



Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Informática

Graduação em Engenharia da Computação

**UMA AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DOS SISTEMAS DE
LOCALIZAÇÃO RFID LANDMARC E LANDMARC+**

Helder Cavalcanti Gomes Júnior

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Recife

17 de março de 2014

Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Informática

Helder Cavalcanti Gomes Júnior

**UMA AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DOS SISTEMAS DE
LOCALIZAÇÃO RFID LANDMARC E LANDMARC+**

Trabalho apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Paulo André da Silva Gonçalves

Recife

17 de março de 2014

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu principal pilar: meus pais e irmãos, que sempre estiveram presentes me incentivando e apoiando a seguir avante, mesmo nos momentos mais críticos deste curso.

Agradeço ainda aos amigos que fiz na Universidade: Marianne, Crystal, Victor, Henrique, Vanessa, Lucas e Eduardo, chegamos ao desfecho desta jornada devido a um grande trabalho em grupo, de mãos dadas sempre. Obrigado por terem tornado nossa caminhada mais amena.

Aos mestres, em especial ao orientador-professor *docteur* Paulo Gonçalves, por terem me guiado e me transmitido conhecimento sempre da melhor forma possível e com bastante competência, demonstro minha gratidão.

À ASD Informática, pela disponibilização da verba necessária à aquisição do material usado nas experimentações.

À reelyActive, em especial ao Jeffrey Dungen, por ter me esclarecido dúvidas em relação ao hardware adquirido.

Por fim, a todos, exponho o meu MUITO OBRIGADO.

"Si tu peux être amant sans être fou d'amour
Si tu peux être fort sans cesser d'être tendre
Et, te sentant haï, sans haïr à ton tour
Pourtant lutter et te défendre

...

Alors les Rois, les Dieux, la Chance et la Victoire
Seront à tous jamais tes esclaves soumis,
Et, ce qui vaut mieux que les Rois et la Gloire
Tu seras un homme, mon fils"

Trecho "If-" de Rudyard Kipling (1910) traduzido do inglês
por André Maurois (1918)

RESUMO

A infraestrutura de localização RFID montada com etiquetas ativas é certamente a mais adequada para prover serviços de localização de objetos em ambientes internos. Esses sistemas, formados por leitores e etiquetas de referência, utilizam medidas de força de sinais de radiofrequência para obter uma estimativa de localização de objetos. Dentre eles, encontram-se o LANDMARC e o LANDMARC+. É sabido, ademais, que o desenvolvimento de um sistema protótipo para estudo e simulação desses algoritmos de localização torna-se caro devido ao custo associado ao hardware necessário. Dessa forma, há uma enorme carência na literatura de estudos que utilizam leitores e etiquetas RFID reais.

Assim, este trabalho de graduação apresenta, a partir de uma infraestrutura de hardware e software montada, uma avaliação de desempenho e análise do LANDMARC e LANDMARC+ sob diferentes configurações de cenários reais. É sugerido um tratamento estatístico dessas medições e são apresentados resultados experimentais. Os resultados mostraram que, de fato, a disposição do objeto a ser localizado interfere na eficiência de localização desses algoritmos. A presença de divisória no ambiente mostrou melhoria em apenas um caso.

Palavras-chave: :LANDMARC, LANDMARC+, RFID, Sistema de Localização Interno, RSSI

ABSTRACT

The RFID location infrastructure that uses active tags is certainly the most suitable to provide services of locating objects in indoor environments . These systems consist of readers and reference tags , using radio signal strength to obtain and estimate the location of objects . Among them, there are the LANDMARC and LANDMARC+ . It is known , furthermore, that the development of a prototype system for the study and simulation of these algorithms becomes expensive due to the cost associated with the hardware needed. Thus , there is a huge shortage in the studies using real RFID tags and readers in the literature.

This work presents an infrastructure of hardware and software, a performance evaluation and analysis of LANDMARC and LANDMARC+ under different configurations of real-world scenarios .The results showed that , indeed, the arrangement of the object to be located interferes with efficient location of these algorithms.

Keywords: LANDMARC, LANDMARC+, Indoor Location System, RFID, RSSI

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Organização	3
CAPÍTULO 2 – A TECNOLOGIA RFID	4
2.1 História e Evolução	4
2.2 Funcionamento	5
2.3 Caso de Uso.....	7
2.4 Resumo	9
CAPÍTULO 3 – ESTADO DA ARTE	10
3.1 Técnicas de localização indoor.....	10
3.1.1 Baseados em análise de cenas.....	10
3.1.1.1 kNN	11
3.1.1.2 Abordagem probabilística.....	11
3.1.2 Baseados em estimativa de distância.....	11
3.1.2.1 Angle of Arrival (AoA)	12
3.1.2.2 Time of Arrival (ToA).....	13
3.1.2.3 Time Difference of Arrival (TdoA).....	14
3.1.3 Baseados em proximidade.....	15
3.2 LANDMARC	16
3.3 LANDMARC+	18
3.4 Trabalhos relacionados.....	19
3.5 Resumo	20
CAPÍTULO 4 – INFRAESTRUTURA DE HARDWARE E SOFTWARE	21
4.1 Programa Javascript.....	21
4.2 Simulador	22
4.3 Infraestrutura de Hardware.....	25
4.4 Resumo	27
CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÕES EXPERIMENTAIS	28

5.1 Variação do RSSI com a distância.....	28
5.2 Posicionamento das etiquetas alvo e presença de divisórias.....	37
5.3 Análise dos resultados	59
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	64

GLOSSÁRIO

RFID: Radio-Frequency Identification, 1

RF: Radio-Frequency, 1

RSSI: Received Signal Strength Information, 2

IFF: Identify Friend or Foe, 4

kNN: k-Nearest-Neighbor, 10

KDE: Kernel Density Estimation, 11

AoA: Angle of Arrival, 12

ToA: Time of Arrival, 13

TdoA: Time Difference of Arrival, 14

JSON: JavaScript Object Notation, 21

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 26

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema geral funcionamento RFID.....	6
Figura 2.2 – Sistema de acompanhamento de arquivos baseado em RFID.....	8
Figura 3.1 – Esboço da ideia estimativa de distância por triangulação	10
Figura 3.2 - Esboço da ideia estimativa de distância	10
Figura 3.3 – Esboço da técnica AoA	13
Figura 3.4 – Esboço da técnica ToA	14
Figura 3.5 – Esboço da técnica TdoA	15
Figura 3.6 – Exemplo de técnica baseada em proximidade	16
Figura 4.1 – Tela inicial do simulador	23
Figura 4.2 – Tela configurações de dimensões	23
Figura 4.3– Tela informações de leitores.....	23
Figura 4.4– Tela informações etiquetas de referência	23
Figura 4.5 – Componentes utilizados no protótipo (Etiqueta, leitor e Switch)	26
Figura 4.6 – Infraestrutura de Hardware utilizada no protótipo	26
Figura 4.7 – Padrão de endereçamento EUI-64.....	27
Figura 5.1 – Fotografia do ambiente vazio	29
Figura 5.2 – Layout do ambiente vazio	29
Figura 5.3 - Fotografia da infraestrutura montada em ambiente vazio	30
Figura 5.4 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente vazio e sem presença de interferência.....	31
Figura 5.5 – Fotografia da infraestrutura montada em ambiente vazio	32
Figura 5.6 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente vazio com presença de interferência.....	33
Figura 5.7 - Fotografia da infraestrutura montada em ambiente de escritório	34
Figura 5.8 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente de escritório e sem presença de interferência	35
Figura 5.9 - Fotografia da infraestrutura montada em ambiente de escritório	36
Figura 5.10 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente de escritório e com presença de interferência.....	36
Figura 5.11 – Fotografia da infraestrutura de localização montada.....	38
Figura 5.12 – Cenário 1	40

Figura 5.13 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 1.....	41
Figura 5.14 - Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 1	42
Figura 5.15 – Fotografia da divisória montada	43
Figura 5.16 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 2.....	43
Figura 5.17 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 2.....	44
Figura 5.18 – Cenário 3	45
Figura 5.19 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 3.....	46
Figura 5.20 - Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 3	47
Figura 5.21 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 4.....	48
Figura 5.22 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 4.....	49
Figura 5.23 – Cenário 5	50
Figura 5.24 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 5.....	51
Figura 5.25 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 5.....	51
Figura 5.26 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 6.....	53
Figura 5.27 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 6.....	53
Figura 5.28 – Cenário 7	55
Figura 5.29 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no cenário 7	56
Figura 5.30 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no cenário 7	56
Figura 5.31 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no cenário 8	58
Figura 5.32 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no cenário 8	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – As décadas do RFID	5
Tabela 2.2 – Relação entre frequência e distância máxima de leitura	6
Tabela 2.3 – Tipos de Etiquetas RFID	7
Tabela 3.1 - Notações usadas na descrição do LANDMARC	17
Tabela 5.1 – Posicionamentos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente vazio.....	30
Tabela 5.2 – Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância sem presença de interferência de outras etiquetas em ambiente vazio	31
Tabela 5.3 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância com presença de interferência de outras etiquetas em ambiente vazio	32
Tabela 5.4 – Posicionamentos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente de escritório	34
Tabela 5.5 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância sem presença de interferência em ambiente escritório.....	35
Tabela 5.6 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância com presença de interferência em ambiente escritório.....	37
Tabela 5.7 – Posicionamento dos leitores e etiquetas de referência para o experimento 5.2.....	38
Tabela 5.8 – Resumo das configurações dos cenários definidos.....	39
Tabela 5.9 – Posicionamento de j1 e j2 para os Cenários 1 e 2.....	40
Tabela 5.10 – Resultados obtidos com o Cenário 1.....	42
Tabela 5.11 – Resultados obtidos no Cenário 2.....	44
Tabela 5.12 - Posicionamento de j1 e j2 para os Cenários 3 e 4.....	46
Tabela 5.13 – Resultados obtidos no Cenário 3.....	47
Tabela 5.14 – Resultados obtidos no Cenário 4.....	49
Tabela 5.15 – Posicionamento de j1 e j2 para os Cenários 5 e 6.....	51
Tabela 5.16 – Resultados obtidos no cenário 5	52
Tabela 5.17 – Resultados obtidos no Cenário 6.....	54
Tabela 5.18 – Posicionamento de j1 e j2 para os Cenários 7 e 8.....	55
Tabela 5.19 – Resultados obtidos no Cenário 7.....	57
Tabela 5.20 – Resultados obtidos no Cenário 8.....	59
Tabela 5.21 – Erros médios dos cenários por objeto j1 e j2.....	61

Tabela 5.22 – Frequência de acerto dos cenários por objeto j1 e j2.....	61
Tabela 5.23 – Média aritmética dos erros médios dos objeto j1 e j2.....	62
Tabela 5.24 – Média aritmética das frequências de acerto dos objetos j1 e j2	62
Tabela 5.25 – Média aritmética das frequências de acerto de todos os cenários	63
Tabela 5.26 – Média aritmética dos erros médios de todos os cenários	63

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A Identificação por Radiofrequência ou *Radio Frequency Identification* (RFID) é uma das tecnologias mais promissoras sendo desenvolvidas atualmente por aumentar a eficiência e o nível de automação de diversos processos. Sendo assim, potencialmente, essa tecnologia estará cada vez mais presente de forma pervasiva em nosso cotidiano.

1.1. Motivação

Os sistemas RFID têm como objetivo geral auxiliar no controle e identificação de objetos e/ou pessoas. Eles são formados por etiquetas (ou *tags*) que contém informações diversas e são capazes de reconhecer unicamente cada uma delas. Responsáveis por esse reconhecimento, existem os leitores, a partir dos quais é possível recuperar diversos dados gravados nas etiquetas. Essa tecnologia vem sendo considerada no mercado como sucessora do código de barras devido ao fato de apresentar diversas vantagens. Por exemplo, a principal facilidade é que não é necessária uma linha de visão direta entre leitor e etiqueta e, ainda mais, em um único processo de leitura, diversas etiquetas podem ser identificadas.

Dessa forma, a capacidade de identificar objetos e a capacidade de comunicação através de sinais de radio-frequência(RF) têm motivado o investimento no desenvolvimento de sistemas de localização RFID. Esses sistemas de localização usufruem de uma técnica de identificação automática que utiliza sinais de radio através da qual é possível recuperar e/ou armazenar informações sobre diferentes tipos de objetos em um cenário *indoor*. Nesse domínio, a problemática da localização de objetos ou pessoas utilizando essa tecnologia é um tema de pesquisa atual relevante tanto para a comunidade industrial quanto acadêmica. Como aplicações práticas nesse tema, cita-se segurança veicular, controle de estoque de mercadorias, aplicações sensíveis ao contexto e de rastreabilidade.

Dentre os principais sistemas de localização indoor existentes que utilizam RFID, encontram-se o LANDMARC [Ni et al. 2004] e o LANDMARC + [Silva and Gonçalves 2009a], [Silva and Gonçalves 2009b]. Esses algoritmos implementam uma infraestrutura composta

por leitores RFID, etiquetas RFID ativas e um servidor que se comunica com os leitores e realiza os cálculos. O LANDMARC é capaz de calcular, por execução, somente uma estimativa das coordenadas de localização para cada objeto. De forma diferente, o LANDMARC + , uma versão melhorada, é capaz de calcular duas estimativas de áreas nas quais cada objeto poderia estar presente, aumentando assim a probabilidade de acerto. Para implementar o serviço de localização nestes algoritmos, são utilizadas ainda etiquetas de referência cujas coordenadas são conhecidas. Os objetos a serem localizados possuem tags ativas anexadas. Além disso, a estimativa de localização é feita baseada na força do sinal RSSI (*Received Signal Strength Indication*) captada pelos leitores. Em ambientes *indoor*, sabe-se que o grande problema encontrado está associado à instabilidade do sinal recebido. Essa variabilidade deve-se, por exemplo, a problemas de absorção e reflexão causados, dentre outros motivos, pelo fluxo de pessoas existente nesses ambientes.

É sabido ainda que o desenvolvimento de um sistema protótipo para estudo e simulação desses algoritmos de localização RFID torna-se caro devido ao custo associado à infraestrutura de hardware necessária. Dessa forma, ainda há uma enorme carência na literatura de estudos que utilizam leitores e etiquetas RFID reais para validar os resultados obtidos com as simulações.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é, através de um patrocínio de projeto alcançado, montar uma infraestrutura para analisar estatisticamente a eficiência e o comportamento do LANDMARC e LANDMARC+ fora de um ambiente *indoor* modelado, ou seja, em um ambiente *indoor* realístico. Para alcançar esse objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

1. Estudar e entender o funcionamento de sistemas RFID;
2. Estudar e entender técnicas de localização *indoor*;
3. Fazer um levantamento das marcas e modelos de etiquetas e leitores existentes no mercado necessários para o projeto;
4. Implementar um simulador que permita o estudo da eficiência de localização do

LANDMARC e do LANDMARC+;

5. Definir cenários de avaliação;
6. Estudar a eficiência de localização do LANDMARC e do LANDMARC+ nos cenários definidos.

