3 - Mapa de RSSI do ponto de acesso 6 na sala C1-10.

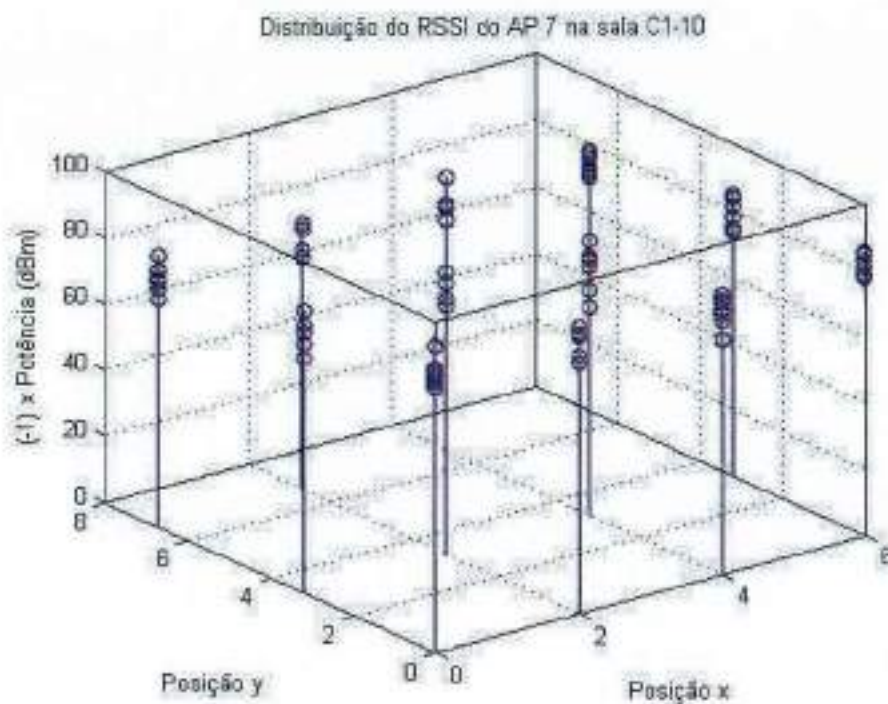


Figura 6.4 - Mapa de RSSI do ponto de acesso 7 na sala C1-10.

- 2) Para cada posição da etapa *offline*, são construídos os histogramas de distribuição de potência para os três pontos de acesso com maior intensidade média de potência.

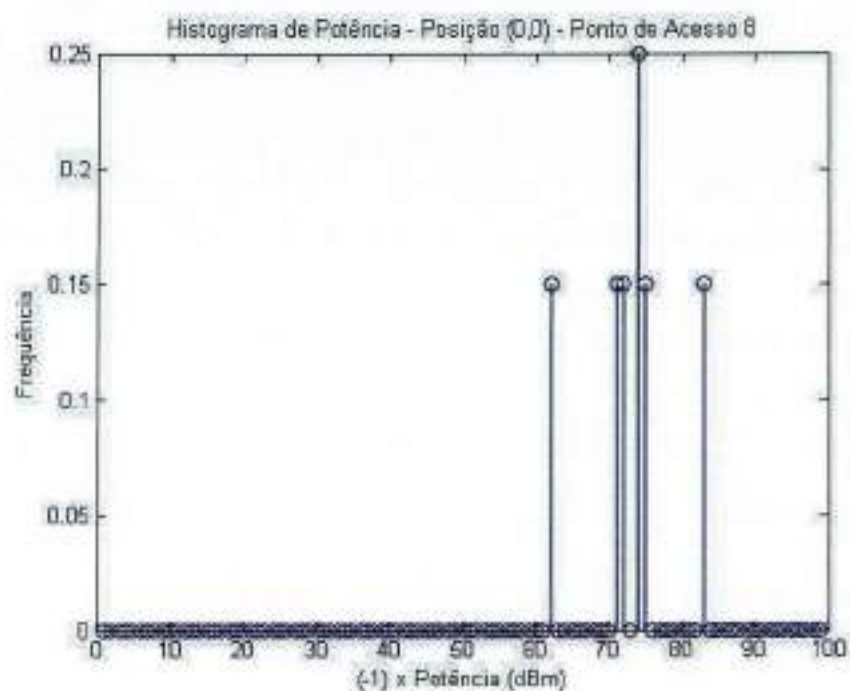


Figura 6.5 - Histograma de Potência na posição (0, 0) para o ponto de acesso 8.

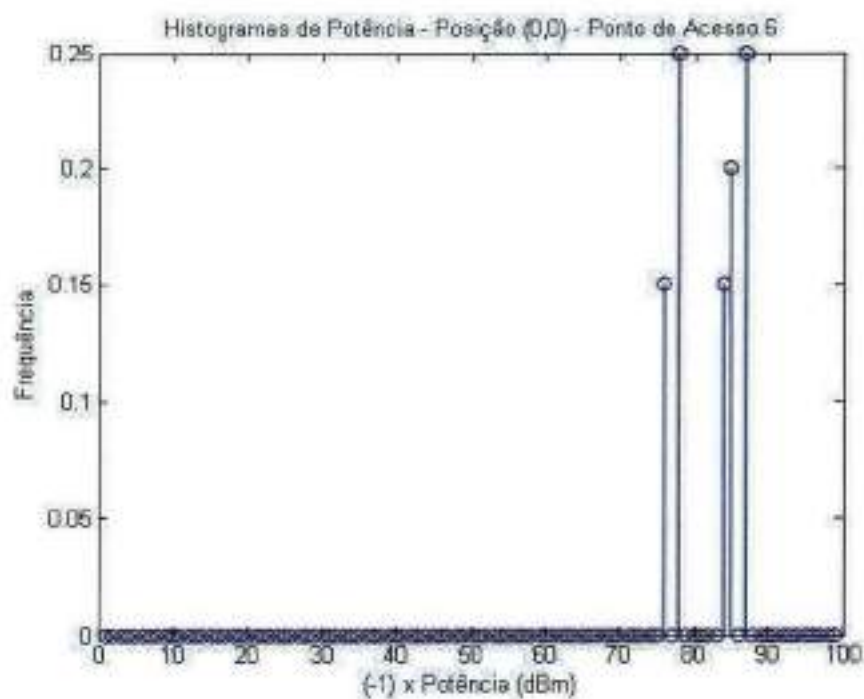


Figura 6.6 - Histograma de Potência na posição (0, 0) para o ponto de acesso 6.

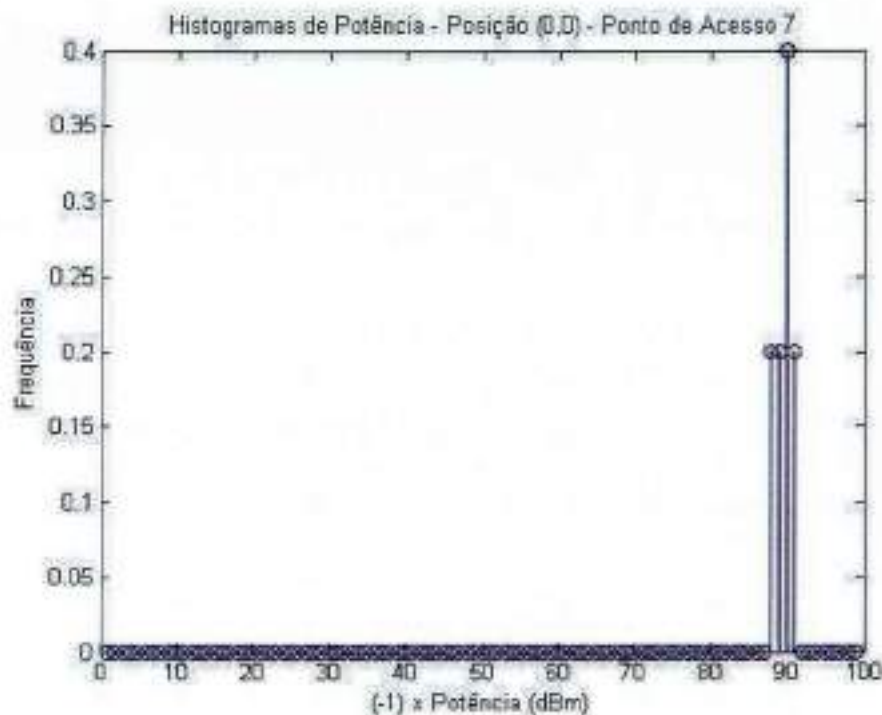


Figura 6.7 - Histograma de Potência na posição (0, 0) para o ponto de acesso 7.

- 3) Através da distância de Bhattacharyya (BHATTACHARYYA, 1943) é calculada a semelhança entre os histogramas gerados com os dados da etapa *offline* e aqueles gerados na etapa *online*. A partir dos resultados, são selecionados os k pontos da etapa *offline* que se encontram mais próximos da posição da etapa *online* que se deseja estimar.

6.1.1.1 Cálculo da Distância de Bhattacharyya

Na estatística, a distância de Bhattacharyya realiza a medida de similaridade de duas distribuições de probabilidade, tanto contínuas quanto discretas (MAO *et al.*, 2011). Está estritamente relacionada ao coeficiente de Bhattacharyya, que representa uma medida de sobreposição (*overlap*) entre duas amostras ou populações estatísticas. O coeficiente pode ser usado para determinar a proximidade relativa das duas amostras consideradas.

Para o caso abordado, em que se tem uma distribuição de probabilidades discreta, vale

$$D_B(p, q) = -\ln(BC(p, q)), \quad (6.1)$$

sendo:

$$BC(p, q) = \sum_{x \in X} \sqrt{p(x)q(x)} \quad (6.2)$$

o coeficiente de Bhattacharyya, sendo $0 \leq BC(p, q) \leq 1$.

Para este passo do algoritmo, o grau de sobreposição entre as distribuições de probabilidade *offline* $P_{i,l}(s)$ e *online* $P_{i,n}(s)$ é calculado a partir da fórmula

$$B_{l,i} = \sum_{s=-99}^0 \sqrt{P_{i,l}(s) \cdot P_{i,n}(s)} \quad (6.3)$$

onde para cada valor de $s = s'$ vale:

$$\sqrt{P_{i,l}(s) P_{i,n}(s)} \Big|_{s=s'} = \begin{cases} \sqrt{P_{i,l}(s') P_{i,n}(s')}, & \text{se } P_{i,l}(s') \neq 0 \text{ e } P_{i,n}(s') \neq 0 \\ 0, & \text{se } P_{i,l}(s') = 0 \text{ ou } P_{i,n}(s') = 0 \end{cases} \quad (6.4)$$

Em seguida, é calculada a similaridade média em relação a cada localização l para os q pontos ponto de acesso mais fortes:

$$\bar{B}_l = \frac{1}{q} \sum_{i \in O_l^q} B_{l,i} \quad (6.5)$$

A distância de Bhattacharyya é dada então por

$$d_l = \ln \bar{B}_l \quad (6.6)$$

- 4) Uma vez que os K vizinhos mais próximos tenham sido encontrados, estima-se a posição computando-se o centro de

massa desses pontos. Para tanto, são atribuídos pesos aos mesmos, correspondente ao inverso de suas distâncias e as coordenadas x_l e y_l são calculadas através das seguintes expressões:

$$x_l = K \sum_{i \in C_k} x_i / d_l \quad (6.7)$$

$$y_l = K \sum_{i \in C_k} y_i / d_l \quad (6.8)$$

onde o fator normalização K é dado por

$$K = \frac{1}{\sum_{i \in C_k} 1/d_l} \quad (6.9)$$

6.1.2 Conclusões do Experimento Inicial

As medições de RSSI deste experimento inicial indicaram que o sinal Wi-Fi varia com o tempo de forma aleatória e possui relação direta com a geometria do ambiente e com os materiais que compõem a estrutura do mesmo.

Um modelo determinístico que realiza triangulação ao longo do espaço, valendo-se da equação de propagação de Friis para os sinais dos diversos pontos de acesso, ainda que soubesse a localização exata de cada ponto de acesso e considerasse as perdas de propagação no espaço, não seria suficiente para a obtenção do posicionamento *indoor*. Isto porque a propagação do sinal neste caso é do tipo NLOS, o que impede a existência de uma relação direta entre a potência de sinal recebida e um processo adequado de filtragem de ruídos.

Além disso, diferentemente do modelo determinístico, o modelo probabilístico trata de forma adequada e precisa o comportamento aleatório do sinal Wi-Fi através do mapeamento de potências em localizações apropriadas do espaço, as quais são usadas para gerar histogramas que caracterizam as

frequências com que cada faixa de potências é observada ao longo de posições cartesianas.

O problema do método de Bhattacharyya é que, ainda que os sinais possuam histogramas cujos valores sejam bastante próximos, a similaridade entre os mesmos pode resultar nula. Prova disso é o exemplo apresentado na tabela 6.2, cujos dados representam as probabilidades de ocorrência de determinados valores de RSSI, para um dado ponto de acesso:

Tabela 6.2 - Exemplo de cálculo da distância de Bhattacharyya.

Sinal Offline	Sinal online
$P_{i,l}(-75) = 0.35$	$P_{i,n}(-74) = 0.35$
$P_{i,l}(-77) = 0.25$	$P_{i,n}(-76) = 0.25$
$P_{i,l}(-79) = 0.15$	$P_{i,n}(-78) = 0.15$
$P_{i,l}(-81) = 0.25$	$P_{i,n}(-80) = 0.25$

Apesar de se observar que os valores da tabela 6.2 coletados nas etapas *offline* e *online* são bastante próximos e que para uma mesma linha da tabela acima as probabilidades são idênticas, ainda assim o cálculo forneceria uma similaridade nula, o que claramente é um problema e torna inviável a utilização desta métrica.

6.2 Segundo Experimento

O modelo testado até então para o sistema de posicionamento *indoor* não se mostrou eficaz. Além disso, as medições de sinais RSSI haviam sido realizadas na sala C1-10 do prédio da Engenharia Elétrica, que possui pequenas dimensões, não possibilitando um grande número de pontos de coleta, além não de permitir a observação de variações significativas das potências dos sinais ao longo do espaço. Por estes motivos, optou-se pela

coleta de sinais de RSSI em um local de dimensões maiores: o piso superior do bloco B do prédio de Engenharia Elétrica. O espaço total considerado tem dimensões de 60 por 24 metros.

- **Equipamento utilizado:** Samsung Galaxy ACE PLUS S7500
- **Local de coleta de dados:** Piso superior do bloco B do prédio da Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- **Número de pontos de coleta:** 40
- **Número de amostras por ponto:** 80
- **Período de amostragem:** 500ms

Os pontos de coleta escolhidos, situados com espaçamento de cerca de 5 metros, correspondem aos demarcados na figura 6.8, que representa a planta do piso superior do bloco B.

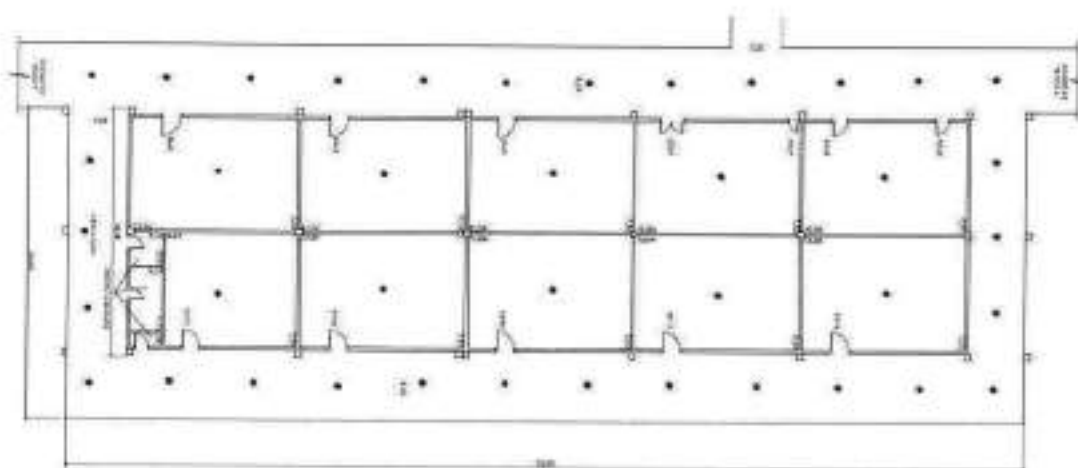


Figura 6.8 - Pontos de coleta de dados no segundo experimento.

Para realizar a coleta de dados para uma dada posição, procedia-se da seguinte maneira: especificavam-se as manualmente as coordenadas x e y sobre o mapa e eram colhidas 10 amostras de sinal Wi-Fi em cada uma das direções: norte, noroeste, oeste, sudoeste, sul, sudeste, leste, nordeste. O motivo desse procedimento está relacionado à diretividade da antena Wi-Fi

utilizada para realizar a coleta das amostras e à degradação do sinal provocada pelo próprio corpo do usuário, que funcionará como uma barreira para sinais provenientes de determinadas direções.

A estimação da localização do dispositivo não pode ser influenciada pela sua orientação, ou seja, o algoritmo deve fornecer os mesmos resultados independentemente da direção para a qual o usuário está voltado num dado momento. Assim, as medições são realizadas em oito direções distintas a fim de minimizar o efeito da diretividade do sinal Wi-Fi, de tal forma que, para cada ponto de medição, foram obtidas 80 amostras.

As medições realizadas foram armazenadas em um banco de dados, correspondendo aos valores da fase *offline*. Paralelamente, outras medições foram realizadas em alguns pontos, para simular dados adquiridos na fase *online*, e armazenados separadamente. Esses dados foram então utilizados em um segundo algoritmo de testes no MATLAB, o qual é descrito a seguir.

6.2.1 Algoritmo de Testes

Após o método de comparação das distribuições de probabilidade através da distância de Bhattacharyya ter se mostrado ineficaz para a determinação da localização, foi desenvolvido um novo algoritmo de testes. O seu funcionamento se dá através das seguintes etapas:

- 1) Calculam-se os valores médios de potência recebidos em cada posição da etapa *offline* para cada ponto de acesso.
- 2) Em seguida, determinam-se quais são os q pontos de acesso com maior intensidade média de sinal em cada posição na etapa *offline*, onde q é um parâmetro ajustável nessa fase de testes. A tabela 6.3 apresenta, como exemplo, os cinco pontos de acesso mais fortes em algumas das localidades amostradas.

Tabela 6.3 - Pontos de acesso mais fortes em algumas posições do bloco B.

Coordenadas espaciais	1º	2º	3º	4º	5º
(0, 0)	20	19	11	21	13
(2, 0)	20	19	21	24	17
(4, 0)	20	21	19	18	24
(8, 0)	20	24	18	25	19
(1.5, 1)	20	21	19	11	13
(7.5, 1)	18	25	20	24	27
(3.5, 3)	21	20	17	11	3
(9.5, 3)	27	25	18	24	3
(0, 4)	11	13	8	12	3
(2, 4)	11	21	3	8	14

- 3) Das 80 amostras coletadas de cada um dos q pontos de acesso mais fortes, são descartadas as cinco cujos valores são mais altos e as cinco cujos valores são mais baixos. A finalidade desta etapa é eliminar valores extremos pontuais dos sinais, que não correspondem a sua real tendência de comportamento, podendo vir a prejudicar a determinação da posição na fase *online*.
- 4) Calcula-se a média entre as 70 amostras restantes de cada ponto de acesso, para cada posição do espaço.
- 5) Determinam-se quais são os q pontos de acesso cujos sinais são mais fortes na amostra atual da etapa *online*.
- 6) Finalmente é calculada, para cada posição do espaço, a somatória dos erros quadráticos entre os valores de RSSI da amostra *online* e os valores médios calculados na etapa 4. A posição que apresentar o menor valor para essa somatória é escolhida como a localização estimada do usuário e fornecida como saída do programa.

Foram realizados testes com diferentes valores de q , de forma a se determinar qual o melhor valor para o mesmo. Por fim foi estabelecido que seu valor fosse igual a 10, após observação dos resultados e análise dos dados coletados. Nestes, para a maioria das posições, o número de pontos de acesso

visíveis estava entre 10 e 15. É desejável que seja considerado o maior número de pontos de acesso possível, para que o sistema possa lidar com a queda eventual de alguns dos sinais. Porém, deve ser escolhida uma quantidade que esteja visível na maior parte dos pontos amostrados, para que os cálculos sejam realizados apenas com os dados que têm real significado e relevância ao resultado final.

6.2.2 Análise dos Resultados

Após diversos testes do algoritmo implementado, não foi possível alcançar resultados satisfatórios. Observou-se que a localização estimada, convergia, na maior parte dos casos, para um pequeno número de pontos, muitas vezes afastados da posição real da amostra *online*. Foi possível observar que os pontos mais recorrentes foram os de coordenadas (11, 2), (11, 3), (10, 4), (0, 3), (4, 4) e (5,4), que constituem regiões relativamente afastadas entre si.

Embora o algoritmo consiga acertar ou ao menos estimar com boa aproximação a localização do usuário em alguns casos, a taxa de acerto é muito baixa para comprovar o funcionamento do método empregado. De fato, foi observado que, ao longo de todo o corredor posterior do bloco B do prédio da Engenharia Elétrica, os resultados estimados da localização limitaram-se a cerca de 3 pontos, situados em um corredor lateral.

6.2.3 Conclusões do Experimento

Os resultados observados por meio dos testes com a segunda versão do algoritmo revelaram algumas falhas no método empregado para a determinação da localização. Pôde-se observar que este método não é capaz de lidar com sinais de intensidades relativamente próximas, observados em localidades distintas. O fato de se considerar apenas o ponto onde o erro quadrático entre os valores *online* e *offline* é o menor possível dá margem a

erros de estimação, introduzidos pela existência de locais onde as características de potência dos sinais são relativamente semelhantes às da posição real do usuário.

Surge aí uma possibilidade de aprimoramento do método de localização utilizado. A solução identificada para o problema consiste em se considerar não apenas o local cujo erro quadrático é mínimo, mas sim um grande conjunto de pontos e, então, calcular as coordenadas da posição estimada através da média dos pontos considerados, ponderada pelos erros quadráticos atribuídos aos mesmos. Com isso, pode-se garantir que, ainda que a posição real do usuário não seja a que apresente o menor erro quadrático, ela ainda será relevante para a estimação da localização, ao contrário do que acontecia até o segundo experimento.

6.3 Terceiro Experimento

Para o terceiro experimento realizado, optou-se por realizar a coleta de dados novamente no piso superior do bloco B do prédio da Engenharia Elétrica, na Escola Politécnica, devido ao grande número de pontos de acesso Wi-Fi observáveis naquela área, que chegam a cerca de 80 no total, e às dimensões espaciais do local. Essas características permitem extrair das medições diferenças significativas entre as potências de sinal observadas em cada ponto, além de fornecer robustez ao sistema, devido ao grande número de valores que caracterizam cada ponto do espaço.

Porém, decidiu-se que a coleta de dados, no experimento atual, fosse realizada de maneira mais minuciosa, amostrando-se um número maior de coordenadas, de forma a se constituir uma grade de pontos ao longo dos corredores. A figura 6.9 representa a planta do bloco B com os pontos de coleta escolhidos. Os mesmos encontram-se espaçados com intervalo de 2 metros entre si.