1.3. Organização

Este trabalho está dividido em seis capítulos. O Capítulo 2 descreve melhor a tecnologia RFID abordando um pouco de sua história, seus elementos e um caso de uso detalhado de uma aplicação. O Capítulo 3, por sua vez, apresenta o estado da arte de sistemas de localização *indoor* baseados em RFID, fala-se ainda nesse mesmo capítulo das diversas técnicas de localização *indoor*. É nele também que são explicados os algoritmos LANDMARC e LANDMARC+, que foram analisados neste trabalho. O Capítulo 4 é responsável por descrever a construção da infraestrutura de hardware e software necessárias ao projeto; de forma que é neste capítulo onde se fala do simulador desenvolvido bem como do material do hardware utilizado. O Capítulo 5 mostrará os experimentos realizados neste trabalho e seus resultados. Por fim, o Capítulo 6 trará as conclusões e trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

A TECNOLOGIA RFID

Desde sua criação, a tecnologia RFID muito evoluiu. Entretanto, ainda são realizadas diversas pesquisas visando o seu aprimoramento. Mesmo tendo sido desenvolvidos na década de 50, durante a Segunda Guerra Mundial, apenas na década de 80 é que os sistemas RFID tiveram suas primeiras aplicações comerciais. Dentre essas, RFID é usada por centenas, senão milhares, de aplicações, tais como impedir o roubo de automóveis e mercadorias, gerenciamento de objetos e em operações automatizadas de uma forma geral. Este capítulo apresenta a tecnologia RFID, um breve resumo de sua história, seus elementos básicos, e, por fim, uma aplicação através de um caso de uso.

2.1. História e evolução

Os primórdios da tecnologia do RFID são datados da época da Segunda Guerra Mundial. Naquele momento, os alemães, japoneses, americanos e britânicos se aproveitavam da tecnologia descoberta em 1935 pelo físico escocês Sir Robert Alexander Watson-Watt., o radar. Esse dispositivo servia, por exemplo, para alertar sobre a aproximação de aviões enquanto eles ainda estavam a quilômetros de distância. Entretanto, o maior entrave na época era que o radar não identificava quais aviões pertenciam ao inimigo e quais eram pilotos do próprio país retornando de uma missão.

Diante disso, sob a liderança de Watson-Watt, os ingleses desenvolveram o primeiro sistema IFF (*Identify Friend or Foe*) [Roberti 2007]. Nesse sistema, era proposto que houvesse um transmissor em cada avião britânico. Dessa forma, quando este transmissor instalado no avião recebia sinais das estações de radar, ele retrucava transmitindo de volta um sinal, que identificava a aeronave como amigável. Os sistemas RFID funcionam utilizando este mesmo princípio básico. Ali nascia a ideia de funcionamento dessa tecnologia: um sinal é enviado a um *transponder*, que, por sua vez, ao recebê-lo, devolve uma informação.

Nos anos 70, houve uma explosão do desenvolvimento RFID; nessa década, a primeira

patente de uma etiqueta RFID foi feita por Charles Walton, ex-funcionário da IBM que deixou a empresa para fundar a seu próprio negócio, Proximity Devices, na Califórnia. Essa patente consistia em uma fechadura que podia ser aberta por um sinal de radiofrequência. Sua ideia foi comprada pela empresa Schlage para criar portas que pudessem ser abertas apenas ao passar com um cartão próximo, sem a necessidade, portanto, do contato físico entre chave e fechadura[Johnson 2009].

A década de 1990 foi bastante significativa para os sistemas RFID. Foi nos anos noventa que aconteceu a implantação de cerca de 3 milhões etiquetas RFID em carros visando a utilização do sistema cobrança eletrônica de pedágios nos Estados Unidos. Isso bastante incentivou o surgimento de empresas na área de tecnologia.

Hoje, o desenvolvimento em pesquisas na área de tecnologia RFID continua a acelerar. O foco atual é a redução dos custos associados a um sistema RFID. Atingido esse objetivo, espera-se que cada vez mais pessoas comecem a utilizar os benefícios dessa tecnologia. A Tabela 2.1 mostra um resumo da história da tecnologia de identificação por radiofrequência.

Tabela 2.1 – As décadas do RFID

Década	Evento
1940-1950	Utilização do radar. Grande desenvolvimento tecnológico durante a Segunda Guerra. RFID inventado em 1948.
1950-1960	Explorações iniciais da tecnologia RFID, experimentos de laboratório.
1970-1980	Explosão de desenvolvimento RFID. Surgem algumas implementações iniciais de sistemas RFID.
1980-1990	Aplicações comerciais RFID tornam-se tradicionais.
1990-2000	Aparecimento dos padrões. RFID amplamente utilizado e torna-se parte do cotidiano.
2000-?	A “explosão” RFID continua.

2.2. Funcionamento

Um sistema RFID é composto, basicamente, por antenas, leitores, servidor e etiquetas. Estas etiquetas podem estar presentes em pessoas, animais, produtos, embalagens, enfim, em equipamentos diversos. As antenas transmitem a informação para os leitores, os quais, por sua vez, convertem as ondas de rádio de RF para o formato digital para que esses dados possam ser lidos e compreendidos por um computador/servidor. Dessa forma, nota-se que os leitores RFID

possuem duas interfaces: uma que comunica com as etiquetas e outra com o servidor. Os servidores de dados, coletam as informações referentes as etiquetas enviadas pelos leitores e as processam. A Figura 2.1 mostra a infraestrutura de um sistema RFID. Em alguns casos, especialmente no caso estudado neste trabalho, os leitores possuem antenas acopladas, ou seja, não há necessidade de instalação externa. Assim, cada leitor é capaz de identificar as etiquetas que estão ao seu alcance. Esse alcance de leitura de um leitor, por sua vez, depende de alguns fatores. Por exemplo, a frequência utilizada, o ganho da antena, a orientação da antena e também, notadamente, de fatores físicos do ambiente, como presença de obstáculos entre o emissor e o receptor do sinal de RF e também da frequência utilizada na identificação, conforme Tabela 2.2.

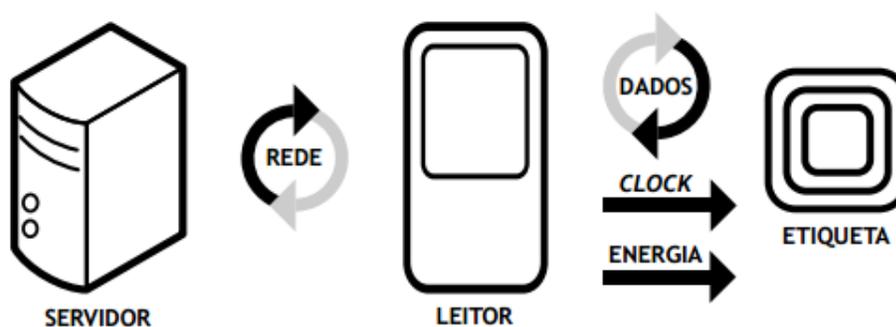


Figura 2.1 – Esquema geral funcionamento RFID

Tabela 2.2 – Relação entre frequência e distância máxima de leitura

Tipo	Frequência	Distância
Baixa frequência	~ 125KHz	< 0.4m
Alta frequência	13.56 MHz	1m
Ultra-alta frequência	860 – 960 MHz	Até 100m
Frequência de micro-ondas	2.45 GHz	Várias distâncias

Uma etiqueta RFID é um microchip com uma antena dentro de uma estrutura compacta. Essa etiqueta captura o sinal emitido pelo leitor e retorna esse sinal com a adição de alguns dados. Nesse contexto, as etiquetas RFID podem ser classificadas de acordo com a sua fonte de

alimentação [Finkenzeller and Muller 2010]. Diante disso, as etiquetas são classificadas em três tipos: passivas, ativas e semipassivas ou semiativas. As etiquetas passivas possuem um mecanismo para gerar energia a partir do campo eletromagnético formado pelo leitor. Assim, esse tipo de etiqueta é mais leve, menor e possui custo mais baixo. Porém, possuem um raio de leitura muito curto, variando de 1m a 2m. Dessa forma, são mais adequadas para rastreamento de ativos de menor custo, em que o item etiquetado passará sempre em estreita proximidade de um scanner. Esse tipo de etiqueta é bem adaptado, por exemplo, para soluções de inventário. As etiquetas ativas tem sua própria fonte de alimentação pois possuem bateria ou são alimentadas por energia solar. A duração de vida dessa bateria depende do intervalo de tempo no qual os sinais são transmitidos. Por exemplo, uma etiqueta que emite sinal a 2 segundos tende a esgotar sua bateria mais rapidamente que uma mesma que emite a cada 3 segundos. Além disso, esse tipo de etiqueta é muito mais caro se comparado ao preço de custo de uma passiva. Por isso, é ideal para uso na gestão e controle ativos corporativos de alto valor agregado. Esse tipo de etiqueta é, ademais, particularmente adequada para uso em implantações em que é necessária a entrega de dados em tempo real sobre a localização e o movimento de objetos. As etiquetas semipassivas, por sua vez, possuem bateria própria para alimentar o seu *microchip* porém utilizam energia fornecida pelo leitor para transmitir o seu sinal. O raio de leitura das etiquetas semipassivas é superior a 10m [Umeda et al. 2006]. A Tabela 2.3 [Silva and Gonçalves 2011] mostra a comparação dos tipos de etiquetas supracitados.

Tabela 2.3 – Tipos de Etiquetas RFID

	Ativas	Semipassivas	Passivas
Raio de comunicação	Longo	Moderado	Curto
Bateria	Sim	Sim	Não
Custo	Alto	Moderado	Baixo

2.3. Caso de uso

São vários os tipos de negócios que podem ser beneficiados com o uso de RFID. As aplicações são as mais diversas e podem ir desde um simples controle de livros em uma biblioteca até o uso, por exemplo, para identificar material cirúrgico.

Nesta seção, é abordado um caso de uso que mostra como esta tecnologia pode trazer facilidades a um modelo de negócio, agilizando processos e consequentemente reduzindo

custos.

2.3.1 Sistema de Gerenciamento de Arquivos

Apesar das previsões para o futuro, a ideia de erradicar o uso de papel nos escritórios ainda não é realidade. Dessa forma, o gerenciamento desses registros físicos é uma necessidade. Confiar essa necessidade à um indivíduo através de um trabalho não automatizado é certamente deixar o processo sujeito à falha humana, o que causará perda de tempo e dinheiro. Para evitar esse desperdício, muitas empresas adotaram um sistema automatizado de acompanhamento de arquivos baseados em RFID. Na Figura 2.2, é detalhado o processo de acompanhamento de arquivos com uma infraestrutura RFID dentro de uma organização. O primeiro passo é o recebimento de um documento, o arquivo é cadastrado no sistema de gestão mediante o acréscimo de um etiqueta RFID passiva UHF no registro. Em seguida, com a ajuda de um leitor RFID, o item etiquetado entra no inventário e é adicionado ao banco de dados. Feito isso, torna-se possível acompanhar e rastrear o documento na medida em que ele é transportado por diversos pontos críticos da empresa. Por exemplo, se algum colaborador precisa do documento, ele pode consultar o sistema para obter a última localização do arquivo. Isso é possível porque a cada vez que o referido documento se afasta de sua localização atual, o leitor RFID atualiza automaticamente o banco de dados com informações sobre quem pegou o documento, quando ele foi retirado e para onde foi levado. Nos pontos críticos de entrada/saída da empresa, se um usuário passa com um documento que não é permitido sair da organização, um alarme soa. Além disso, com um leitor RFID de mão, o inventário das áreas de armazenamento pode ser feito rapidamente.

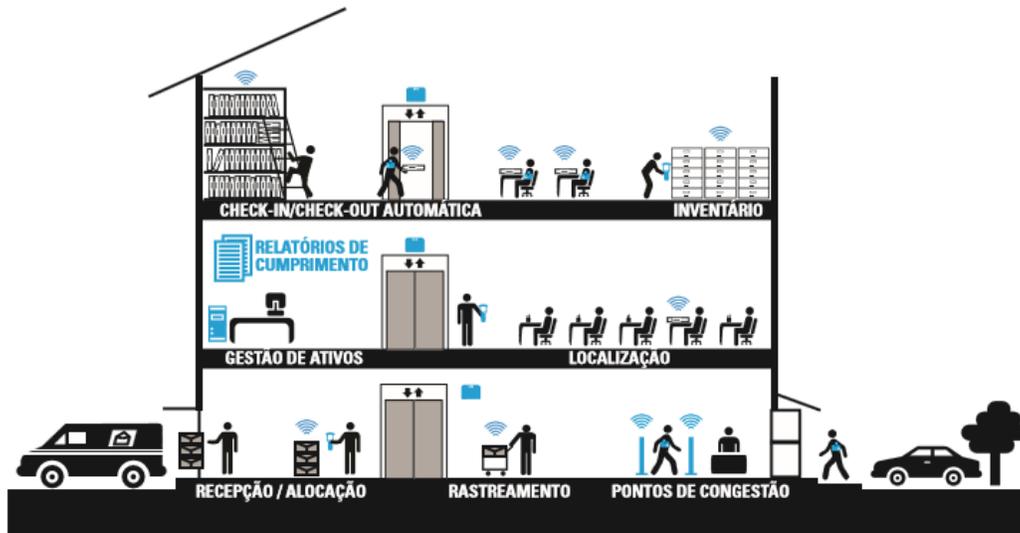


Figura 2.2 – Sistema de acompanhamento de arquivos baseado em RFID

2.4 Resumo

Neste capítulo, foi mostrado um pouco da história da tecnologia RFID e os primórdios da identificação a partir de rádiofrequência, inclusive o primeiro sistema IFF, o qual surgiu em meados da segunda guerra mundial.

Foi visto como funciona um sistema RFID, sua arquitetura e seus elementos: as etiquetas e os leitores. Foi mencionado ainda os tipos de etiquetas existentes, suas particularidades e para quais aplicações elas são mais apropriadas

Por fim, foi abordado um caso de uso de um sistema RFID real. Mostrou-se como etiquetas RFID simples podem trazer benefícios para uma organização.

CAPÍTULO 3

ESTADO DA ARTE

É inegável a crescente oferta de dispositivos móveis no mercado de tecnologia. Aliado a esse crescimento, constata-se a grande popularização das comunicações sem fio. Dada essa mobilidade, facilidade comunicação e a enorme necessidade de rastrear e identificar objetos, nota-se um grande impulso no interesse por sistemas de localização em ambientes internos. Nesse contexto, as principais técnicas de localização utilizadas nesses ambientes são as baseadas em triangulação, análise de cena e proximidade [Ni et al. 2004]. Nesta seção, serão apresentadas as técnicas de localização *indoor* e os sistemas de localização RFID estudados no presente trabalho: o LANDMARC e o LANDMARC+. Por fim, serão apresentados brevemente outros trabalhos relacionados.

3.1 Técnicas de Localização *Indoor*

Sistemas de localização e rastreamento podem ser classificados pelas técnicas de medição que empregam para determinar a posição do dispositivo procurado. Essas técnicas podem ser classificadas em 3 famílias: estimativa de distância (triangulação) , análise de cenas (*fingerprinting*) e proximidade.

3.1.1 Baseados em análise de cenas

Essa técnica de localização é composta basicamente de dois passos distintos. A primeira etapa é denominada por etapa *off-line* e a segunda etapa, por sua vez, é chamada de etapa *online*. Primeiramente, na etapa *off-line*, informações (fingerprints) referentes ao ambiente são coletadas. Em seguida, na etapa *online*, a localização do alvo é estimada combinando métricas desse alvo com o conjunto de impressões digitais (fingerprints) do ambiente. Na maioria dos casos, a métrica utilizada é o RSSI [Bouet and Santos 2008]. Por exemplo, o RADAR [Bahl and Padmanabhan 2000] baseia-se em níveis de RSSI para estimar a posição procurada. Ademais, como exemplo de sistema que não utiliza nível de força de sinal, cita-se o sistema *Easy Living* [Krumm et al. 2000], o qual utiliza imagens de câmeras instaladas no ambiente para localizar o objeto procurado. As duas principais técnicas baseadas em análise de cenas são: k-nearest-neighbor (kNN) [Bahl and Padmanabhan 2000] também conhecido como *radio map* e métodos probabilísticos e estatísticos.