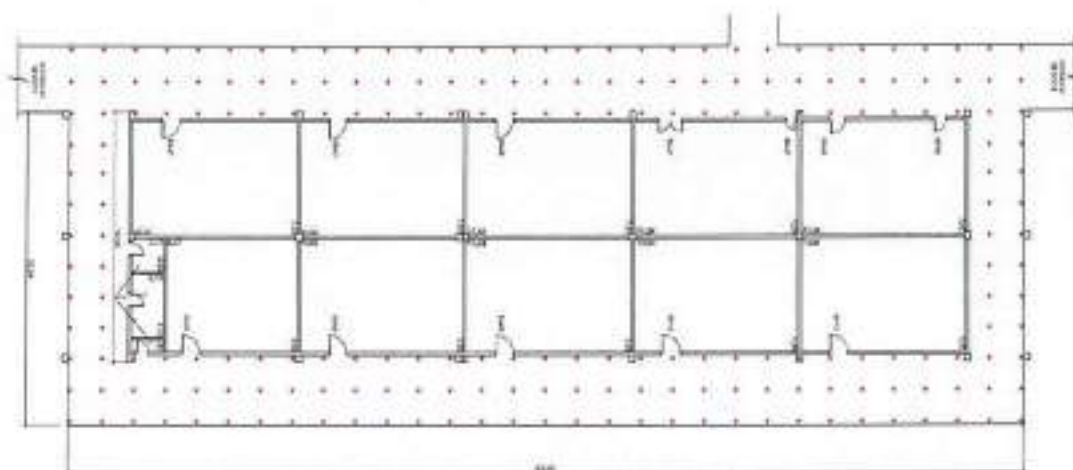


Figura 6.9 – Pontos de coleta de dados no terceiro experimento.

Além de tornar o sistema mais preciso, outra razão para a escolha dessa distribuição dos pontos de coleta está nos requisitos do novo algoritmo a ser testado, que exige uma grade de pontos e que será explicado mais adiante.

Neste experimento optou-se por desconsiderar o interior das salas de aula, devido ao grande esforço a ser dedicado no processo de coleta de dados e à menor relevância de tais locais para o propósito do sistema de localização. Uma vez no interior de uma sala de aula, o usuário não terá a necessidade de conhecer sua localização dentro da mesma. O sistema se faz realmente útil em ambientes de circulação geral, como é o caso dos corredores do prédio.

O sistema de coordenadas adotado, com os valores dados em metros, pode ser observado na figura 6.10 a seguir:

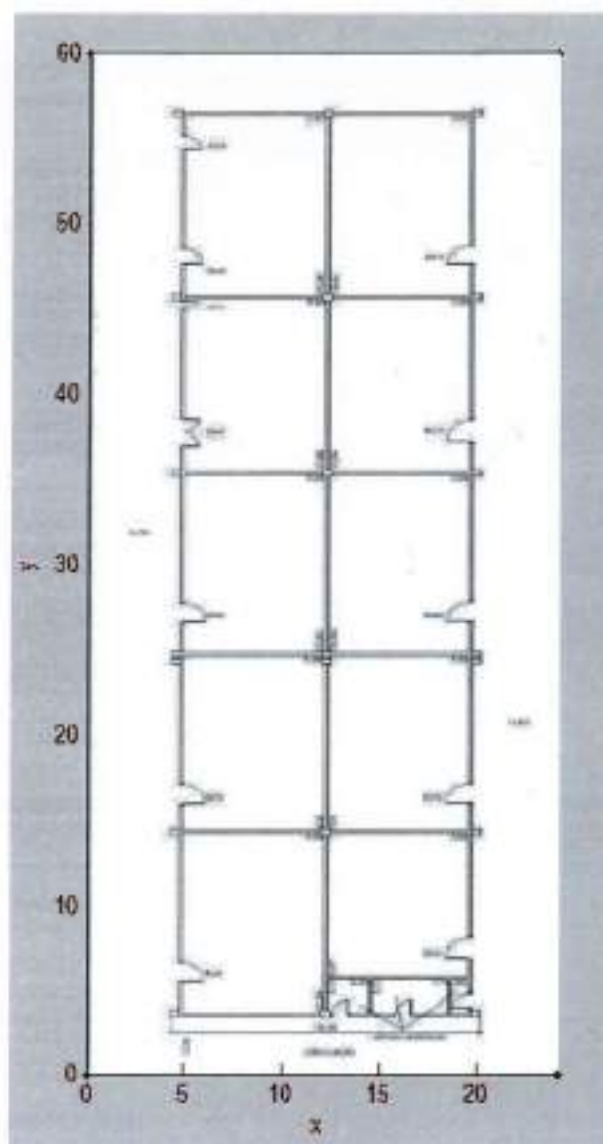


Figura 6.10 - Mapa com o sistema de coordenadas adotado.

Outra alteração em relação ao experimento anterior está nas direções em que foram tomadas as medições. Ao invés de oito, no presente caso foram tomadas apenas quatro direções (norte, sul, leste e oeste). Dessa forma pode-se cobrir satisfatoriamente o comportamento dos sinais em todas as direções possíveis, evitando dados redundantes e facilitando o processo de medições. Assim, o número de amostras em cada ponto foi reduzido de 80 para 40 amostras.

Assim sendo, as seguintes condições foram adotadas para a coleta de dados *offline*:

- **Equipamento utilizado:** Samsung Galaxy ACE PLUS S7500
- **Local de coleta de dados:** Piso superior do bloco B do prédio da Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- **Número de pontos de coleta:** 214
- **Número de amostras por ponto:** 40
- **Período de amostragem:** 500ms

Novamente, os dados obtidos foram armazenados em um banco de dados na memória do *smartphone*, no qual cada posição é associada a uma sequência de 40 amostras para cada ponto de acesso Wi-Fi observado. Esse banco de dados foi então exportado para o *software* MATLAB, a partir do qual os dados foram processados e testados pelo algoritmo de localização.

6.3.1 Algoritmo de Testes

O algoritmo de localização implementado nessa fase de testes trata-se de uma solução baseada em filtro de partículas. Podem-se separar as tarefas realizadas pelo programa entre as seguintes, executadas na ordem abaixo:

- 1) Cálculo dos valores médios de potência, em dBm, recebidos em cada posição, de cada um dos pontos de acesso.
- 2) Determinação dos pontos de acesso cujos sinais são mais fortes em média, em cada posição. Com isso, obtém-se um banco de dados processado, que contém uma quantidade muito menor de dados, porém apresenta as informações mais relevantes para a determinação da posição na fase *online*. A seguir inicia-se a determinação da localização em si, conforme as etapas seguintes.
- 3) Obtém-se uma única amostra de dados da fase *online* (apenas um valor medido para cada ponto de acesso).

- 4) Cria-se um conjunto de partículas, distribuídas aleatoriamente pelo ambiente, não necessariamente posicionadas sobre os pontos em que foram realizadas coletas de dados na fase *offline*.
- 5) Estimam-se os valores RSSI de todos os pontos de acesso sobre cada partícula, por meio da interpolação bilinear dos valores presentes no banco de dados.
- 6) Calcula-se o erro quadrático entre os valores RSSI estimados nas partículas e os valores obtidos na amostra *online*, na última iteração do algoritmo.
- 7) Esse erro quadrático é usado para se atribuir um peso a cada partícula, que definirá a probabilidade de que, na próxima iteração da reamostragem, seja posicionada uma partícula novamente sobre o mesmo ponto. Dessa forma, partículas cujos valores sejam mais parecidos com os observados na amostra *online* terão uma chance maior de aparecer novamente na mesma posição.
- 8) Inicia-se a etapa de reamostragem, na qual as partículas são redistribuídas sobre a área mapeada. Dessa vez, porém, elas não terão a mesma probabilidade de serem colocadas em todos os lugares. Essa probabilidade dependerá dos pesos calculados anteriormente. Com isso, algumas regiões do espaço tendem a concentrar uma quantidade maior de partículas.
- 9) Calcula-se a localização estimada do usuário, através da média entre as coordenadas de todas as partículas.
- 10) Inicia-se uma nova iteração do processo, coletando-se uma nova amostra *online* de dados.

6.3.2 Filtro de Partículas

O filtro de partículas, também conhecido como método sequencial de Monte Carlo, é um método numérico de estimação utilizado para solução de problemas não lineares e não Gaussianos. Nesse contexto, a filtragem consiste na estimação de um sinal desconhecido a partir de dados provenientes de

observações que são, por sua vez, uma função aleatória do sinal (PINTO, 2007).

O objetivo do filtro de partículas é estimar o valor posterior de uma variável de interesse, com o passar do tempo, tipicamente com uma distribuição de probabilidade não Gaussiana. Múltiplas cópias da variável de interesse, denominadas partículas, são usadas, cada uma associada a um peso que representa a qualidade de uma partícula específica (REKLEITIS, 2004). Uma estimativa da variável de interesse é obtida pela média ponderada de todas as partículas.

O algoritmo do filtro de partículas tem natureza recursiva e opera em duas fases: estimação e atualização. A cada iteração, toda partícula é modificada de acordo com o modelo empregado e o valor estimado é calculado. A seguir, os pesos das partículas são atualizados de acordo com a informação sensorial mais recente disponível. As partículas que apresentarem pesos muito pequenos, em comparação com as demais, serão eliminadas e outras serão acrescentadas, com valores mais prováveis da variável de interesse. Durante a modificação das partículas é somado a elas um ruído aleatório, para simular o efeito de ruído sobre a variável que se deseja determinar.

O uso de filtro de partículas aplicado ao problema de estimação da localização fornece uma solução robusta em face de ruídos nos sensores e alterações não controláveis no ambiente e nos parâmetros medidos. Neste caso, a variável de interesse é a posição de uma pessoa ou dispositivo em um ambiente, dada por um par de coordenadas. A informação sensorial do ambiente, conforme definido para o projeto, provém das potências observadas dos sinais de dispositivos Wi-Fi, as quais podem ser consideradas como funções aleatórias da posição.

A implementação do filtro de partículas seguiu a sequência apresentada na figura 6.11.

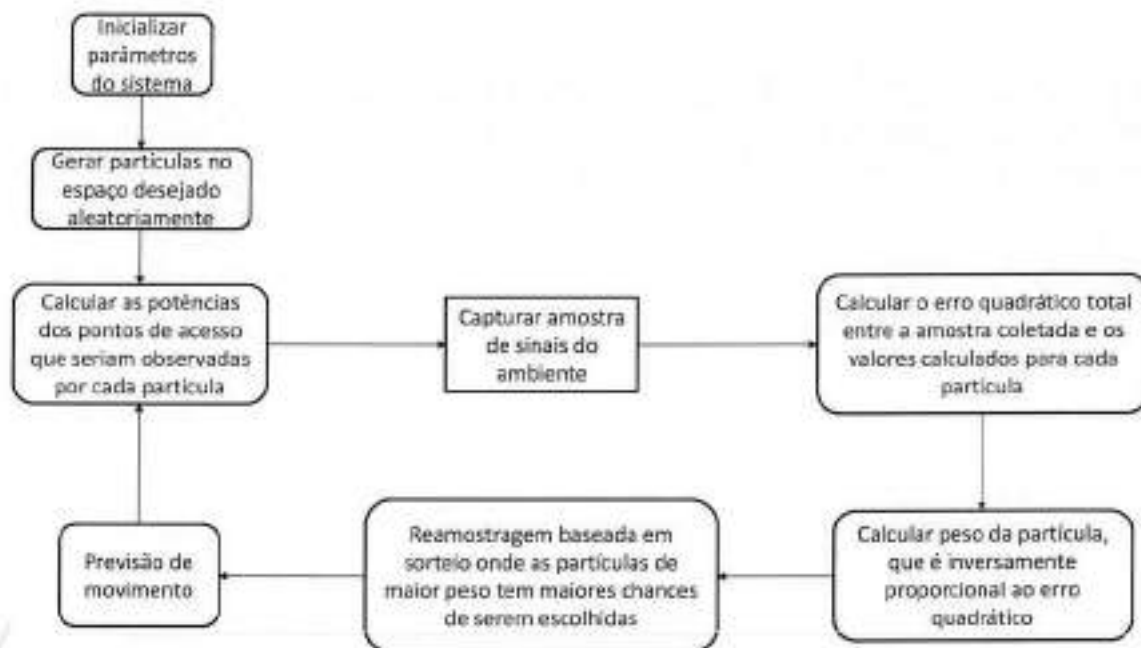


Figura 6.11: Fluxograma do algoritmo do filtro de partículas.