3.1.1.1 kNN

O método kNN consiste em primeiramente medir o RSSI em locais conhecidos, com o objetivo de construir um *radio map* que é simplesmente uma base de dados de RSS. Em seguida, na fase *online*, medidas de RSSI ligadas ao alvo são interpretadas para escolher os k RSSI mais próximos de acordo com o mapa construído previamente. O método do erro médio quadrado é usado para selecionar os vizinhos para assim estimar a localização do alvo.

3.1.1.2 Abordagem probabilística

O problema enunciado em abordagens probabilísticas é encontrar a localização de um alvo assumindo que existem n possíveis localizações e um vetor de intensidade de sinal construído durante a fase *online*, de acordo com a probabilidade posteriori e a fórmula de Bayes [Ehlers and Justiniano 2007]. Dessa forma, o local com maior probabilidade é escolhido. Normalmente, os métodos probabilísticos envolvem diferentes estágios como calibração, aprendizagem e estimativa de erro. Em [Soares 2013], por exemplo, foi desenvolvido um sistema de localização indoor para smartphones. O algoritmo se baseia no mapeamento dos RSS, assim como suas variações, construindo, dessa forma uma malha de pontos e associando a cada ponto uma distribuição de probabilidade, a qual é estimada através do método KDE – *Kernel Density Estimation*. Em seguida, cruzam-se os dados medidos em tempo real com os dados fornecidos pela função de distribuição de probabilidade e, através

de uma inferência Bayesiana, estima-se o local mais provável do objeto. Esse algoritmo obteve uma acurácia de mais de 90% na média, para os casos de teste realizados.

3.1.2 Baseados em estimativa de distância

Essa família de algoritmos utiliza propriedades de triângulos para estimar a localização do alvo. Nesse contexto, existem dois tipos de abordagens: a triangulação e a lateração. A abordagem por triangulação, ilustrada na Figura 3.1, consiste na medição do ângulo de incidência do sinal de pelo menos dois pontos de referência, essa técnica é chamada por *Angle of Arrival (AoA)*. A abordagem por lateração, mostrada na Figura 3.2, estima a posição do alvo analisando as distâncias de pelo menos três pontos de referência. Nesse contexto, pode-se citar as técnicas *Time of Arrival (ToA)*, *Time Difference of Arrival (TdoA)* e *Received Signal Strength (RSS)*.

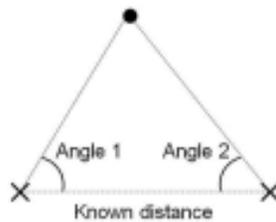


Figura 3.1 – Esboço da ideia estimativa de distância por triangulação

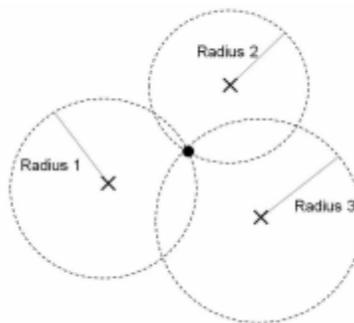


Figura 3.2 - Esboço da ideia estimativa de distância

3.1.2.1 Angle of Arrival (AoA)

Essa técnica consiste em calcular a interseção de diversas retas que partem das tags. Primeiro, determina-se o ângulo com o qual o sinal chega ao receptor. Num plano 2D, ao menos dois receptores são necessários e, para obter uma melhor acurácia, pode-se usar ainda 3 ou mais receptores como referência. Em seguida, utilizam-se relações geométricas para determinar a posição procurada. Na figura 3.3, mostra-se um exemplo para melhor entendimento, no qual os pontos A e B são receptores e o ponto X é o objeto procurado. Essa técnica é aplicada, por exemplo, na indústria de celulares para prover serviços de localização de usuários. Diferentes torres de antenas calculam o ângulo de incidência do sinal emitido pelo telefone portátil do usuário e usam essa informação como parâmetro para a triangulação. Em seguida, o resultado é transmitido para processadores que transformam a localização em coordenadas de latitude e longitude, permitindo assim localizar o usuário no globo terrestre. Isso é bastante útil, por exemplo, para localizar usuários que ligam para o serviço 911 solicitando ajuda.

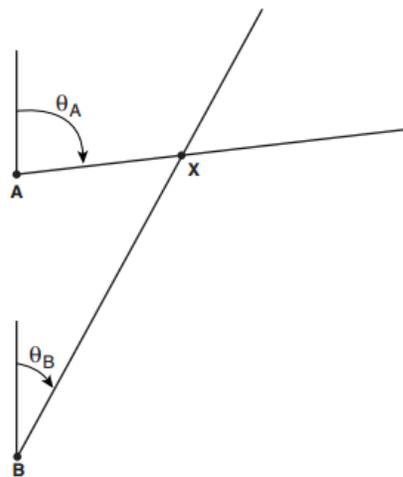


Figura 3.3 – Esboço da técnica AoA

3.1.2.2 Time of Arrival (ToA)

Sistemas baseados em ToA são baseados na precisão do cálculo do tempo de chegada do sinal transmitido por um dispositivo móvel até os diversos receptores. Sabe-se que o sinal se propaga com uma velocidade conhecida (aproximadamente a velocidade da luz – 300 metros por microssegundo), assim a distância entre o dispositivo móvel e cada receptor pode ser determinada a partir do tempo de propagação do sinal entre eles. A fórmula trivial $D = c * t$, em que D é a distância em metros, c é a velocidade da luz em metros/microssegundo e t é o

tempo de propagação em microssegundos, é utilizada para obter o valor de D. Com o valor de D definido, esse valor é usado como o raio para traçar uma circunferência na qual o objeto poderia estar localizado. É feito o mesmo procedimento com 3 receptores diferentes e assim pode-se determinar a posição estimada do objeto. Na Figura 3.4, há um diagrama no qual pode-se visualizar a representação desse procedimento. Os pontos A, B e C representam diferentes receptores de sinal, o ponto X representa a posição estimada e ρ_A, ρ_B, ρ_C são as distâncias calculadas usadas como raio das circunferências. Um requisito bastante importante de sistemas baseados em ToA é que essa técnica requer um conhecimento muito preciso do tempo de início de transmissão, ou seja, é preciso que todos os dispositivos estejam sincronizados com o mesmo relógio.

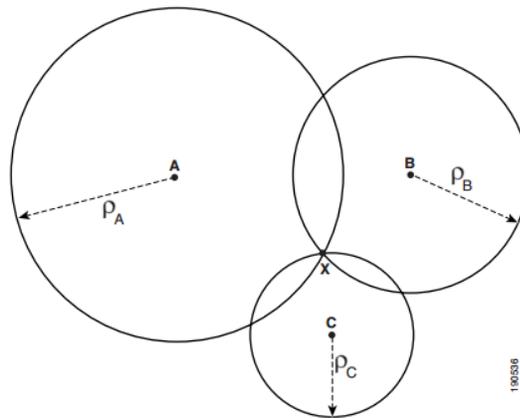


Figura 3.4 – Esboço da técnica ToA

3.1.2.3 Time Difference of Arrival (TdoA)

O princípio dessa técnica consiste na ideia de determinar a localização relativa de um transmissor alvo através da diferença do tempo de chegada em diferentes unidades de medição. Por isso, ao utilizar essa técnica, ao contrário do método ToA não é necessário conhecer o instante exato do início da transmissão de um determinado sinal. A implementação dessa técnica é baseada em lateração hiperbólica. Nessa abordagem matemática, pelo menos três receptores fixos são necessários. Na Figura 3.5, assume-se que quando a estação X transmite uma mensagem, essa mensagem chega no receptor A no instante de tempo T_A e ao receptor B no instante de tempo T_B . Assim, a diferença de tempo

de chegada para esse sinal é idealmente constante se calculada entre A e B. Sendo representada pela equação X:

$$TD_{oA_{B-A}} = |T_B - T_A| = k \quad (5)$$

O valor de k pode ser usado para construir uma hipérbole com focos nas localizações dos dois receptores A e B. Essa hipérbole representa as possíveis localizações de todos os pontos no plano x-y cujas distâncias aos dois focos A e B é igual a k(c) metros. Matematicamente, isso representa todas as possíveis localizações X tais que:

$$|D_{XB} - D_{XA}| = k(c) \quad (6)$$

A localização provável do alvo pode então ser representada por um ponto X pertencente a esta hipérbole. Para determinar X, um terceiro receptor localizado no ponto C é usado e assim calcula-se a diferença de tempo de chegada para o sinal entre A e C, representada pela equação X:

$$TD_{oA_{C-A}} = |T_C - T_A| = k_1 \quad (7)$$

Com o valor de k_1 em mãos, é possível construir uma segunda hipérbole à qual pertencem todos os pontos do plano x-y cujas distâncias aos dois focos A e C é igual a $k_1(c)$ metros. Analogamente a $k(c)$, esse valor pode ser representado por:

$$|D_{XC} - D_{XA}| = k_1(c) \quad (8)$$

Sendo assim, o ponto X procurado, será aquele localizado na interseção das duas hipérbolas.

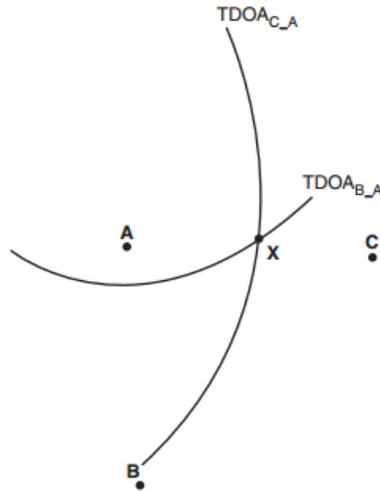


Figura 3.5 – Esboço da técnica TdoA

3.1.3 Baseado em proximidade

Essa abordagem é bastante simples. Suponha-se que há uma densidade de antenas no ambiente, quando o alvo está no alcance de uma única antena, a sua localização é assumida ser a mesma da referida. Caso haja mais de uma antena que detecte o alvo, a localização estimada do alvo será aquela da antena que recebe o sinal mais forte. Essa técnica é bastante simples de implementar; porém, sua precisão dependerá da granularidade do ambiente, ou seja, a precisão será da ordem do tamanho das células cobertas por cada antena. A Figura 3.6 mostra um exemplo de um indivíduo sendo localizado na célula correspondente a sua posição real.

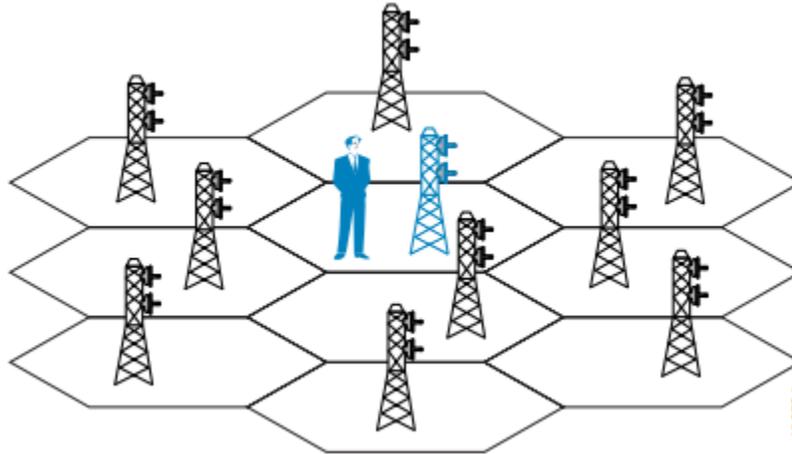


Figura 3.6 – Exemplo de técnica baseada em proximidade

3.2 LANDMARC

O LANDMARC (LocAtion iDentification based on dynaMic Active Rfid Calibration) [Ni et al. 2004] foi o primeiro algoritmo a utilizar a tecnologia RFID para a localização de objetos em ambientes fechados [França Neto 2012]. Essa técnica inova ao propor o uso de etiquetas de referência para auxiliar na estimativa de localização. Isso é feito com o objetivo de diminuir a quantidade de leitores distribuídos pelo ambiente. Sendo assim, o LANDMARC torna mais baixo o custo do projeto visto que etiquetas são notadamente mais baratas que leitores. As notações utilizadas na descrição do algoritmo são apresentados na Tabela 1.1.

A abordagem utilizada por esse algoritmo é baseada na construção de dois vetores de intensidade de sinal ou RSSI, os quais são figurados pelo vetor $\vec{S}(j) = (S_1^j, S_2^j, S_3^j, \dots, S_n^j)$, onde S_i^j denota o RSSI do objeto j medido no leitor $i \in [1, n]$, e $\vec{\theta}(r) = (\theta_1^r, \theta_2^r, \dots, \theta_n^r)$, onde θ_i^r denota o RSSI da etiqueta de referência $r \in [1, m]$ medido no leitor $i \in [1, n]$. O LANDMARC define ainda uma distância Euclidiana, em níveis de potência, através da seguinte equação:

$$E_r^j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i^r - S_i^j)^2}. \quad (9)$$

Sendo assim, segundo esse modelo, as etiquetas que apresentam menor valor de E_r^j são as mais próximas do alvo. Em seguida, é calculada a distância Euclidiana entre o objeto j e cada etiqueta de referência $r \in [1, m]$ que é armazenada no vetor $\vec{E}(j) =$

$(E_1^j, E_2^j, \dots, E_m^j)$. Posteriormente, faz-se uso do algoritmo KNN (K-Nearest Neighbors) [Bahl and Padmanabhan 2000] o qual recebe como entrada o vetor $\vec{E}(j)$ e fornece como saída as k etiquetas de referência com menor distância Euclidiana, em unidades de RSSI, em relação ao alvo. Se $k=1$, trivialmente, a localização do objeto alvo será igual a da etiqueta de referência mais próxima. Se $k > 1$, a estimativa de localização é dada como resultado de uma média ponderada entre as localizações de cada etiqueta de referência selecionada, cujos pesos associados são diretamente proporcionais a distância entre a etiqueta de referência e o objeto alvo. Assim, o peso é dado pela equação a seguir:

$$w_l^j = \frac{1/(E_l^j)^2}{\sum_{l=1}^k (1/(E_l^j)^2)}, \quad (10)$$

Os estudos realizados em [Ni et al. 2004] e [Polito et al.2007] demonstram que k igual a 4 permite um melhor desempenho de localização. Por isso, neste trabalho será utilizado o valor de $k = 4$.

Sequencialmente, estima-se as coordenadas do objeto alvo (x_j, y_j) a partir da seguinte equação:

$$(x_j, y_j) = \sum_{l=1}^k w_l^j (x_l, y_l), \quad (11)$$

onde (x_l, y_l) são as coordenadas cartesianas da l -ésima etiqueta de referência.

Tabela 3.1 - Notações usadas na descrição do LANDMARC

m	Número de etiquetas de referência
n	Número de leitores
u	Número de objetos etiquetados
$i \in [1, n]$	Um leitor
$r \in [1, m]$	Uma etiqueta de referência
$j \in [1, u]$	Um objeto a ser localizado
k	Número de vizinhos mais próximos
$l \in [1, k]$	Um dos vizinhos mais próximos
E_r^j	Distância Euclideana entre j e cada r
$\vec{E}(j)$	Vetor de distâncias Euclidianas entre j e cada r
w_l^j	Peso relacionando l e j
S_i^j	RSSI medido por i com relação ao sinal de j
$\vec{S}(j)$	Vetor de valores de RSSI para o cálculo da localização de j
θ_i^r	RSSI medido por i em relação ao sinal de r
$\vec{\theta}(r)$	Vetor de RSSI medidos relacionados a r

3.3 LANDMARC+

O LANDMARC+ é uma melhoria proposta por [Silva and Gonçalves 2009a] que calcula uma segunda estimativa de área na qual o objeto alvo provavelmente estaria presente, além da primeira estimativa que é dada de forma idêntica ao LANDMARC. Por isso, considera-se o LANDMARC+ como uma extensão do LANDMARC, de modo que não é necessário adicionar ao projeto nenhum custo com infraestrutura. O LANDMARC+ utiliza o conceito de distância

média Euclidiana, em RSS, entre o objeto j procurado e as etiquetas de referência em cada ambiente a . Matematicamente, essa distância é dada por:

$$M(j, a) = \frac{\sum_{t(a)=1}^{\rho} \Phi_{t(a)}^j}{\rho}, \quad (12)$$

onde ρ representa o número de etiquetas de referência por sala ou ambiente a e $\Phi_{t(a)}^j$ é a distância Euclidiana entre j e uma etiqueta de referência $t(a)$ pertencente ao ambiente a .

Por fim, o algoritmo armazena os resultados no vetor de distâncias $M(j, A) = [M(j, a_1), M(j, a_2), \dots, M(j, a_q)]$, onde q é o número de ambientes ou salas presentes em A . O LANDMARC+ considera a área que produz o menor $M(j, a)$ como uma segunda estimativa de localização do objeto j .

3.4 Trabalhos Relacionados

A abordagem VIRE (*Virtual Reference Elimination*) [Zhao et al. 2007] possui a vantagem de não necessitar da inclusão ao sistema de novos leitores ou etiquetas de referência. De modo que, esse algoritmo de localização implementa o conceito de etiquetas de referência virtuais com o objetivo de aumentar a quantidade de referência no local e por consequência aumentar a acurácia da infraestrutura de localização. Esse conceito de etiquetas virtuais resolve o problema do grande custo envolvido com o adição de novas etiquetas de referência e, além disso, lida com o problema de grande interferência de sinal que poderia ser causado com o crescimento do número dessas etiquetas. O algoritmo funciona definindo um *threshold* permitido dos valores de RSSI entre a etiqueta alvo e a etiqueta de referência. Além disso, os valores RSSI das etiquetas referenciais são calculados através de um algoritmo de interpolação linear. Em seguida, o RSSI de cada etiqueta alvo também pode ser obtido por cada leitor. As posições que possuem RSSI similares podem ser consideradas como possíveis localizações para o alvo. Nesse contexto, é introduzido o conceito de mapa de proximidade, o qual é dividido em regiões. O centro de cada uma dessas regiões corresponde a uma etiqueta virtual. Assim, cada leitor possui seu próprio mapa de proximidade. Se a diferença entre os valores de RSSI da etiqueta de referência de uma região e da alvo é menor que o *threshold* definido, então essa região é marcada com '1'. Em seguida, após feito isso para cada leitor, faz-se uma eliminação de áreas possíveis através de uma interseção dos mapas criados. Um ponto negativo é que os autores não expuseram com precisão em seu estudo as técnicas

utilizadas no algoritmo. Isso leva a crer que os valores RSSI obtidos pela equação de interpolação linear podem não ser suficientemente precisos.

Em [Oliveira et al. 2012], mostra-se que escolha do *threshold* ótimo para determinado objeto pode não ser apropriado para outro objeto localizado em uma região diferente no ambiente; dessa forma, utilizar um *threshold* fixo não é a melhor escolha. Ademais, esse estudo mostra que o erro médio de localização é uma função da variabilidade do RSSI no canal de comunicação, o que não foi considerado em [Zhao et al. 2007].

Em [Zhang et al. 2010], os autores buscam uma melhoria do algoritmo de localização VIRE. Para isso, utilizam-se novos métodos de interpolação para estimar os valores RSSI das etiquetas virtuais criadas. Sabe-se que o VIRE original utiliza o método de interpolação linear, porém esse ambiente pode produzir grandes erros em ambientes reais. Assim, este artigo propõe a utilização do método de interpolação de *Lagrange* e de *Newton* para prover resultados mais precisos.

Em [Jeon and Park 2009], é proposta uma configuração ótima para leitores RFID visando a melhoria do desempenho no posicionamento, de forma que não é necessária a adição de novos leitores no ambiente e nem a amplificação da intensidade do sinal. Os experimentos foram realizados em uma sala retangular, a qual foi dividida por zonas de detecção, 4 no total. Existem dois tipos de leitores: leitor base (fixo) e leitor alvo (móvel) Os resultados são mostrados de forma que para cada posicionamento do leitor alvo, é calculada a eficiência do algoritmo em cada uma das 4 zonas.

Em [Jin et al. 2006], propõe-se um mecanismo para minimizar o erro de localização em sistemas que utilizam o LANDMARC. Nesse trabalho, os autores procuram, por exemplo, diminuir a quantidade de etiquetas de referência candidatas a serem as mais próximas do objeto procurado. Isso é feito de modo que o algoritmo proposto leva em consideração como etiquetas de referência candidatas a serem as mais próximas do alvo, aquelas que são detectadas num mesmo instante pelos leitores que estão na área de alcance do alvo. Os resultados mostram que, no experimento feito, o erro médio do LANDMARC foi de 1.6m enquanto que para a abordagem proposta foi de 0.72m.

3.5 Resumo

Neste capítulo foi abordado o estado da arte das técnicas de localização *indoor*, os algoritmos alvo do estudo deste trabalho, o LANDMARC e o LANDMARC+; assim como alguns outros trabalhos relacionados. Na Seção 3.1, falou-se das técnicas de localização *indoor*. Em seguida, na Seção 3.2, apresentou-se o funcionamento do LANDMARC, o primeiro algoritmo que utilizou RFID para a localização de objeto em ambientes *indoor*, trabalhando com o conceito de etiqueta de referência para auxiliar esse processo. Na Seção 3.3, por sua vez, foi apresentado o LANDMARC+, o qual se propõe a melhorar os resultados obtidos pelo LANDMARC através da introdução de uma segunda estimativa de localização. Por fim, na Seção 3.4, foram abordados outros trabalhos relacionados, por exemplo, o VIRE, uma outra melhoria existente para o algoritmo LANDMARC.

CAPÍTULO 4

INFRAESTRUTURA DE HARDWARE E SOFTWARE

Neste capítulo é descrita a infraestrutura de software e hardware implementada para os experimentos realizados neste estudo. O sistema desenvolvido é formado basicamente por duas partes, um simples programa desenvolvido em Javascript na plataforma Node.js responsável por receber os dados dos leitores e gerar um arquivo com as informações recebidas, e o simulador implementado em C# que recebe esse arquivo como entrada e fornece ao usuário as saídas dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+. Em seguida, descreve-se a configuração da infraestrutura de hardware utilizada neste trabalho.

4.1 Programa Javascript

O programa tem como parâmetros a quantidade de tags e leitores no ambiente e a partir disso ele cria um arquivo no formato JSON com as informações estruturadas de forma a facilitar a integração com o simulador. Além disso, o programa tem um parâmetro referente a quantidade de iterações necessárias para a calibração do sistema. Por padrão, foi definido experimentalmente o valor 20. Um exemplo de arquivo gerado está mostrado abaixo.

```

{"result":[{"
  "identifier": {
    "type": "EUI-64",
    "value": "001bc50940100160"
  },
  "timestamp": "2014-02-13T15:15:47.398Z",
  "radioDecodings": [
    {
      "rssi": 206,
      "identifier": {
        "type": "EUI-64",
        "value": "001bc5094080005a"
      }
    },
    {
      "rssi": 180,
      "identifier": {
        "type": "EUI-64",
        "value": "001bc5094080005c"
      }
    },
    {
      "rssi": 177,
      "identifier": {
        "type": "EUI-64",
        "value": "001bc5094080005b"
      }
    },
    {
      "rssi": 167,
      "identifier": {
        "type": "EUI-64",
        "value": "001bc5094080005d"
      }
    }
  ]
}]

```

No caso acima, a título de demonstração, o programa gerou uma saída para um ambiente com 4 leitores e apenas uma tag. De maneira simplificada, a estrutura do arquivo pode ser interpretada como um vetor resultado no qual estão contidos cada tag presente no ambiente. Cada uma dessas tags, por sua vez, possui informações de ID, de tempo de leitura e, por fim, um vetor no qual cada posição representa um leitor que decodificou a referida etiqueta. Cada leitor contido nesse vetor possui informações de ID e o valor do RSSI lido.

Sendo assim, temos um arquivo bem estruturado com todas as informações necessárias para os algoritmos LANDMARC e LANDMARC+.

4.2 Simulador

O simulador foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação C# e as facilidades da plataforma .NET na interface de desenvolvimento Microsoft Visual Studio Ultimate 2012. Através desse simulador é possível observar as saídas dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+. Com uma interface bastante simples e amigável, o usuário escolhe inicialmente qual algoritmo ele deseja utilizar. Lembrando que ao escolher o LANDMARC+, ele já fornece automaticamente a saída de sua versão não incrementada. Em seguida, o usuário fornece informações das dimensões (comprimento e largura) do ambiente estudado. O simulador, por padrão, divide esse ambiente em duas áreas iguais, à saber A1 e A2, que são parâmetros de projeto do LANDMARC+. É considerado também que cada uma dessas áreas iguais A1 e A2 possui 4 etiquetas de referência e 1 uma etiqueta a ser localizada. As figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 mostram as telas de configuração do simulador.

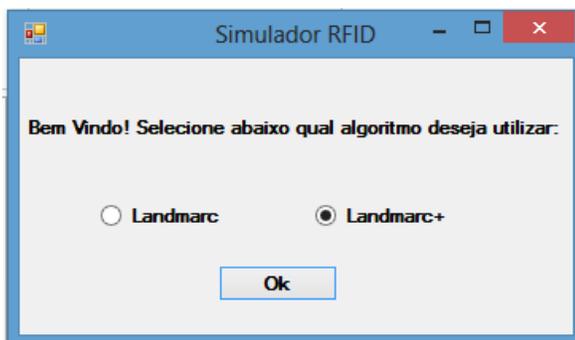


Figura 4.1 – Tela inicial do simulador

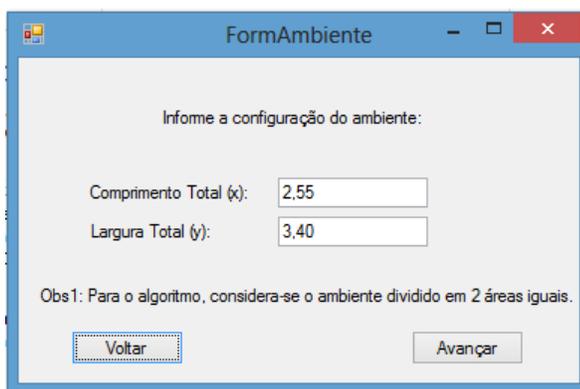


Figura 4.2 – Tela configurações de dimensões

	X	Y	ID
Leitor 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	30005a
Leitor 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	30005b
Leitor 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	30005c
Leitor 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	30005d

Figura 4.3– Tela informações de leitores

Área 1				Área 2			
	X	Y	ID		X	Y	ID
Tag de Ref. 1	0,4	3	100162	Tag de Ref. 5	1,67	3	100165
Tag de Ref. 2	0,87	3	100164	Tag de Ref. 6	2,15	3	10015d
Tag de Ref. 3	0,4	0,4	100161	Tag de Ref. 7	1,67	0,4	10015f
Tag de Ref. 4	0,87	0,4	100163	Tag de Ref. 8	2,15	0,4	100160

Figura 4.4 – Tela informações etiquetas de referência

O simulador de localização desenvolvido possui uma arquitetura dividida em módulos responsáveis em executar tarefas específicas. Basicamente, existe um módulo que recebe os parâmetros de configuração, um módulo para cada algoritmo implementado e um módulo para a leitura e interpretação do arquivo de entrada. A saída do simulador é dada ao usuário na tela do computador. Numa próxima versão, será implementada a função de imprimir o resultado em arquivos. Além disso, o simulador limita-se a construir ambientes físicos retangulares ou quadrados. Internamente, existe uma matriz `arrayReferencia`

[qtdeReferencia][3] na qual cada linha representa as respectivas informações x, y e Id de cada etiqueta de referência. Analogamente, existe uma matriz `arrayLeitores` [qtdeLeitores][3] na qual cada linha representa as respectivas informações x,y e Id de cada leitor. É importante notar que nenhum dos algoritmos implementados utiliza informação de posição dos leitores, porém, de toda forma, o simulador armazena essas informações pois pode ser importante para a geração de relatórios no futuro. Para a leitura e interpretação do arquivo em formato JSON, utilizou-se do paradigma orientado a objetos oferecido pela linguagem C#, para modelar e estruturar os dados em classes. Em relação a implementação do módulo responsável pelo LANDMARC+, apenas foi necessário implementar uma função que recebe o vetor de distâncias Euclidianas (E_j) e leva em conta apenas as etiquetas de referência do referido ambiente para o cálculo do vetor de distância euclidiana média. Ademais, há ainda uma função que recebe o vetor de distância euclidiana média e retorna a área à qual o objeto pertence.

Para a validação do simulador, foram utilizados testes de componentes (unitário) a cada funcionalidade desenvolvida de forma a verificar o funcionamento dos módulos. Isso é bastante importante para antecipar a descoberta de erros no projeto o quanto antes. Por exemplo, nessa fase, foram utilizados casos de teste triviais que foram validados através da execução do algoritmo por um humano. Além disso, em paralelo foram feitos testes de integração entre os módulos para testar as interfaces entre os componentes de forma que os módulos foram integrados um a um, com a execução de testes a cada passo. Em seguida, ao final do ciclo de desenvolvimento, foram realizados testes focados no comportamento do sistema para demonstrar que o referido atende as especificações do projeto.

4.3 Infraestrutura de Hardware

Após feita uma análise dos requisitos de hardware necessários ao projeto, decidiu-se pela utilização da solução oferecida pela empresa canadense *reelyActive*¹. Durante esse momento de definição, diversos emails foram trocados com diferentes fornecedores da tecnologia, com o objetivo de escolher a alternative mais viável ao presente estudo. Sendo assim, para a realização dos experimentos deste trabalho, foram utilizados os componentes listados abaixo:

- Um notebook/servidor;

¹ www.reelyactive.com

- 10 etiquetas RFID ativas (modelo: RA-T411);
- 4 leitores RFID (modelo: RA-R432);
- Um switch (modelo: RA-H122).

De acordo com os requisitos do LANDMARC [Ni et al. 2004], as etiquetas operam na frequência de 915 Mhz e estão programadas para emitir sinal a cada 7.5 segundos. A vida útil da bateria é estimada em, segundo o fabricante, um ano para a configuração de envio de beacons a cada segundo. Na configuração utilizada neste trabalho, estima-se um tempo de vida de 7 anos e meio. Em ambientes indoor, o *range* de alcance é maior que 10 metros; em *outdoor*, maior que 50 metros. Em cada emissão, cada tag emite seu identificador único. Na Figura 4.5, pode-se encontrar fotos dos componentes utilizados para montar a infraestrutura de localização. A comunicação entre os leitores e o servidor é feita através de cabos Cat5e, de forma que os leitores devem ser ligados em série, respeitando sempre um sentido. Cada leitor, por sua vez, é identificado por um ID único e detecta todas as etiquetas que estão a seu alcance assim como a força do sinal de cada uma. O primeiro leitor da cadeia de leitores é ligado ao switch que é ligado ao servidor. A alimentação fornecida a cadeia de leitores em série é também feita pelo mesmo cabo de comunicação. O switch tem o papel de enviar os pacotes recebidos dos leitores para o servidor. Na Figura 4.6, pode-se ver um esquema geral da infraestrutura montada.