6.3.3 Parâmetros Ajustáveis

No decorrer das iterações, as partículas tendem a ficar cada vez mais concentradas ao redor da localização estimada, até atingir um valor mínimo de erro. A proximidade dessas partículas com o ponto verdadeiro em que foi tomada a amostra *online* depende do ajuste de certos parâmetros do algoritmo e da rapidez com que as iterações são realizadas em relação à velocidade de deslocamento do usuário.

O principal parâmetro a se ajustar é o valor máximo do ruído atribuído ao posicionamento das partículas. Para evitar que haja partículas sobrepostas, e que elas continuem ocupando exatamente o mesmo lugar nas próximas iterações, atribuí-se um ruído aleatório às suas coordenadas no momento da reamostragem. Dessa forma, elas tenderão a ser posicionadas em um local próximo de uma partícula que, na iteração anterior, obteve um erro quadrático pequeno, porém não exatamente no mesmo ponto.

Outro fator que apresenta grande influência sobre os resultados obtidos está relacionado à velocidade de deslocamento do usuário. Nesta etapa de testes, este parâmetro não pode ser ajustado diretamente, pois as amostras *online* não são coletadas em tempo real. Dessa forma, foi montada no MATLAB uma tabela contendo uma sequência de amostras, coletadas previamente, para simular as medições em tempo real da etapa *online*. Para simular o efeito da velocidade de deslocamento do usuário, foram dispostas na tabela sequências de amostras coletadas em um mesmo ponto, representando uma situação em que o sistema faz certo número de iterações de amostragem e estimativas de posição antes que o usuário percorra uma distância significativa. Assim, o parâmetro controlável durante os testes é o número de amostras *online* por ponto do espaço.

6.3.4 Análise dos Resultados

Os testes foram realizados inicialmente com o ruído igual a 1 e considerando-se duas amostras *online* por ponto. Foram observados os resultados apresentados nos gráficos abaixo, correspondentes às figuras 6.11 a 6.13, que representam a área mapeada com a distribuição das partículas. O círculo representa a localização real do usuário e o losango é localização estimada pelo algoritmo.

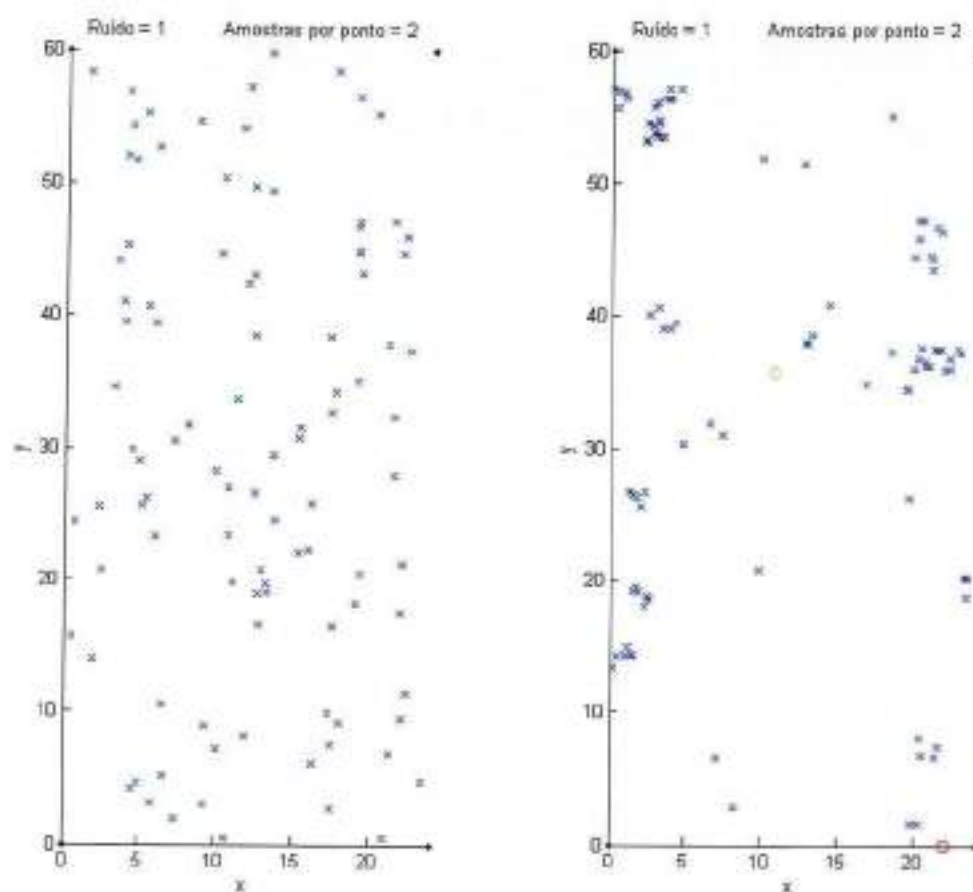


Figura 6.12 - Distribuição das partículas ao início da execução e após uma iteração.

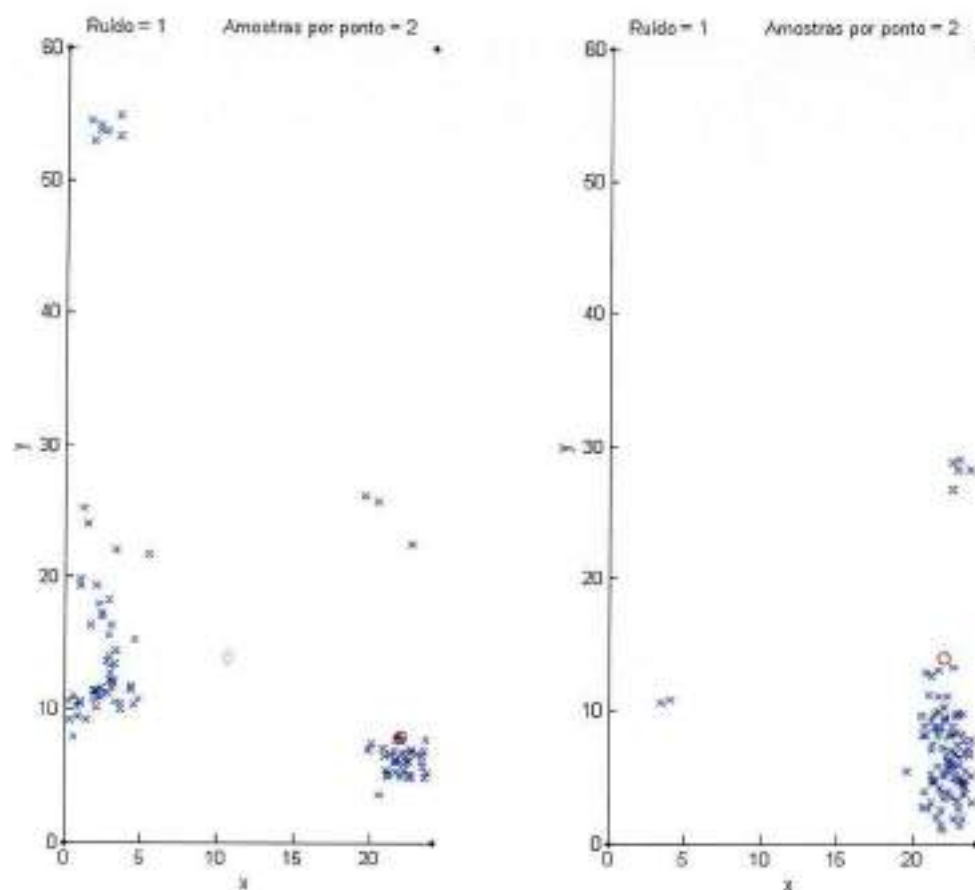


Figura 6.13 - Distribuição das partículas após 10 e 15 iterações.

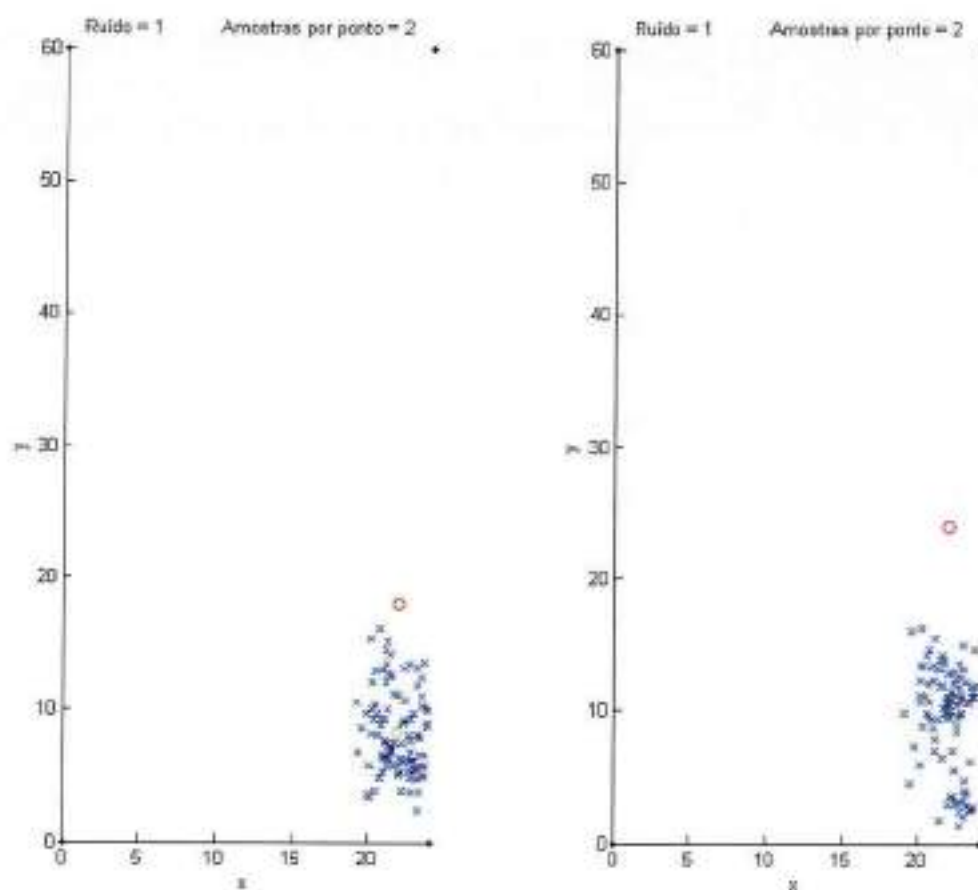


Figura 6.14 - Distribuição das partículas após 20 e 25 iterações.

A evolução do erro de estimação no decorrer das iterações do algoritmo pode ser observada no gráfico da figura 6.14.



Figura 6.15 - Evolução do erro de estimação com Ruído = 1 e duas amostras por ponto.