É importante falar ainda do padrão de identificação usado para identificar cada componente físico do sistema protótipo. Para isso, o fabricante utiliza o padrão definido pelo IEEE (*Institute of Electronic Engineers*) EUI-64 (*Extended Unique Identifier*); padrão esse também utilizado na formação de endereços IPv6 de tipo unicast. O endereço IEEE EUI-64 é formado por 64 bits dos quais os 24 primeiros bits são usados para identificar o fabricante e os 40 restantes são usados para identificar cada dispositivo, destaque para o bastante grande espaço de endereços disponível. A Figura 4.7 mostra um exemplo de endereçamento com o padrão EUI-64.



Figura 4.5 – Componentes utilizados no protótipo (Etiqueta, leitor e Switch)



Figura 4.6 – Infraestrutura de Hardware utilizada no protótipo

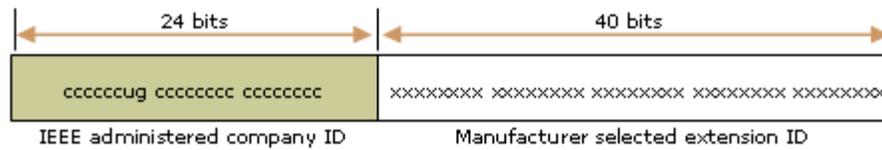


Figura 4.7 – Padrão de endereçamento EUI-64

4.4 Resumo

Neste capítulo, foi apresentada a arquitetura da infraestrutura de hardware e software utilizada no protótipo desenvolvido neste trabalho. Foram expostos, dessa forma, alguns detalhes de implementação, funcionalidades e interface gráfica do simulador desenvolvido. Além disso, para que ficasse claro que o simulador desenvolvido estava coerente com o proposto nas definições do LANDMARC e LANDMARC+, foram abordados as técnicas de teste e validação utilizadas em sua implementação.

Falou-se ainda dos padrões utilizados no projeto e detalhou-se as características dos componentes de hardware utilizados.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÕES EXPERIMENTAIS

Este capítulo apresenta os experimentos realizados e resultados obtidos neste trabalho. Na Seção 5.1, é descrito um experimento inicial de estudo da variação do RSSI com a distância seguido de seus resultados. Esse estudo foi feito em um ambiente de escritório e em um cômodo vazio, ou seja, sem a presença de móveis e pessoas. Na Seção 5.2, é descrito o experimento cujo objetivo é verificar como o posicionamento de etiquetas alvo no ambiente e a presença de divisórias nesse ambiente podem influenciar na estimativa de localização. Para isso, foram definidos 8 configurações de cenários diferentes.

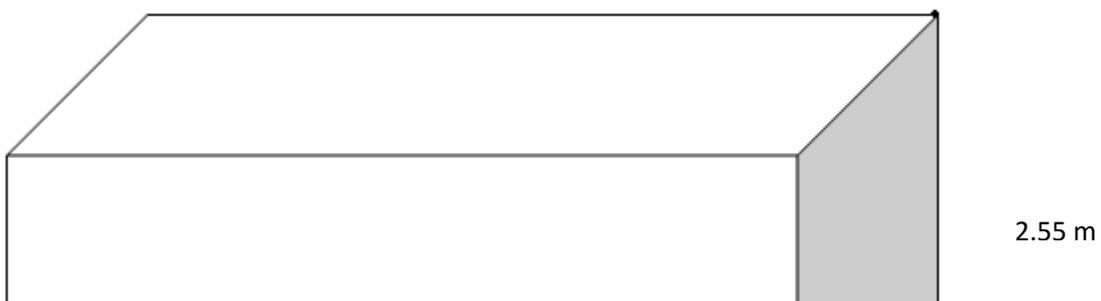
5.1 Variação do RSSI com a distância

O objetivo desse experimento é verificar o comportamento do RSSI quando a distância entre fonte e receptor aumenta gradativamente. Para realizá-lo, a infraestrutura de localização foi montada dentro de um ambiente vazio mostrado na Figura 5.1, ou seja, sem a presença de móveis e/ou pessoas. Primeiramente, foi realizado um mapeamento da área, a qual possui dimensões 2,30 m x 3,40m x 2,55m. Na Figura 5.1 é possível ver uma planta do ambiente e o ponto de referência que foi tomado como origem do sistema de coordenadas. A Figura 5.5

mostra uma foto do cômodo. Nesse cenário, foram utilizados apenas um leitor e uma tag. A coordenada z do leitor e etiqueta foi mantida fixa com valor 2,10m. O leitor também foi mantido fixo no ponto (2,10; 3,20; 2,10). O experimento consistiu na variação de 0,30m nas coordenadas (x,y) do valor inicial (1,80;2,90;2,10) até (0,30;1,40;2,10). Na Tabela 5.1 pode-se verificar os seis posicionamentos da etiqueta utilizados para a coleta de dados. Em cada posicionamento, foram coletadas 20 amostras consecutivas de valores de RSSI da etiqueta. O identificador da etiqueta usada nesse experimento foi “00-1b-c5-09-40-10-01-66” e do leitor foi “00-1b-c5-09-40-80-00-5d”. Para cada amostra de RSSI referente a cada um dos posicionamentos, foram calculados valores máximo, mínimo, média e desvio padrão. A Figura 5.2 mostra o gráfico RSSI x Distância gerado pelo software GNUPlot. Em todos os experimentos foram utilizados dois algoritmos significativos e arredondamento padrão.



Figura 5.1 – Fotografia do ambiente vazio



(0;0;0)



Figura 5.2 – Layout do ambiente vazio



ância

Figura 5.3 - Fotografia da infraestrutura montada em ambiente vazio

Tabela 5.1 – Posicionamentos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente vazio

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Posicionamento 1	1,80	2,90	2,10
Posicionamento 2	1,50	2,60	2,10
Posicionamento 3	1,20	2,30	2,10
Posicionamento 4	0,90	2,00	2,10
Posicionamento 5	0,60	1,70	2,10
Posicionamento 6	0,30	1,40	2,10

Tabela 5.2 – Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância sem presença de interferência de outras etiquetas em ambiente vazio

	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Desvio Padrão
Posicionamento 1	167	160	163,25	2,33
Posicionamento 2	129	124	127	2,03
Posicionamento 3	112	108	109,5	1,86
Posicionamento 4	106	99	100	1,78
Posicionamento 5	97	90	92	3,15
Posicionamento 6	83	79	80	1,90

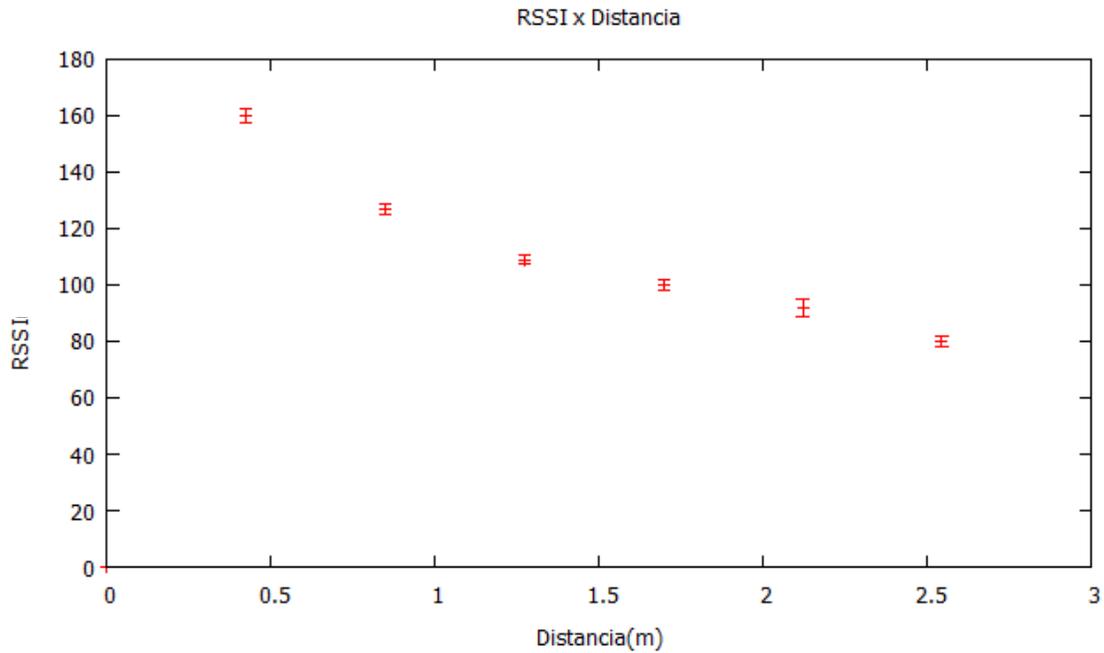


Figura 5.4 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente vazio e sem presença de interferência de outras etiquetas

Em seguida, com o objetivo de avaliar o efeito da interferência de sinal causada pela presença de outras etiquetas, foram introduzidas mais duas etiquetas, cujos identificadores são “00-1b-c5-09-40-10-01-63” e “00-1b-c5-09-40-10-01-64”. A Figura 5.5 mostra uma fotografia com a presença dessas duas etiquetas adicionais. A primeira na posição R1 (0,35; 2,55; 2,10) e a segunda na posição R2 (1,50; 0,90; 2,10). Para cada configuração de posicionamento, foram coletados os valores do RSSI da etiqueta estudada. Além disso, com o objetivo de analisar a dispersão dos dados, foram retirados de cada amostra os valores máximo, mínimo e desvio padrão. Os valores estão mostrados na Tabela 5.3.



Figura 5.5 – Fotografia da infraestrutura montada em ambiente vazio

Tabela 5.3 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância com presença de interferência de outras etiquetas em ambiente vazio

	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Desvio Padrão
Posicionamento 1	158	150	155	3.33
Posicionamento 2	124	115	117	3.03
Posicionamento 3	102	97	99	2.86
Posicionamento 4	91	85	87	3.78
Posicionamento 5	86	80	83	3.15
Posicionamento 6	83	73	76	4.20

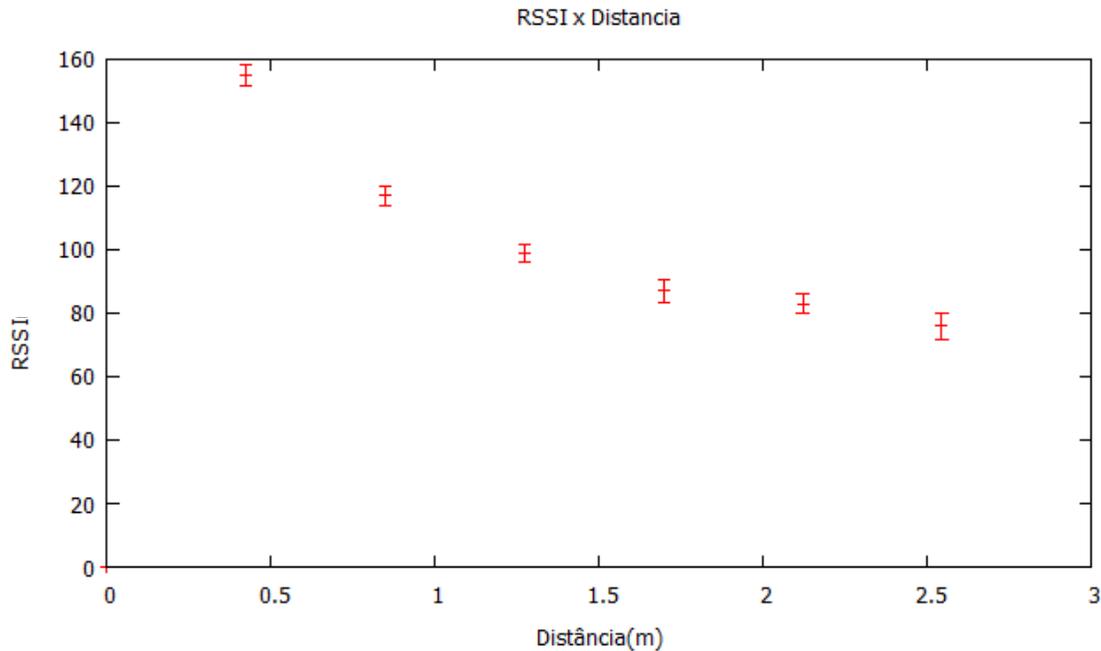


Figura 5.6 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente vazio com presença de interferência

Ainda para analisar a relação distância ao leitor x RSSI, foi feito um segundo experimento em um ambiente de escritório, no qual há a presença de móveis e pessoas circulando, pois foi feito em horário de expediente. A Figura 5.7 mostra a infraestrutura montada no ambiente utilizado para a experimentação. Nesse cenário, inicialmente, foram apenas utilizados um leitor e uma tag. É importante citar que foram usados o mesmo leitor e tag do experimento em ambiente vazio com o intuito de minimizar quaisquer diferenças de potência de emissão de sinal entre as diferentes etiquetas, por exemplo. Um mapeamento da área foi feito para verificar as dimensões do ambiente, os resultados desse mapeamento mostraram as medidas $6,90m \times 2,70m \times 3,00m$. O ponto de origem adotado foi mantido no canto inferior esquerdo. A coordenada z tanto do leitor como da etiqueta foi mantida em $2,25m$ para todos os casos de teste. O leitor também foi mantido fixo no ponto $(6,70; 2,50; 2,25)$. O experimento consistiu na variação das coordenadas $(x;y)$ em $0,30m$. Na *tabela 5.4* pode-se verificar os seis posicionamentos da etiqueta utilizados para a coleta de dados. Em cada posicionamento, foram coletadas 20 amostras consecutivas de medição da força de sinal da etiqueta em questão. Os valores estão mostrados na Tabela 5.5.



Figura 5.7 - Fotografia da infraestrutura montada em ambiente de escritório

Tabela 5.4 – Posicionamentos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente de escritório

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Posicionamento 1	6,40	2,20	2,25
Posicionamento 2	6,10	1,90	2,25
Posicionamento 3	5,80	1,60	2,25
Posicionamento 4	5,50	1,30	2,25
Posicionamento 5	5,20	1,00	2,25
Posicionamento 6	4,90	0,70	2,25

Tabela 5.5 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância sem presença de interferência em ambiente escritório

	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Desvio Padrão
Posicionamento 1	174	172	173	0,89
Posicionamento 2	148	140	143,75	2,63
Posicionamento 3	160	151	154,13	2,57
Posicionamento 4	134	129	13,5	1,71
Posicionamento 5	126	120	123	2,00
Posicionamento 6	120	110	113,57	3,06

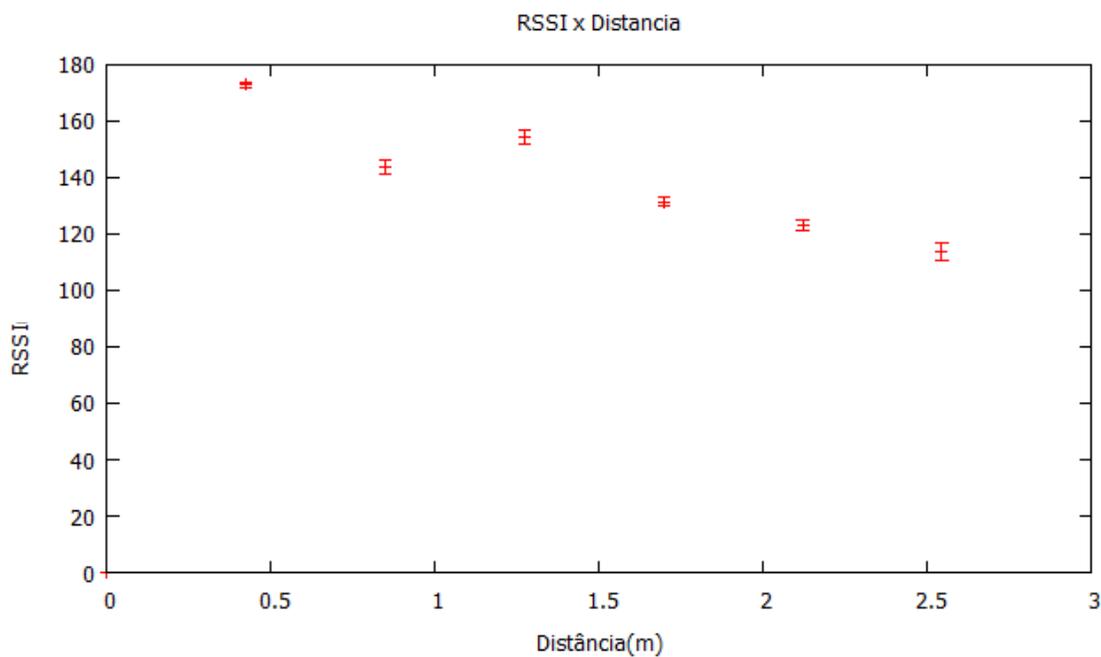


Figura 5.8 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente de escritório e sem presença de interferência

Em seguida, com o objetivo de avaliar o efeito da interferência de sinal causada pela presença de outras etiquetas, foram introduzidas mais duas etiquetas, as mesmas inseridas no experimento do ambiente vazio. A primeira na posição R1 (4,95; 1,85;2,25) e a segunda na posição R2 (6,10; 0,20; 2,25). A Figura 5.9 mostra uma fotografia desse cenário montado. Para cada configuração de posicionamento, foram coletados os valores do RSSI da etiqueta estudada. Além disso, com o objetivo de analisar a dispersão dos dados, foram retirados de cada amostra os valores máximo, mínimo e desvio padrão. As etiquetas R1 e R2 foram as mesmas utilizadas no experimento do ambiente vazio. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 5.6.



Figura 5.9 - Fotografia da infraestrutura montada em ambiente de escritório

obtidos usados no experimento RSSI x Distância com presença de interferência em ambiente escritório

	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Desvio Padrão
Posicionamento 1	172	169	170,83	1,07
Posicionamento 2	146	138	143,43	2,80
Posicionamento 3	139	133	136	2,00
Posicionamento 4	127	120	123,57	2,38
Posicionamento 5	116	106	111	2,49
Posicionamento 6	111	100	109,43	3,38

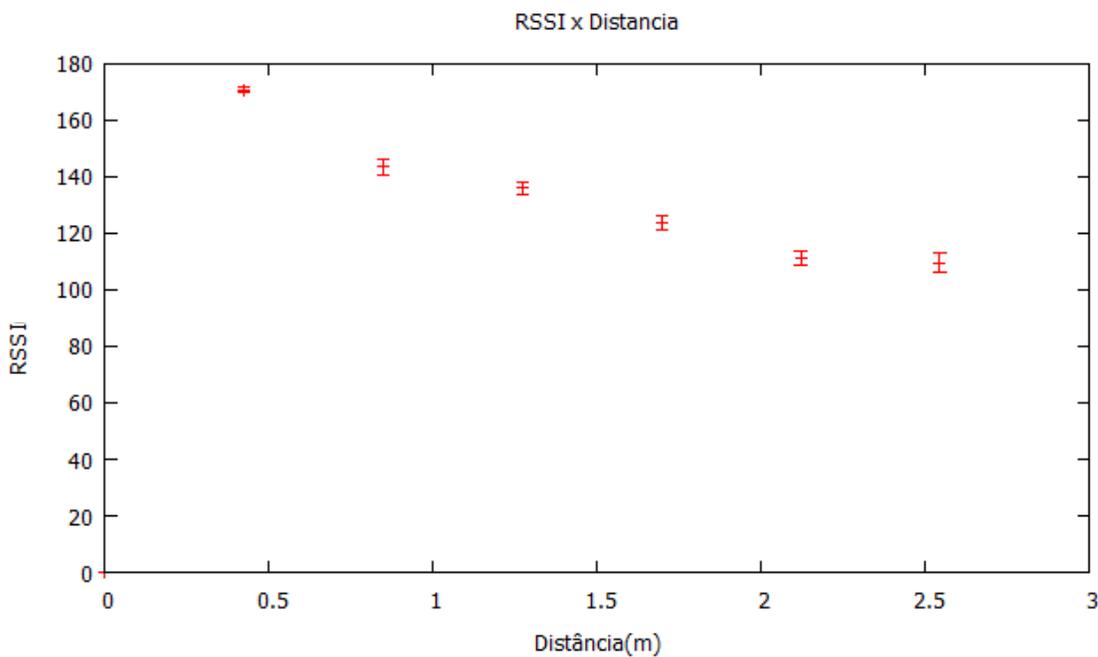


Figura 5.10 - Resultados obtidos usados no experimento RSSI x Distância em ambiente de escritório e com presença de interferência

5.2 Posicionamento das Etiquetas Alvo e Presença de Divisórias

O objetivo desse experimento é verificar como o posicionamento das etiquetas alvo e a presença de divisória impactam na eficiência das estimativas de localização dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+. Esse ambiente no qual foi realizado esse experimento é o mesmo que foi utilizado para o estudo anterior da variação do RSSI em cômodos vazios. Para cada posicionamento, foram coletadas 5 amostras de RSSI cada uma das quais foi utilizada como entrada para os algoritmos referidos neste trabalho. Na Figura 5.11, encontra-se uma foto da infraestrutura montada. As

respectivas posições de cada elemento e o mapeamento nome-identificador estão mostradas na tabela 5.7.

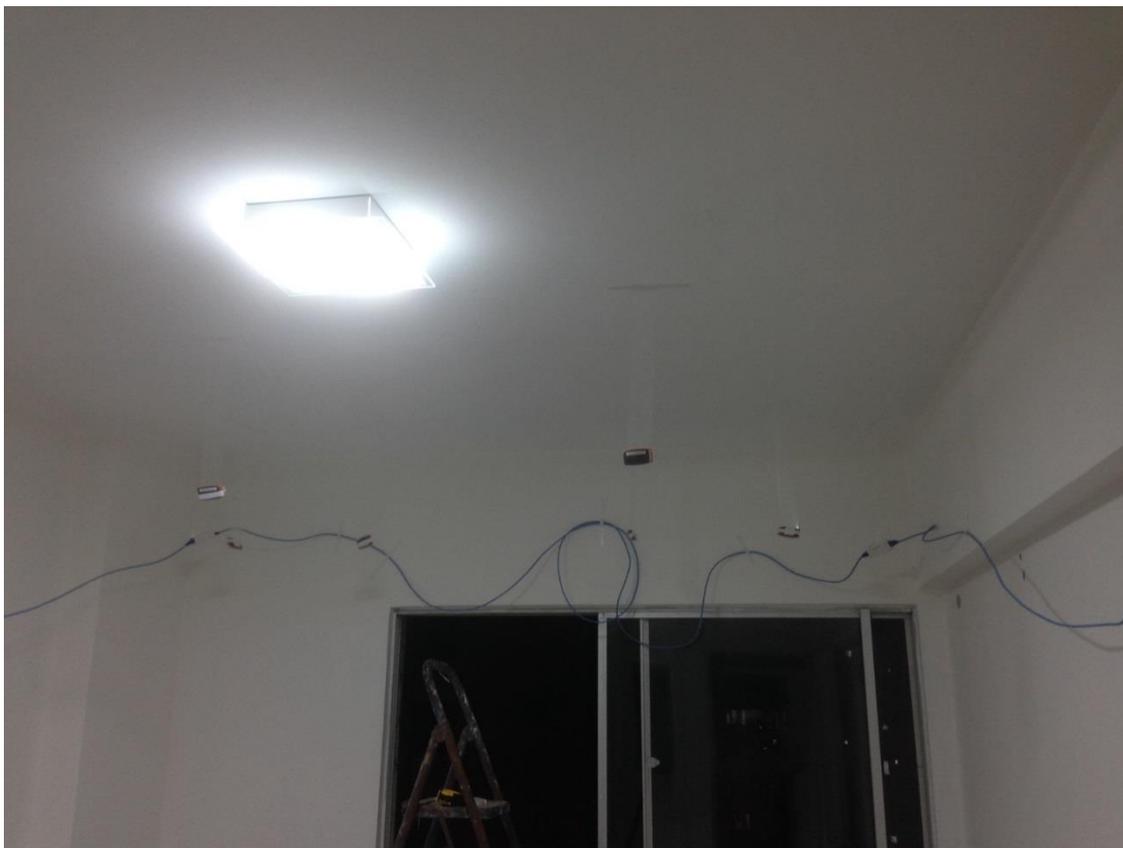


Figura 5.11 – Fotografia da infraestrutura de localização montada

Tabela 5.7 – Posicionamento dos leitores e etiquetas de referência para o experimento 5.2

ID	Elemento	X (m)	Y(m)
00-1b-c5-09-40-10-01-62	R1	0,40	3,00
00-1b-c5-09-40-10-01-64	R2	0,87	3,00
00-1b-c5-09-40-10-01-61	R3	0,40	0,40
00-1b-c5-09-40-10-01-63	R4	0,87	0,40
00-1b-c5-09-40-10-01-65	R5	1,67	3,00
00-1b-c5-09-40-10-01-5d	R6	2,15	3,00
00-1b-c5-09-40-10-01-5f	R7	1,67	0,40
00-1b-c5-09-40-10-01-60	R8	2,15	0,40
00-1b-c5-09-40-80-00-5a	L1	0,20	3,20
00-1b-c5-09-40-80-00-5b	L2	2,35	3,20
00-1b-c5-09-40-80-00-5c	L3	0,20	0,20
00-1b-c5-09-40-80-00-5d	L4	2,35	0,20

Inicialmente, foram definidos 8 configurações de cenários de estudo, os quais são descritos abaixo. Cada um desses cenários foi definido com o objetivo de estudar o comportamento dos algoritmos em cada região dos ambientes. A Tabela 5.8 resume as configurações dos cenários definidos.

Tabela 5.8 – Resumo das configurações dos cenários definidos

Cenário	Descrição
Cenário 1	Etiquetas a serem localizadas estão dentro dos retângulos formados pelas etiquetas de referência. Não há presença de divisória.
Cenário 2	Idêntico ao Cenário 1, porém há presença de divisória.
Cenário 3	Etiquetas a serem localizadas estão fora do retângulo formado pelas etiquetas de referência e próximas às margens laterais direita e esquerda do cômodo. Não há presença de divisória.
Cenário 4	Idêntico ao Cenário 3, porém há presença de divisória.
Cenário 5	Etiquetas alvo estão localizadas próximas à fronteira entre A1 e A2 e fora dos retângulos formados pelas etiquetas de referência. Não há presença de divisória.
Cenário 6	Idêntico ao Cenário 5, porém há presença de divisória.
Cenário 7	Etiquetas alvo estão localizadas nos extremos inferior e superior do cômodo e fora dos retângulos formados pelas etiquetas de referência. Não há presença de divisória.
Cenário 8	Idêntico ao Cenário 7, porém há presença de divisória.

Cenário 1

Este cenário está mostrado na Figura 5.12 e as respectivas posições de cada elemento estão mostrados na Tabela 5.7. O objeto j_1 foi aleatoriamente posicionado dentro do retângulo formado pelas etiquetas de referência R_1 , R_2 , R_3 e R_4 . O objeto j_2 , por sua vez, foi aleatoriamente posicionado dentro do retângulo formado pelas etiquetas de referência R_5 , R_6 , R_7 e R_8 . A linha tracejada entre as áreas A1 e A2 indica que não há separação física entre os ambientes, apenas uma linha marcada no chão. As coordenadas randomizadas dos objetos j_1 e j_2 estão mostradas na

Tabela 5.9. Na Figura 5.13 encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j1$. Na Figura 5.14, por sua vez, encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j2$. Na Tabela 5.9, é possível verificar a saída dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+. O objetivo desse cenário é verificar a eficiência dos algoritmos de localização quando as etiquetas a serem localizadas estão dentro dos retângulos formados pelas etiquetas de referência do ambiente ao qual pertencem.