Pode-se observar que o erro de estimação diminui rapidamente no início da execução do programa, até atingir um valor mínimo de cerca de 5 metros por volta da 13ª iteração do algoritmo. Esse é o período em que as partículas passam de uma distribuição totalmente aleatória, no início do programa, para um aglomerado limitado à região do espaço em que o usuário se encontra. Porém, após essa fase, devido à alta velocidade atribuída ao usuário neste teste, o aglomerado de partículas não consegue acompanhar o seu deslocamento e fica defasado em relação à sua posição real. O erro resultante, portanto, aumenta continuamente.

Em vista dos problemas observados, realizou-se um novo teste, dessa vez considerando oito amostras *online* em cada ponto, ao invés de duas. Isso corresponde a uma velocidade de deslocamento do usuário quatro vezes

menor. A evolução do erro de estimação ao longo de uma sequência de iterações pode ser visualizada na figura 6.15.



Figura 6.16 - Evolução do erro de estimação com ruído = 1 e oito amostras por ponto.

Pode-se verificar que o resultado obtido nessas condições é muito melhor do que o observado no caso anterior. Após as 15 iterações iniciais, o erro de estimação converge para valores menores do que os alcançados anteriormente, ficando abaixo de 1 metro em várias ocasiões e com valor médio de aproximadamente 2 metros. Além disso, a posição estimada pelo algoritmo consegue acompanhar o deslocamento do usuário sem se defasar.

Porém, na configuração atual do algoritmo ainda verificou-se a existência de um problema. Em alguns casos, as partículas formam aglomerados em regiões distantes da posição real do usuário, o que leva o erro a tornar-se progressivamente maior com o passar das iterações. Após cerca de 20 iterações, a estimação normalmente se corrige, assumindo erros da ordem de 4 metros ou menos. Entretanto, observaram-se casos em que o resultado estimado ficou preso em uma região distante do espaço indefinidamente, anulando a validade da informação fornecida.

Tal problema está relacionado ao valor do ruído atribuído ao posicionamento das partículas. Constatou-se, por meio dos testes, que o mesmo tem influência direta no nível de liberdade do posicionamento das partículas. Se o seu valor for muito pequeno, as partículas ficarão mais presas às posições estimadas inicialmente e não conseguirão corrigir eventuais erros de valor elevado. Caso o ruído seja muito grande, por outro lado, a incerteza da estimativa será mais elevada, pois as partículas tenderão a ficar mais dispersas, não se concentrando muito em torno de um ponto específico. Porém, sua mobilidade será maior, sendo necessário um número menor de iterações para que se obtenha uma estimativa válida da localização. Deve-se, portanto, estabelecer um compromisso entre confiabilidade e rapidez da estimativa, buscando-se um valor de ruído que atenda satisfatoriamente a um equilíbrio entre as duas condições.

Após diversos testes realizados com diferentes valores de ruído, estabeleceu-se que o seu valor ótimo é igual a 3,0. Com essa configuração, foram obtidos os resultados representados nos gráficos abaixo:

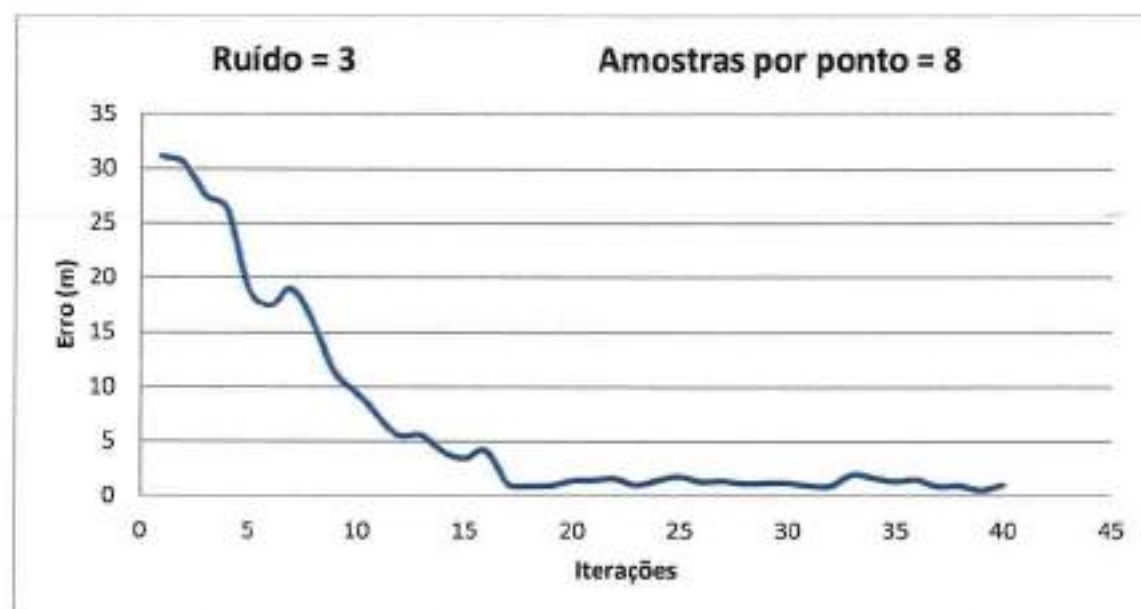


Figura 6.17 - Evolução do erro de estimativa com ruído = 3 e oito amostras por ponto.

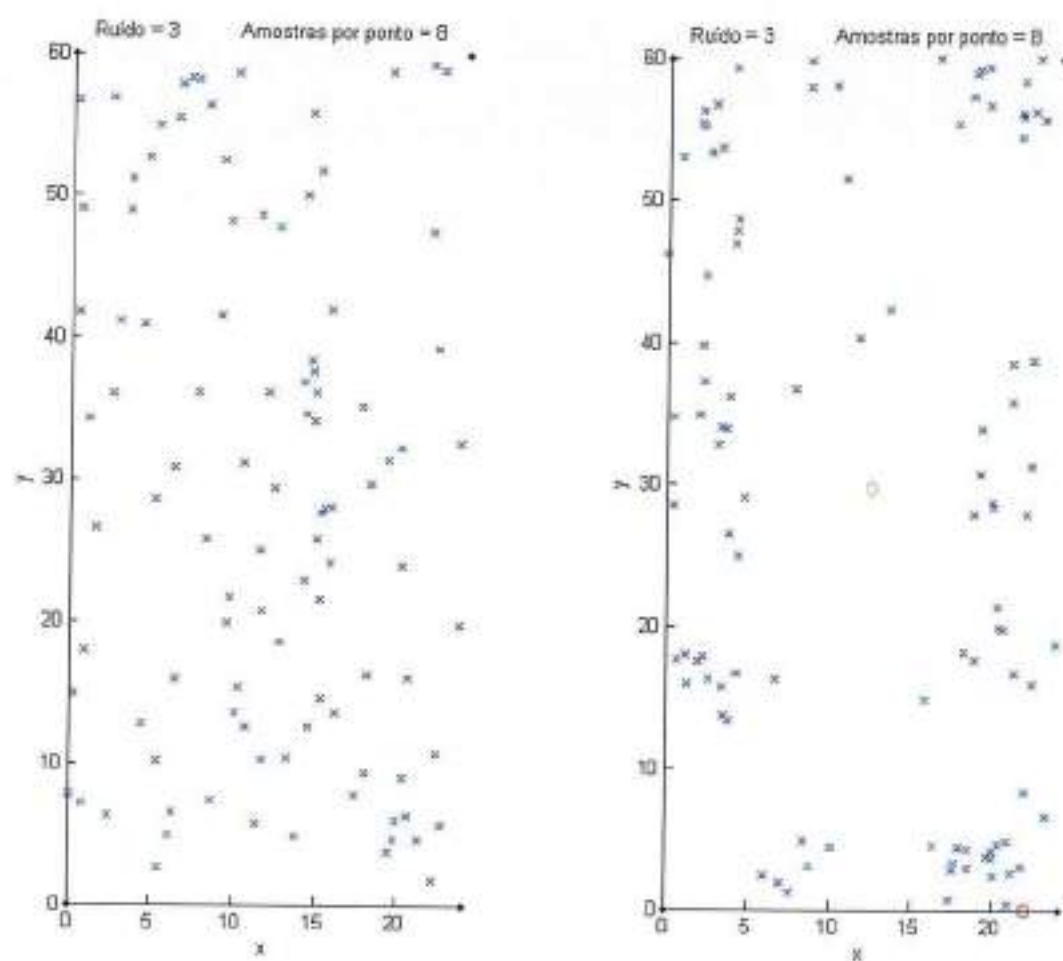


Figura 6.18 - Distribuição das partículas ao início da execução e após uma iteração.

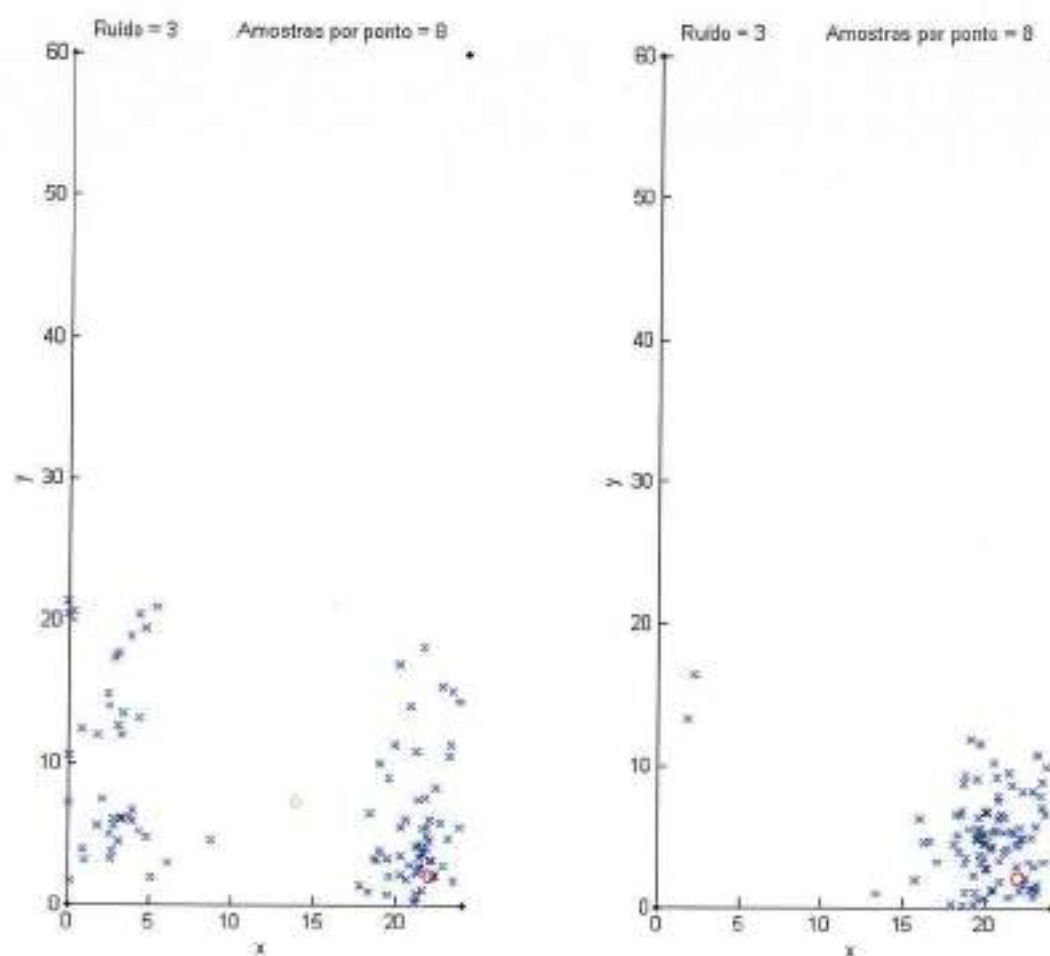


Figura 6.19 - Distribuição das partículas após 10 e 15 iterações.