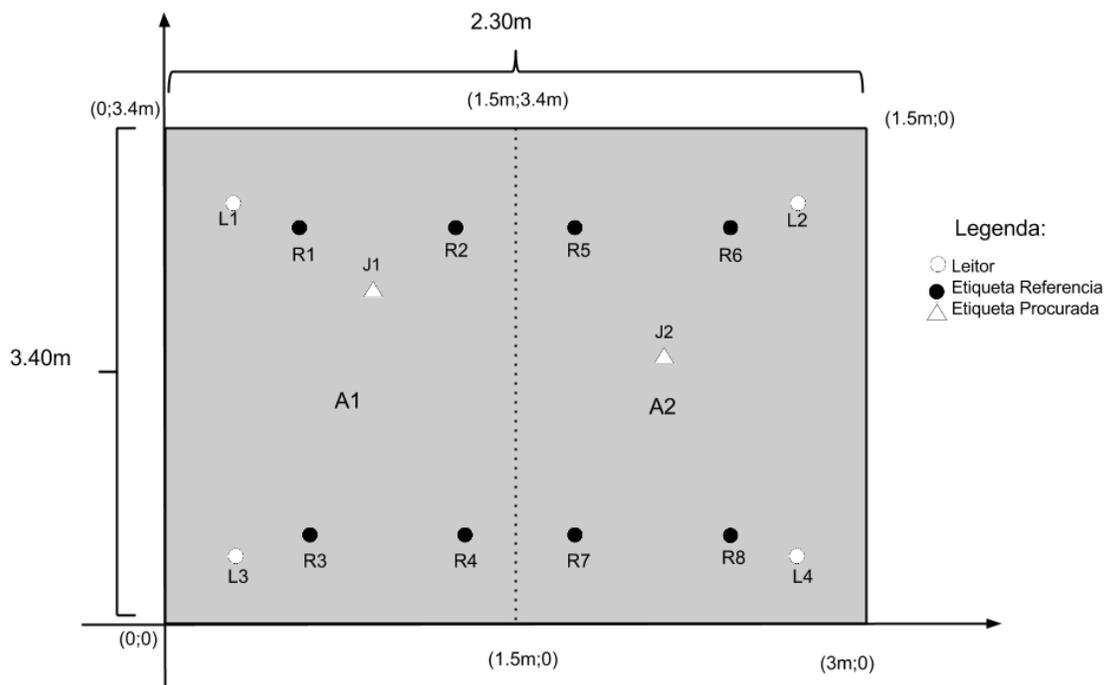


Figura 5.12 – Cenário 1

Tabela 5.9 – Posicionamento de $j1$ e $j2$ para os Cenários 1 e 2

Elemento	X (m)	Y(m)
J1	0,75	2,30
J2	1,80	2,00

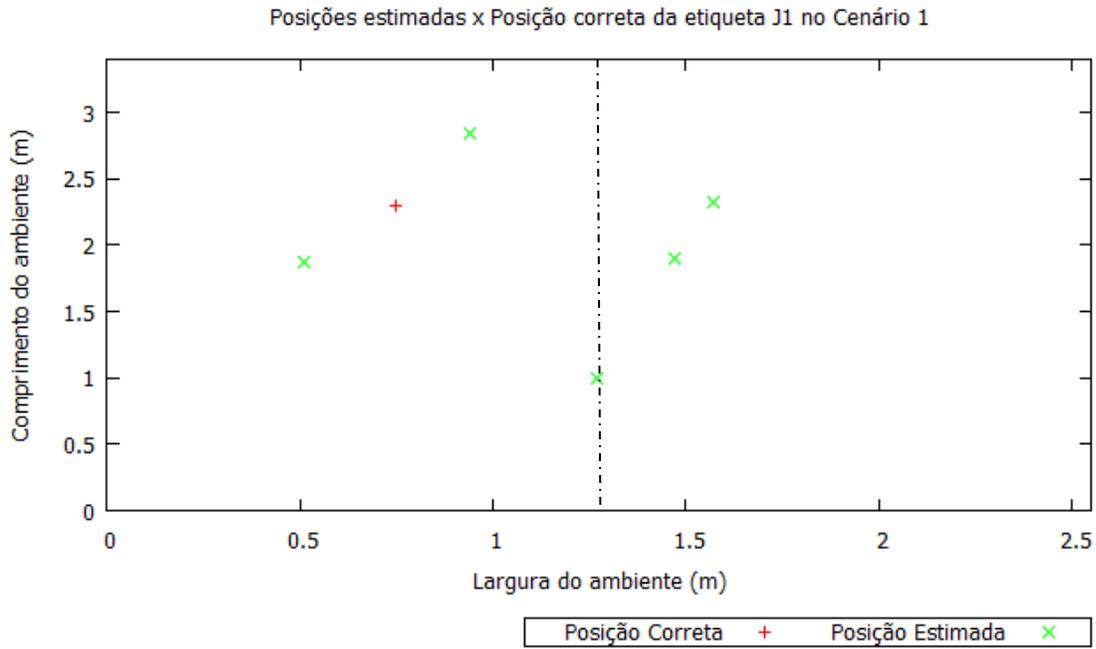


Figura 5.13 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 1

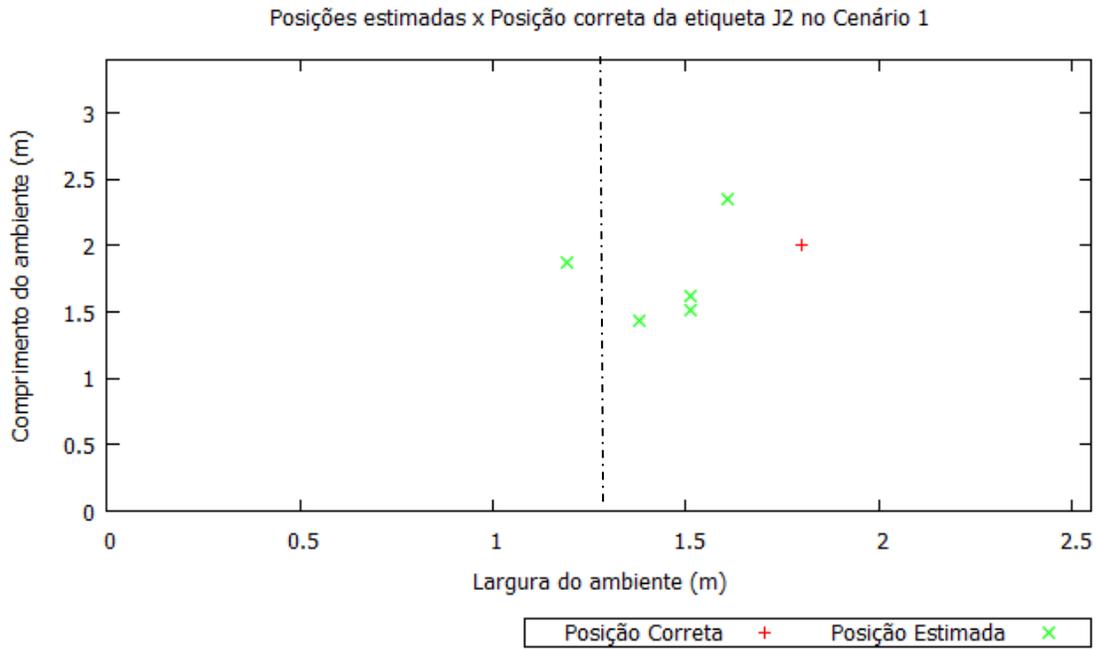


Figura 5.14 - Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 1

Tabela 5.10 – Resultados obtidos com o Cenário 1

	J1 (Ambiente A1)				J2 (Ambiente A2)			
	LANDMARC		LANDMARC+		LANDMARC		LANDMARC+	
Amostra 1	A1	(0,51;1,87)	A1	A1	A1	(1,19; 1,87)	A1	A2
Amostra 2	A2	(1,47; 1,90)	A2	A1	A2	(1,38; 1,44)	A2	A1
Amostra 3	A1	(0,94; 2,84)	A1	A1	A2	(1,51; 1,62)	A2	A2
Amostra 4	A2	(1,57; 2,33)	A2	A1	A2	(1,61; 2,35)	A2	A1
Amostra 5	A1	(1,27; 1,00)	A1	A2	A2	(1,51, 1,52)	A2	A2

A Tabela 5.10 mostra os resultados obtidos no experimento do Cenário 1. Na coluna do LANDMARC são apresentadas a área da estimativa e as coordenadas dessa estimativa. Na coluna do LANDMARC+, a informação da coluna mais à esquerda corresponde à mesma estimativa proposta pela LANDMARC e a mais à direita é a nova estimativa proposta pelo LANDMARC+. Pode-se ver que em todas as vezes que o LANDMARC errou, o LANDMARC+ acertou.

Cenário 2:

Idêntico ao Cenário 1, porém com a presença de uma divisória entre os dois ambientes. Essa divisória é feita de isopor e tem altura de 1 metro e espessura de 0,05 metro. Ela foi afixada no teto do cômodo de forma a dividir fisicamente os ambientes A1 e A2. (Ver Figura 5.15). As coordenadas randomizadas dos objetos $j1$ e $j2$ também foram as mesmas e estão mostradas na Tabela 5.9. Na Figura 5.16 encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j1$. Na Figura 5.17, por sua vez, encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j2$. Na Tabela 5.11, é possível verificar a saída dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+. O objetivo desse cenário é verificar a eficiência dos algoritmos de localização com a presença de um obstáculo físico entre os ambientes.



Figura 5.15 – Fotografia da divisória montada

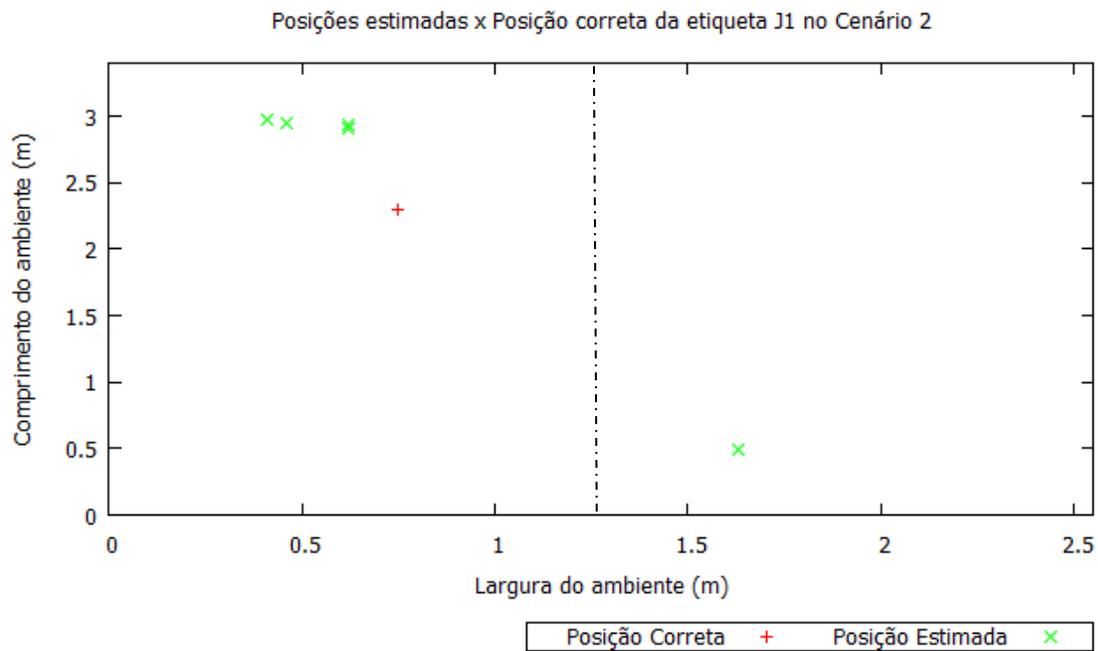


Figura 5.16 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 2

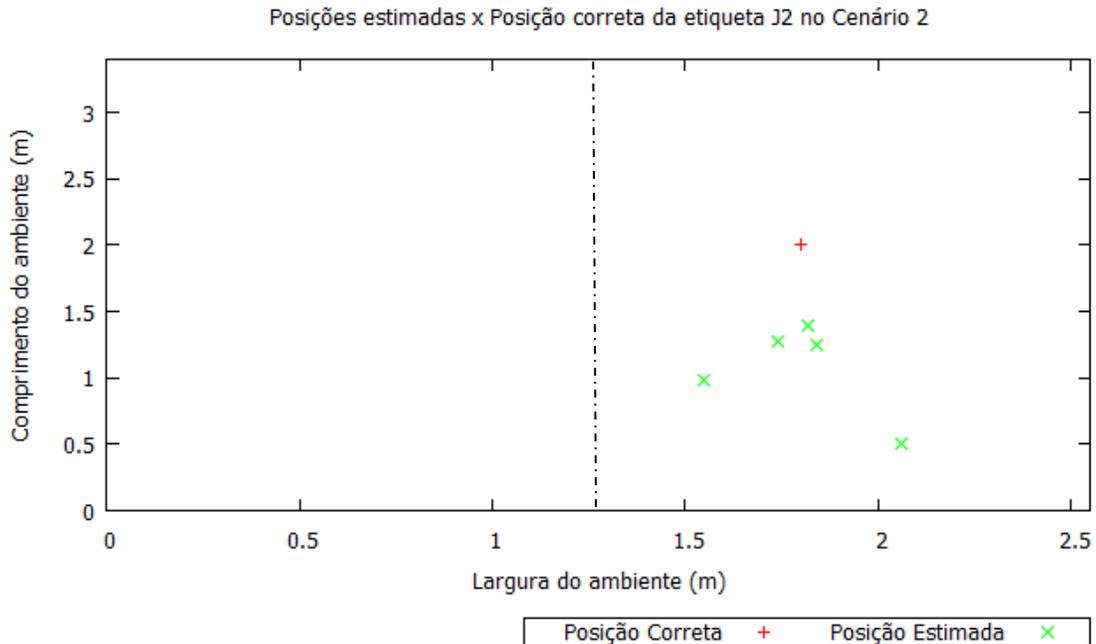


Figura 5.17 -- Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 2

Tabela 5.11 – Resultados obtidos no Cenário 2

	J1 (Ambiente A1)				J2 (Ambiente A2)			
	LANDMARC		LANDMARC+		LANDMARC		LANDMARC+	
Amostra 1	A1	(0,62;2,93)	A1	A1	A2	(1,74; 1,27)	A2	A2
Amostra 2	A1	(0,62; 2,91)	A1	A1	A2	(1,82; 1,40)	A2	A2
Amostra 3	A2	(1,63; 0,49)	A2	A2	A2	(1,55; 0,99)	A2	A2
Amostra 4	A1	(0,41; 2,98)	A1	A1	A2	(2,06; 0,50)	A2	A2
Amostra 5	A1	(0,46; 2,95)	A1	A1	A2	(1,84; 1,25)	A2	A2

A Tabela 5.11 mostra os resultados obtidos no experimento do Cenário 2. Na coluna do LANDMARC são apresentadas a área da estimativa e as coordenadas dessa estimativa. Na coluna do LANDMARC+, a informação da coluna mais à esquerda corresponde à mesma estimativa proposta pela LANDMARC e a mais à direita é a nova estimativa proposta pelo LANDMARC+. Pode-se ver que, nesse caso, as estimativas propostas pelos dois algoritmos coincidiram.

Tabela 5.12 - Posicionamento de j1 e j2 para os Cenários 3 e 4

Elemento	X (m)	Y(m)
J1	0,15	1,50
J2	2,30	1,00

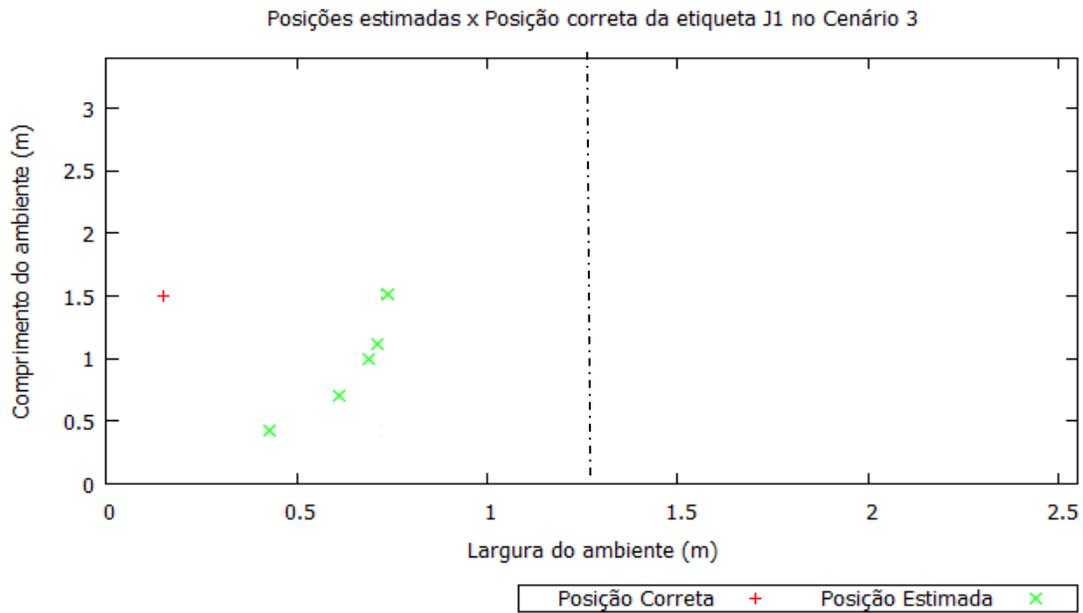


Figura 5.19 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 3

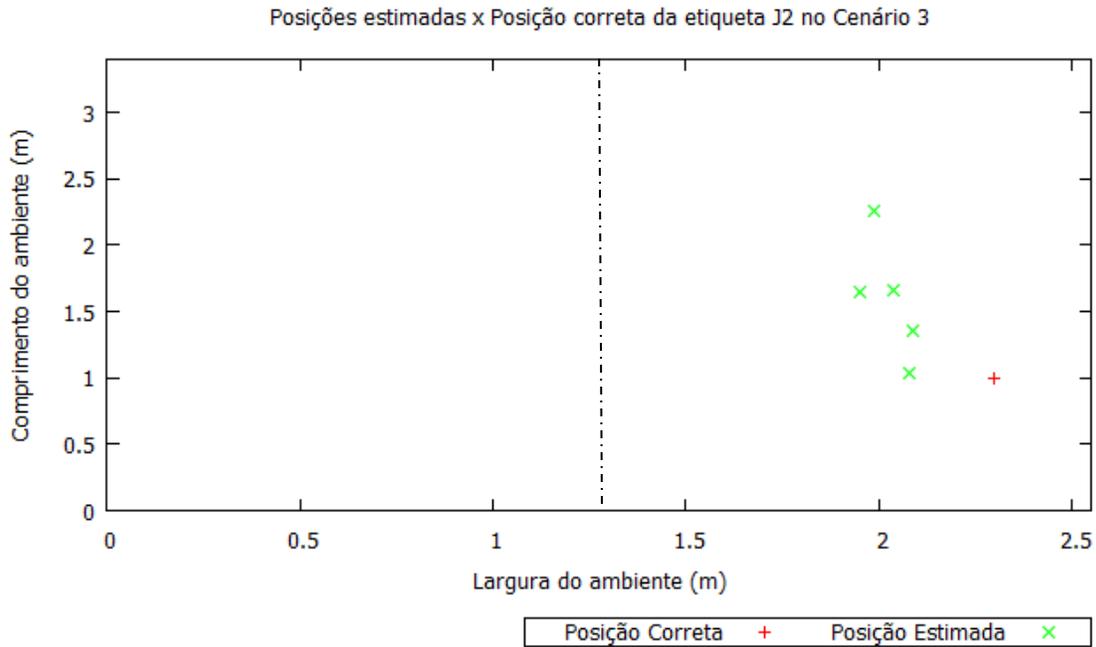


Figura 5.20 -- Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 3

Tabela 5.13 – Resultados obtidos no Cenário 3

	J1 (Ambiente A1)				J2 (Ambiente A2)			
	LANDMARC	LANDMARC+	LANDMARC	LANDMARC+	LANDMARC	LANDMARC+	LANDMARC	LANDMARC+
Amostra 1	A1	(0,61; 0,70)	A1	A1	A2	(2,04; 1,66)	A2	A2
Amostra 2	A1	(0,43; 0,42)	A1	A1	A2	(1,95; 1,65)	A2	A2
Amostra 3	A1	(0,74; 1,51)	A1	A1	A2	(1,99; 2,26)	A2	A2
Amostra 4	A1	(0,71; 1,11)	A1	A1	A2	(2,09; 1,35)	A2	A2
Amostra 5	A1	(0,69; 1,00)	A1	A1	A2	(2,08; 1,04)	A2	A2