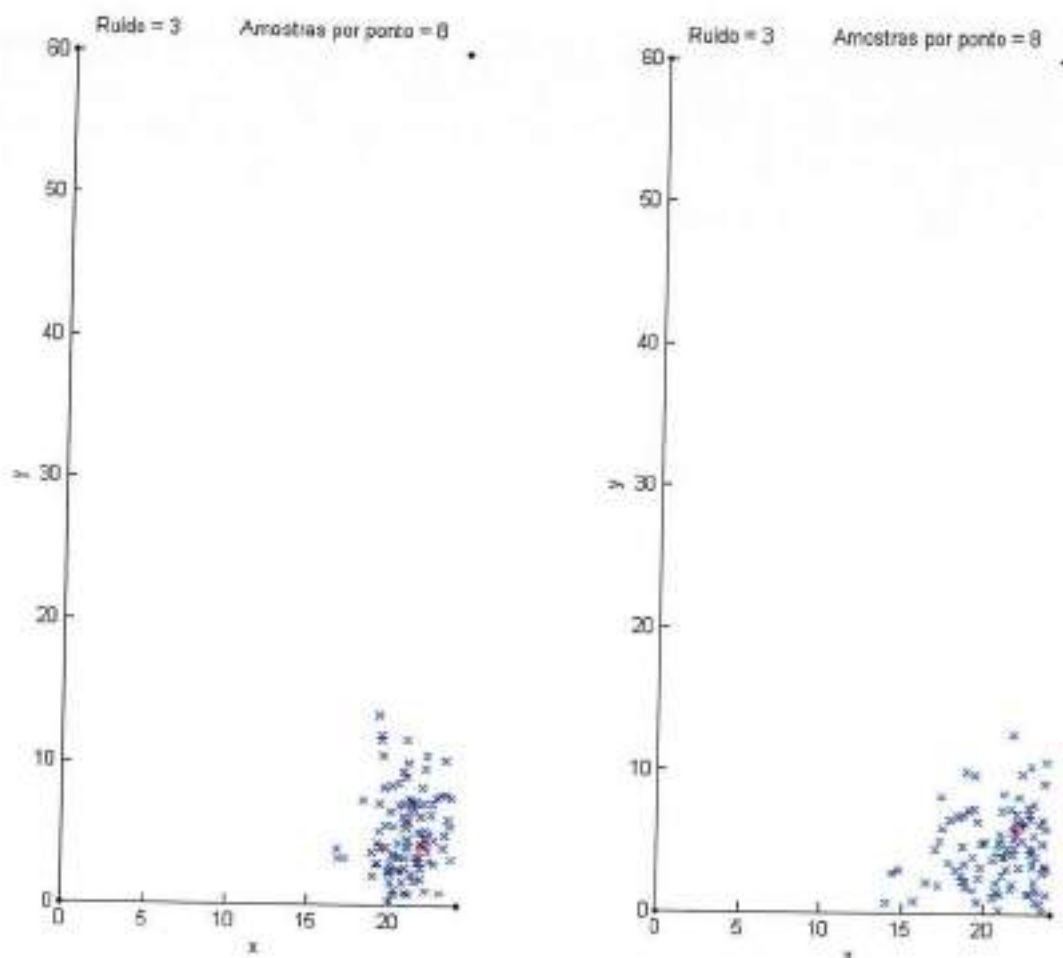


Figura 6.20 - Distribuição das partículas após 20 e 25 iterações.

O ajuste dos parâmetros de ruído e número de amostras por ponto permitiu encontrar a configuração ideal do algoritmo para o caso específico considerado. Pode-se observar que, nessa configuração, o programa leva entre 15 e 20 iterações para que o seu erro de estimação convirja para valores relativamente baixos, um número maior em comparação com o experimento anterior. Porém, após essa fase inicial, a estabilidade do erro é maior, com um valor médio de aproximadamente 2 metros. Além disso, nesse experimento o algoritmo demonstra uma maior confiabilidade, apresentando comportamento similar em todos os testes realizados, diferentemente do que havia sido observado anteriormente.

6.3.5 Conclusões do Experimento

Após análise dos resultados globais dos experimentos realizados, pôde-se concluir que a melhor solução para o sistema de localização proposto é alcançada por meio de um algoritmo que faça uso do filtro de partículas, conforme verificado no terceiro experimento. Este método é o mais adequado para lidar com a natureza ruidosa de uma distribuição de sinais Wi-Fi. Apresenta uma elevada robustez, conforme observado durante os testes realizados, sendo capaz de obter estimativas da localização do usuário com erros progressivamente menores, mesmo iniciando com valores elevados de erro.

A única limitação do sistema é referente à velocidade de deslocamento do usuário, que não pode ser muito alta em relação à taxa de amostragem durante a utilização do sistema. Pode-se, a partir daí, estabelecer a taxa mínima com que o algoritmo final, implementado em um dispositivo móvel, deve realizar as iterações de cálculo e amostragem dos sinais. Considerando-se que o usuário caminhe a uma velocidade de até 1 m/s, e sabendo-se que o sistema funciona adequadamente com uma taxa de 8 amostras tomadas a cada dois metros, ou seja, 4 amostras/m, pode-se concluir que o algoritmo final deve realizar pelo menos 4 iterações por segundo para apresentar resultados similares aos verificados nos experimentos.

7 APLICATIVO FINAL DE LOCALIZAÇÃO

Os resultados da etapa de testes conduziram à escolha do uso do filtro de partículas para o algoritmo de localização. Por isso, iniciou-se a etapa de elaboração do código do aplicativo final de localização, em linguagem Java.

O programa foi implementado no IDE MOTODEV Studio, a partir do *script* criado no MATLAB para a etapa experimental. O aplicativo, denominado *SLIT Locator*, foi elaborado para ter **compatibilidade com dispositivos móveis que possuam o sistema operacional Android na versão 2.3 ou superior**. Apesar das alterações realizadas para adaptar o algoritmo utilizado nas simulações à linguagem Java, a lógica dos cálculos de posicionamento permaneceu inalterada.

7.1 Interface gráfica

A interface gráfica, mostrada na figura 7.1, permite visualizar o mapa do ambiente com um indicador da posição do usuário.

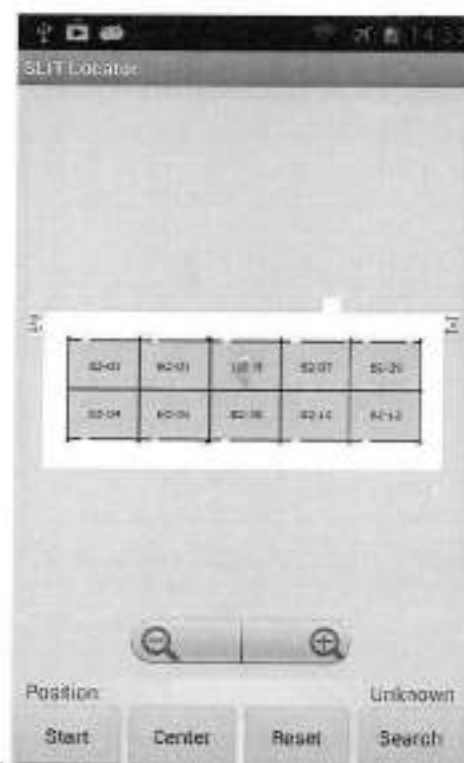


Figura 7.1 – Programa *SLIT Locator* – interface do aplicativo.

O mapa pode ser observado em três níveis de *zoom* diferentes. As figuras 7.1 e 7.2 mostram a aparência da interface criada para a visualização da posição.

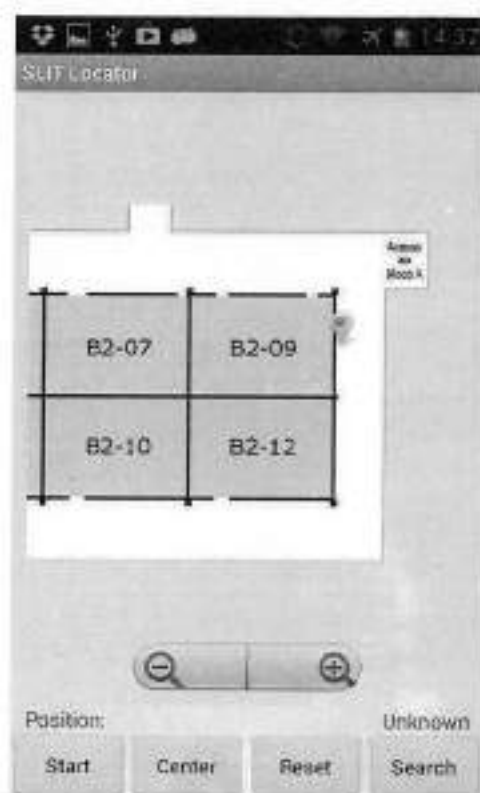


Figura 7.2 – Programa SLIT Locator – mapa com *zoom*

- **Botão Start:** inicia as iterações do cálculo de localização com o filtro de partículas.
- **Botão Center:** centraliza a posição do usuário na imagem exibida na tela.
- **Botão Reset:** interrompe a execução do algoritmo de localização.
- **Botão Search:** permite escolher um determinado ponto de interesse existente no ambiente mapeado a partir de uma lista. A localização desse ponto de interesse é então apresentada ao usuário como um ícone em forma de bandeira sobre o mapa. No caso do ambiente para o qual o sistema foi implementado, que corresponde ao piso superior do bloco B do prédio da Engenharia Elétrica, na Escola Politécnica, os pontos de interesse fornecidos

como opções são as salas de aula existentes no local. A figura 7.3 apresenta o menu a partir do qual pode-se escolher o ponto de interesse desejado.



Figura 7.3 – Programa SLIT *Locator* – Menu de escolha dos pontos de interesse

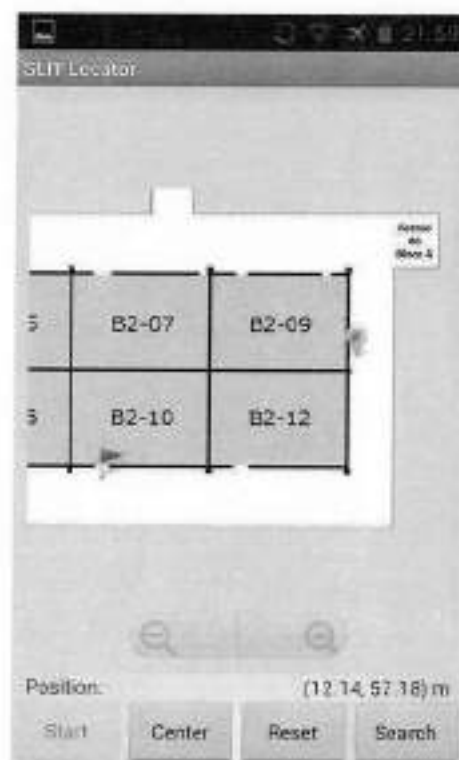


Figura 7.4 – Programa *SLIT Locator* – Exibição do ponto de interesse no mapa.

7.2 Menu de opções

De forma a se poder testar o aplicativo final em várias configurações diferentes de seus parâmetros e, dessa forma, ter a possibilidade de se avaliar em qual configuração é alcançada a melhor condição de funcionamento, foi criado um menu de opções no qual pode-se atribuir valores aos parâmetros ajustáveis do sistema. A figura 7.5 apresenta o menu que permite ao usuário definir os valores desses parâmetros.

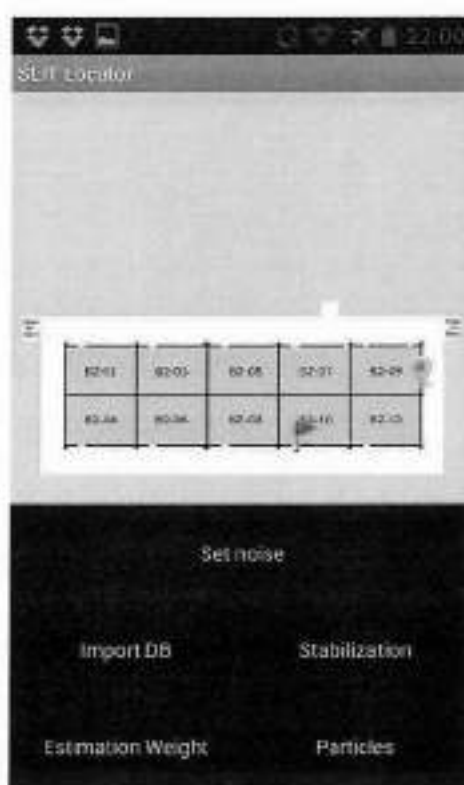


Figura 7.5 – Programa *SLIT Locator* – Menu de ajuste de parâmetros

7.2.1 Opção *Set noise*

A opção *Set noise* altera o valor do desvio padrão do ruído aleatório mencionado em 6.3.3.

7.2.2 Opção *Import DB*

Importa o banco de dados que será utilizado para o cálculo de posicionamento na fase online através do filtro de partículas.

7.2.3 *Estimation Weight*

A opção *Estimation Weight* corresponde ao peso de estimação, que define o grau de importância que uma estimativa anterior tem sobre a próxima estimativa da localização.

7.2.4 *Stabilization*

Seja (x_i, y_i) uma posição obtida durante a fase online e (x_k, y_k) as posições obtidas posteriormente ao longo do tempo. A opção *Stabilization* especifica a distância mínima que as medidas posteriores (x_k, y_k) devem ter em relação à anterior para que a posição do cursor seja atualizada. Este parâmetro foi criado para que o indicador de posição sobre o mapa não seja reposicionado a cada iteração, diminuindo o esforço computacional e evitando que o indicador oscile continuamente ao redor de um mesmo ponto.

7.2.5 *Particles*

A opção *Particles* permite alterar o número de partículas a serem aplicadas ao filtro. Caso esse número seja muito grande, o sistema tenderá a ter maior precisão, mas sua execução será mais lenta, uma vez que o número de cálculos realizados a cada iteração irá aumentar.

8 GERENCIAMENTO DE PROJETO

8.1 Análise SWOT

A análise SWOT é uma ferramenta utilizada para realizar a análise de cenário ou de ambiente. É usada como a base para a gestão e para o planejamento estratégico de pequenos e de grandes projetos. O termo SWOT é um acrônimo de Forças (*Strengths*), Fraquezas (*Weaknesses*), Oportunidades (*Opportunities*) e Ameaças (*Threats*).

8.1.1 Pontos fortes

Entre os pontos fortes do projeto merecem destaque:

- 1) **Visibilidade:** Na condição de produto, o projeto proporcionará ao usuário uma aplicação de navegação *indoor* com interface prática e atraente que irá fornecer-lhe tanto a sua localização estática quando dinâmica ao longo do ambiente em que ele e os seu dispositivo móvel estiverem inseridos. A precisão para as operações realizadas será de até 10 metros.
- 2) **Facilidade:** O sistema permitirá que as pessoas tenham um conforto maior ao se movimentarem por ambientes fechados, como *shoppings centers*, supermercados e hospitais. Nestes locais elas terão a sua disposição um aplicativo que, a partir de um só clique, será capaz de fornecer-lhes tanto a sua própria localização como a posição de locais de seus interesses.
- 3) **Baixo custo:** O sistema de localização desenvolvido faz uso da infraestrutura já existente no local. No caso, dos pontos de acesso Wi-Fi, os quais estão amplamente presentes nos mais diversos ambientes, seja para acesso às redes locais ou à Internet. Assim,

garantida a existência de uma infraestrutura de pontos de acesso Wi-Fi em um determinado local e após realização de um treinamento adequado o sistema terá o seu funcionamento garantido e o usuário só necessitará de um dispositivo eletrônico do tipo *smartphone* ou *tablet* para utilizá-lo.

- 4) **Padrão bem definido:** O sistema de localização desenvolvido utiliza as normas convencionadas pela série de padrões 802.11 do IEEE, permitindo o seu uso por qualquer dispositivo que possua uma antena capaz de captar os sinais provenientes dos roteadores para o qual o sistema tenha sido treinado.
- 5) **Rede multiuso:** A rede poderá ser utilizada tanto para o propósito de localização como para a transmissão de dados, sendo as atividades independentes. Para a localização, é suficiente que os pontos de acesso estejam presentes, emitindo sinais que possam ser detectados pelos dispositivos móveis onde o aplicativo estiver instalado, não sendo necessária uma conexão com a Internet. Para a transmissão de dados, bastaria que os administradores das redes fornecessem o acesso às mesmas.
- 6) **Localização sem tags adicionais:** O sistema permite estimar localizações utilizando dispositivos eletrônicos de uso diário, como *smartphones*, *tablets* e *notebooks*, sem que se usem *tags* auxiliares. Assim, adiciona de forma elegante mais uma funcionalidade aos aparelhos eletrônicos móveis de uso pessoal.
- 7) **Fácil adaptação entre ambientes:** O sistema de localização em tempo real poderá ser implantado em qualquer ambiente para o qual exista uma infraestrutura de pontos de acesso Wi-Fi, bastando apenas que seja realizado, previamente à utilização do sistema, um treinamento adequado no local, com a coleta de sinais de intensidade de potência de sinal em diversos pontos.

8) Imunidade a quedas de pontos de acesso: Por ser usado em um ambiente que contém várias redes locais sem fio diferentes sobre as quais não se tem controle e que podem sofrer quedas de forma aleatória, o sistema sempre analisa o posicionamento do usuário levando em consideração os pontos de acesso encontrados na etapa *online* que também tenham sido encontrados na etapa *offline*. Assim, em caso de quedas de sinal de algum ponto de acesso, o sistema ainda contará com os demais pontos para que a localização possa ser estimada.

8.1.2 Fraquezas

Entre os pontos fracos do sistema merecem destaque:

- 1) Longa etapa de treinamento:** A precisão do sistema depende diretamente do número de amostras coletadas ao longo da etapa *offline* para diversas posições diferentes ao longo do ambiente. Assim, para um funcionamento confiável, faz-se necessário um treinamento exaustivo, o que muitas vezes torna o processo custoso e demorado.
- 2) Frequência de operação:** Vários outros dispositivos eletrônicos emitem sinais na frequência de 2.4 GHz, em que também operam os pontos de acesso Wi-Fi, como links de micro-ondas, aparelhos com Bluetooth, Zigbee e WiMAX, os quais podem causar interferências sobre as medições realizadas durante a fase *online*.
- 3) Ambientes dinâmicos:** Obstáculos, abertura e fechamentos de portas e a movimentação de pessoas e de móveis podem interferir sobre a potência recebida de cada um dos pontos de acesso Wi-Fi para qualquer localização.

4) Fenômenos físicos no sinal: O sinal pode sofrer vários fenômenos físicos, como reflexão, refração, espalhamento ou difração, os quais podem causar interferências nos sinais medidos, aumentando o erro existente entre as medições da fase *offline* e da fase *online*. Estes efeitos são ilustrados pela figuras 7.1 e 7.2.

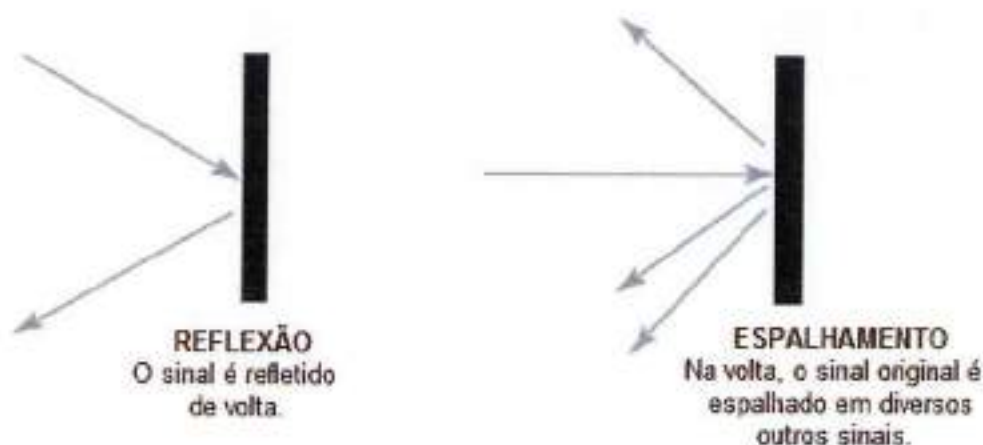


Figura 8.1 - Interferências físicas no sinal captado.



Figura 8.2 - Interferências físicas no sinal captado.

8.1.3 Oportunidades

- 1) **Mercado inexplorado:** Sistemas de posicionamento *indoor* ainda estão sendo desenvolvidos. Assim, na condição de produto, o projeto poderá disputar uma fatia significativa de um mercado que ainda se encontra inexplorado, por ainda não haver um sistema de localização *indoor* devidamente consolidado.
- 2) **Generalidade:** O sistema de localização é aplicável a todos os lugares dotados de uma infraestrutura composta por pontos de acesso Wi-Fi. Isto permitiria a criação de uma parceria com locais interessados no aprimoramento da experiência de seus consumidores: as empresas seriam incumbidas de disponibilizar uma infraestrutura Wi-Fi que cobriria os locais de acesso dos clientes; o aplicativo, por sua vez, poderia ser instalado gratuitamente e divulgar propagandas para os seus usuários.
- 3) **Utilização em grandes eventos:** O sistema pode ser usado para proporcionar um conforto maior para as pessoas presentes em eventos realizados em locais de grandes dimensões, possibilitando a criação de mais uma forma de interação entre elas e o ambiente. Para a Copa do Mundo FIFA de Futebol, que será realizada no Brasil em 2014, os turistas que estivessem se deslocando pelo país poderiam se beneficiar do uso do aplicativo para que se localizassem, por exemplo, em *shoppings centers*, supermercados e outros locais para os quais o sistema tivesse sido devidamente treinado.
- 4) **Produto Inovador:** Informações específicas em ambientes extensos e fechados podem ser de grande valia para usuários, os quais podem vir a se interessar por usar o sistema, motivados pela possibilidade de tomar suas próximas decisões a partir das informações transmitidas a eles pelo aplicativo. A figura 10 mostra a porcentagem de usuários que já tomaram uma decisão a partir

de uma mensagem específica à sua localização. A figura 7.3 mostra como as informações referentes à localização influenciam o comportamento do usuário.



Source: JWire, Q4 2011

Figura 8.3 - Porcentagem de consumidores que agiram em resposta a uma mensagem baseada em localização. (Fonte: JWire, Q4 2011).

Behavior by Mobile Device Type				
	iPhone	Android	Blackberry	Non-Smartphone
Clicked on an ad	34%	32%	32%	25%
Searched for the nearest location	17%	25%	17%	15%
Researched the product	22%	24%	20%	13%
Visited the website	20%	23%	19%	14%
Visited the store	18%	22%	18%	15%
Made a purchase	19%	19%	21%	18%

Source: JWire, Q4 2011

Figura 8.4 - Comportamento de usuários que tomaram alguma ação em resposta a uma mensagem baseada em localização. (Fonte: JWire, Q4 2011).

8.1.4 Ameaças

- 1) **Disputa de mercado:** Existem concorrentes líderes no segmento de tecnologia que já desenvolveram sistemas parecidos e que estão continuamente aprimorando-os, como é o caso de companhias como o Google e a Apple. Além disso, em 23 de Agosto de 2012 foi lançada a *In-Location Alliance*, formada por 22 companhias, entre as quais estão Broadcom, Nokia, Samsung e Sony, com o objetivo de consolidar um sistema de localização preciso e pioneiro para ambientes fechados, capaz de melhorar as experiências dos consumidores nos locais por eles frequentados.
- 2) **Queda total dos pontos de acesso Wi-Fi:** o sistema é completamente dependente dos sinais externos Wi-Fi que recebe. Apesar de imune à queda de um número limitado de pontos de acesso, é preciso que o dispositivo utilizado capte ainda uma quantidade mínima de pontos de acesso para continuar funcionando adequadamente. É desejável que essa quantidade seja a maior possível, para se garantir uma precisão apreciável na estimação da localização do usuário.
- 3) **Segurança:** Diversos tipos de ataques, provenientes de pessoas mal intencionadas, podem ser feitos à rede Wi-Fi utilizada para localização. Esses ataques podem, por exemplo, sobrecarregar o sistema ou pará-lo completamente.
- 4) **Possibilidade de sobrecarga do *middleware*:** uma sobrecarga do *middleware* pode prejudicar o funcionamento correto do aplicativo e impedir que o usuário obtenha o seu posicionamento. Uma forma dessa ameaça, que já foi corrigida, consistia no travamento do aplicativo quando a exibição na tela do celular era rotacionada de 90 graus devido a um giro do dispositivo.

8.2 Análise de Riscos

Para realizar a análise de riscos, é preciso qualificá-los e quantificá-los.

8.2.1 Probabilidade

A probabilidade de ocorrência do risco pode ser obtida através da avaliação de dados históricos ou pode ser simulada e estimada. Desta forma, a probabilidade pode ser classificada em:

- **Baixa:** risco pequeno ou imperceptível (abaixo de 20%);
- **Média:** risco moderado (entre 20 e 60%);
- **Alta:** o risco é iminente (acima de 60%).

8.2.2 Impacto

O impacto pode ser classificado de acordo com a gravidade.

- **Baixo:** o impacto do evento é irrelevante para o projeto e pode ser facilmente resolvido.
- **Médio:** o impacto do evento é relevante para o projeto e necessita de um gerenciamento mais preciso. Pode prejudicar o resultado do projeto.
- **Alto:** o impacto é extremamente elevado e, caso não haja a interferência imediata da equipe do projeto, os resultados serão comprometidos.

8.2.3 Matriz de probabilidades

Por meio da matriz de probabilidades de ocorrência e impacto, serão priorizados os riscos que causarão o maior impacto ao projeto. A classificação dos riscos terá como base a matriz abaixo:

Tabela 8.1 - Matriz de Probabilidades

		Probabilidade		
		Alta	Média	Baixa
Impacto	Alto	Alto	Alto	Médio
	Médio	Alto	Médio	Baixo
	Baixo	Médio	Baixo	Baixo

Na tabela 7.2 são citadas as principais ameaças ao sistema e são quantificados os riscos de ocorrência das mesmas.

Tabela 8.2 –Análise de riscos a partir das ameaças ao sistema.

Ativos	Ameaças	Impacto	Probabilidade	Risco
Middleware	Uma sobrecarga sobre o aparelho pode impedir que o aplicativo funcione de forma adequada, impossibilitando ao usuário a obtenção de seu posicionamento.	Alto	Baixo	Médio
Middleware	Sinais espúrios serão passados ao <i>middleware</i> , os quais irão influenciar diretamente a precisão do algoritmo de localização.	Alto	Baixa	Médio
Rede do sistema	Pessoas não autorizadas podem acessar o sistema de localização de tempo real, degradando-o e corrompendo os bancos de dados ou então impedir que o sistema produza	Alto	Alta	Alto

	os resultados corretos.			
Degradação física dos sensores de localização	Os sensores estarão expostos a várias formas de degradação física e química e podem ter seu sinal inibido por superfícies metálicas.	Alto	Baixo	Médio
Rede Elétrica	Em caso de quedas de energia elétrica, o sistema pode ser impedido de funcionar ou ser danificado.	Alto	Média	Médio

8.2.4 Medidas a serem adotadas

Entre as medidas a serem adotadas para conter as ameaças estão:

- Garantir que o *middleware* suportará os requisitos necessários ao combate da sobrecarga.
- Filtrar os sinais espúrios.
- Blindar o sistema contra possíveis ataques, a partir do mapeamento de suas vulnerabilidades.
- Analisar, ao longo do tempo, a situação da rede Wi-Fi.
- Garantir que o sistema continue a funcionar, mesmo que a rede elétrica caia a partir do uso de geradores de emergência.

8.3 Retornos

Através da realização desse projeto, o que se espera é que, inicialmente, os retornos se deem para os ambientes e estabelecimentos em que o sistema será instalado, para os fabricantes de *smartphones* e *tablets* e para a sociedade em geral, que contará com um sistema gratuito, idealizado para proporcionar-lhes uma facilidade da qual até então não dispunham. Futuramente, o sistema poderá servir como suporte para novas aplicações a serem desenvolvidas, envolvendo, por exemplo, integração junto às redes

sociais. Assim, quanto aos detentores dos direitos sobre o produto (no caso, a equipe), seu retorno ocorrerá mais tardiamente, a partir de ganhos substanciais em *marketing*, através da divulgação de produtos e serviços, assim como a indicação da sua localidade.

9 CONCLUSÃO

O trabalho apresentado descreve o desenvolvimento de um aplicativo de localização para ambientes internos. São apresentadas as tecnologias utilizadas, os métodos testados para a determinação da localização, as metodologias para simulações e experimentos e os resultados alcançados. A seguir, são descritas as características finais do sistema, os resultados, proposições para trabalhos futuros e as considerações finais.

9.1 Características finais do Sistema

O projeto é voltado à auto-localização em tempo real do usuário em locais previamente mapeados. O sistema foi desenvolvido na forma de um aplicativo para dispositivos móveis, tais como *smartphones* e *tablets*, providos do sistema operacional Android.

As informações recebidas do ambiente para a estimação da localização correspondem às potências de sinais de redes locais sem fio Wi-Fi. A escolha deste parâmetro foi feita com o intuito de se explorar uma tecnologia presente e em constante expansão na infraestrutura de locais fechados. Desta forma, elimina-se a necessidade de se adicionar novos componentes e reduzem-se os custos de implantação do sistema.

9.2 Resultados alcançados

A partir da realização de testes e simulações, em conjunto com o estudo de trabalhos encontrados na literatura, concluiu-se que a melhor abordagem para o problema seria realizar a estimação do posicionamento de forma probabilística. Assim, optou-se pela utilização de um algoritmo baseado em filtro de partículas como método de estimação. Outro fator que motivou essa escolha foi o fato de que este método leva em consideração a dependência

entre estimativas consecutivas de localização, o que torna o erro de estimação progressivamente menor ao longo das iterações.

A configuração final do algoritmo, obtida após testes e simulações, apresentou um desempenho acima do esperado, com um erro de estimação convergindo para valores abaixo de 2 metros. Mostra-se também como um método robusto e confiável, sendo capaz de lidar satisfatoriamente com a natureza aleatória dos sinais medidos, ruídos provocados por fatores ambientais e eventuais falhas de pontos de acesso Wi-Fi.

9.3 Trabalhos futuros

Trabalhos futuros poderão utilizar a eficácia da localização estática fornecida pelo projeto desenvolvido e realizar uma melhor estimação dinâmica da localização, considerando o movimento do usuário. Isso pode ser alcançado através do uso de outros componentes integrados dos dispositivos móveis, como acelerômetros, giroscópios, sensores de pressão e magnetômetros.

A abordagem dinâmica pode ser feita utilizando-se um modelo para a descrição precisa dos movimentos do usuário ao longo do ambiente e uma técnica diferente para lidar com os sinais obtidos dos dispositivos, como o filtro de Kalman ou o filtro de Kalman estendido.

9.4 Considerações finais

O trabalho apresenta o desenvolvimento e os resultados alcançados pelo projeto SLIT. É apresentada uma série de experimentos, testes e simulações, a partir dos quais se pôde comprovar a eficácia e a confiabilidade do sistema. Verificou-se a capacidade do filtro de partículas para lidar de forma satisfatória com sinais variáveis em um ambiente não controlável, a partir de um tratamento probabilístico e de um processo iterativo.

REFERÊNCIAS

ALTINI, M.; BRUNELLI, D.; FARELLA, E.; BENINI, L. Bluetooth *indoor* localization with multiple neural networks. In: **Proceedings** of the 5th IEEE international conference on *Wireless pervasive computing*, ISWPC'10, p. 295-300. IEEE Press, 2010.

BHATTACHARYYA, A. On a measure of divergence between two statistical populations defined by their probability distributions. **Bulletin of the Calcutta Mathematical Society**, v. 35: p. 99-109, 1943.

HALLIDAY, D., WALKER, J., RESNICK, R. Fundamentals of physics. Hoboken, NJ: Wiley, 2011.

KALMAN, R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems. **Transactions of the ASME-Journal of Basic Engineering**, v. 82(Series D), p. 35-45, 1960.

KRUMM, J.; HORVITZ, E. LOCADIO: Inferring motion and location from Wi-Fi signal strengths. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE AND UBIQUITOUS SYSTEMS – MOBIQUITOUS, 1st, 2004, Boston. **Proceedings...** Piscataway, NJ, US: IEEE, p. 4-13, 2004.

LONGSDON, T. **Understanding the Navstar: GPS, GIPS and IVHS**. 2. ed. New York: Springer, 1995.

MALIK, A. **RTLS For Dummies**. Hoboken, NJ: For Dummies; 2009.

MAO, M.; ZHE, L.; HESAMI, S.; YANPENG, Y.; GAIN, F.; LE DORTZ, N., **Indoor positioning using Wi-Fi fingerprints**, Royal Institute of Technology, 2011.

NI, L. M.; LIU, Y.; LAU, Y. C. and PATIL, A. P. LANDMARC: *indoor* location sensing using active RFID, **Wireless Networks**, v. 10, n. 6, p.701-710, Nov. 2004.

NOKIA. **Accurate mobile indoor positioning industry alliance, called in-location, to promote deployment of location-based indoor services and solutions.** August, 2012. Disponível em: <http://press.nokia.com/2012/08/23/accurate-mobile-indoor-positioning-industry-alliance-called-in-location-to-promote-deployment-of-location-based-indoor-services-and-solutions/>. Acesso em: out. 2012.

PAUL, S. and WAN, E. A. Wi-Fi based indoor localization and tracking using sigma-point Kalman filtering methods. In: **Proceedings of PLANS 2008 IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium**, 2008.

PINTO, A. F. C. **Filtros de Partículas: o algoritmo resample-move.** 69p. Dissertação. (mestrado) Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

REKLEITIS, I. M. **A particle filter tutorial for mobile robot localization.** Centre for Intelligent Machines, McGill University, 2004.

SHAH, Z.; MALANEY, R. Particle filters and position tracking in Wi-Fi network. In: **Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)**, p. 613-617, May, 2007, Melbourne Australia.

SHANKLIN, T.; LOULIER, B. and MATSON, E. T. Embedded sensors for indoor positioning. In: **Proceedings of 2011 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)**, 2011.

WÜBBENA, G.; BAGGE, A.; SEEGER, G.; BÖDER, V.; HANKEMEIER, P. Reducing distance dependent errors for real-time precise DGPS applications by establishing reference station networks. In: **ION GPS MEETING**, 9th, 1996, Kansas City. *Proceeding...* Fairfax, VA: ION, 1996. p. 1845 – 1852.

YOUSSEF, M. A.; AGRAWALA, A.; SHANKAR, A. U. WLAN Location determination via clustering and probability distributions. In: **IEEE Int. Conf. on Pervasive Computing and Communications (PERCOM-2003)**, Fort Worth, 2003.