A Tabela 5.13 mostra os resultados obtidos no experimento do Cenário 3. Na coluna do LANDMARC são apresentadas a área da estimativa e as coordenadas dessa estimativa. Na coluna do LANDMARC+, a informação da coluna mais à esquerda corresponde à mesma estimativa proposta pela LANDMARC e a mais à direita é a nova estimativa proposta pelo LANDMARC+. Pode-se ver que, nesse caso, as estimativas propostas pelos dois algoritmos coincidiram.

Cenário 4:

Idêntico ao Cenário 3, porém com a presença de uma divisória entre os dois ambientes. Essa divisória é feita de isopor e tem altura de 1 metro e espessura de 0,05 metro. Ela foi afixada no teto do cômodo de forma a dividir fisicamente os ambientes A1 e A2. (Ver Figura 5.15). As coordenadas randomizadas dos objetos $j1$ e $j2$ também foram as mesmas e estão mostradas na Tabela 5.12. Na Figura 5.21 encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j1$. Na Figura 5.22, por sua vez, encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j2$. Na Tabela 5.14, é possível verificar a saída dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+. O objetivo desse cenário é verificar a eficiência dos algoritmos de localização com a presença de um obstáculo físico entre os ambientes.

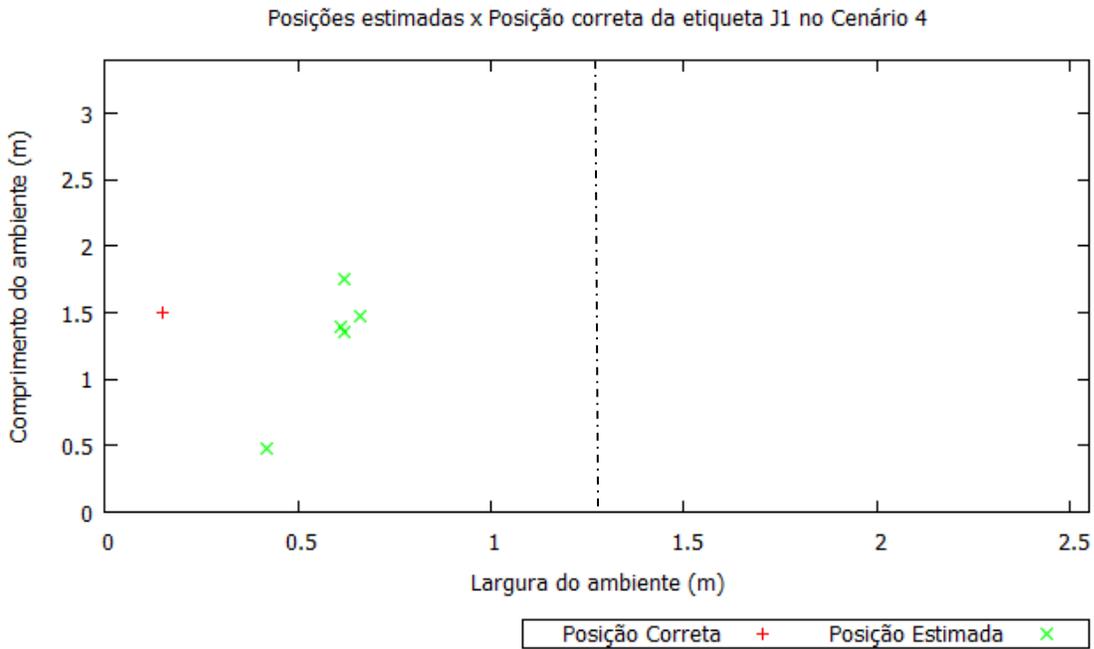


Figura 5.21 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 4

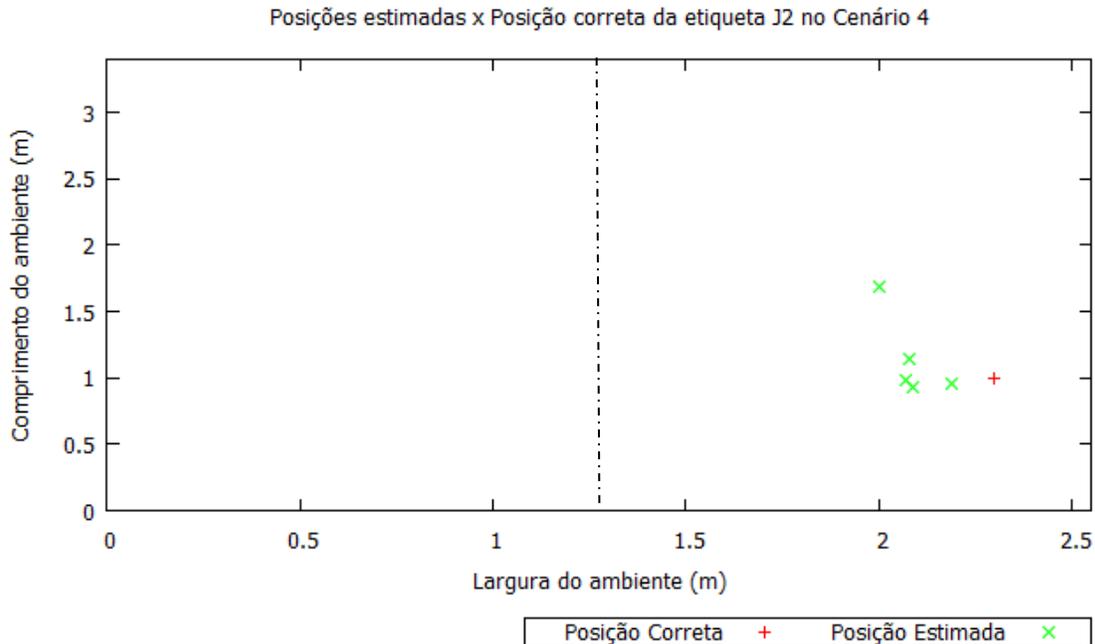


Figura 5.22 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 4

Tabela 5.14 – Resultados obtidos no Cenário 4

	J1 (Ambiente A1)				J2 (Ambiente A2)			
	LANDMARC	LANDMARC+		LANDMARC	LANDMARC+			
Amostra 1	A1	(0,61; 1,40)	A1	A1	A2	(2,07; 0,98)	A2	A2
Amostra 2	A1	(0,66; 1,47)	A1	A1	A2	(2,08; 1,14)	A2	A2
Amostra 3	A1	(0,42; 0,48)	A1	A1	A2	(2,09; 0,93)	A2	A2
Amostra 4	A1	(0,62; 1,35)	A1	A1	A2	(2,19; 0,96)	A2	A2
Amostra 5	A1	(0,62; 1,76)	A1	A1	A2	(2,00; 1,69)	A2	A2

A Tabela 5.14 mostra os resultados obtidos no experimento do Cenário 4. Na coluna do LANDMARC são apresentadas a área da estimativa e as coordenadas dessa estimativa. Na coluna do LANDMARC+, a informação da coluna mais à esquerda corresponde à mesma estimativa proposta pela LANDMARC e a mais à direita é a nova estimativa proposta pelo LANDMARC+. Pode-se ver que, nesse caso, as estimativas propostas pelos dois algoritmos coincidiram.

Cenário 5:

Este cenário está mostrado na Figura 5.23 e as respectivas posições de cada elemento estão mostrados na Tabela 5.7. O objeto *j1* foi aleatoriamente posicionado dentro do retângulo

formado pelas retas $y = 0$, $x = 0,87$, $y = 3,40$ e $x = 1,27$. O objeto $j2$, por sua vez, foi aleatoriamente posicionado dentro do retângulo formado pelas retas $y = 0$, $x = 1,27$, $y = 3,40$ e $x = 1,67$. A linha tracejada entre as áreas $A1$ e $A2$ indica que não há separação física entre os ambientes, apenas uma linha marcada no chão. As coordenadas randomizadas dos objetos $j1$ e $j2$ estão mostradas na Tabela 5.15. Na Figura 5.24 encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j1$. Na Figura 5.25, por sua vez, encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j2$. Na Tabela 5.16, é possível verificar a saída dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+. O objetivo desse cenário é verificar a eficiência dos algoritmos de localização quando as etiquetas alvo estão localizadas próximas à fronteira entre $A1$ e $A2$ e fora dos retângulos formados pelas etiquetas de referência.

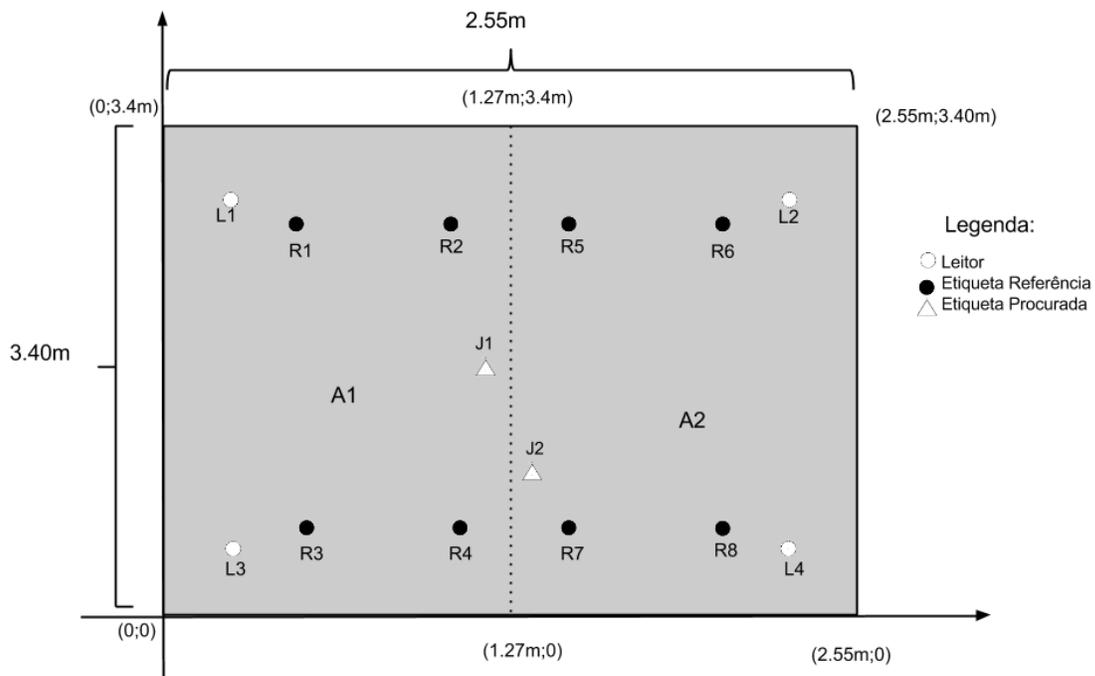


Figura 5.23 – Cenário 5

Tabela 5.15 – Posicionamento de j1 e j2 para os Cenários 5 e 6

Elemento	X (m)	Y(m)
J1	1,00	1,60
J2	1,35	1,25

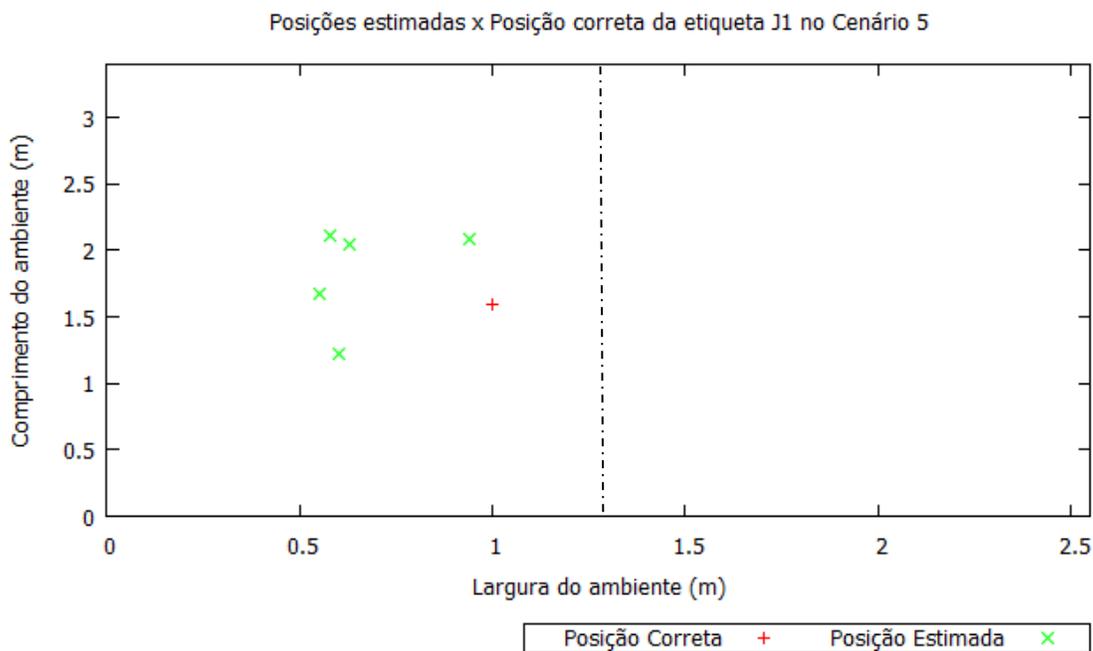


Figura 5.24 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 5

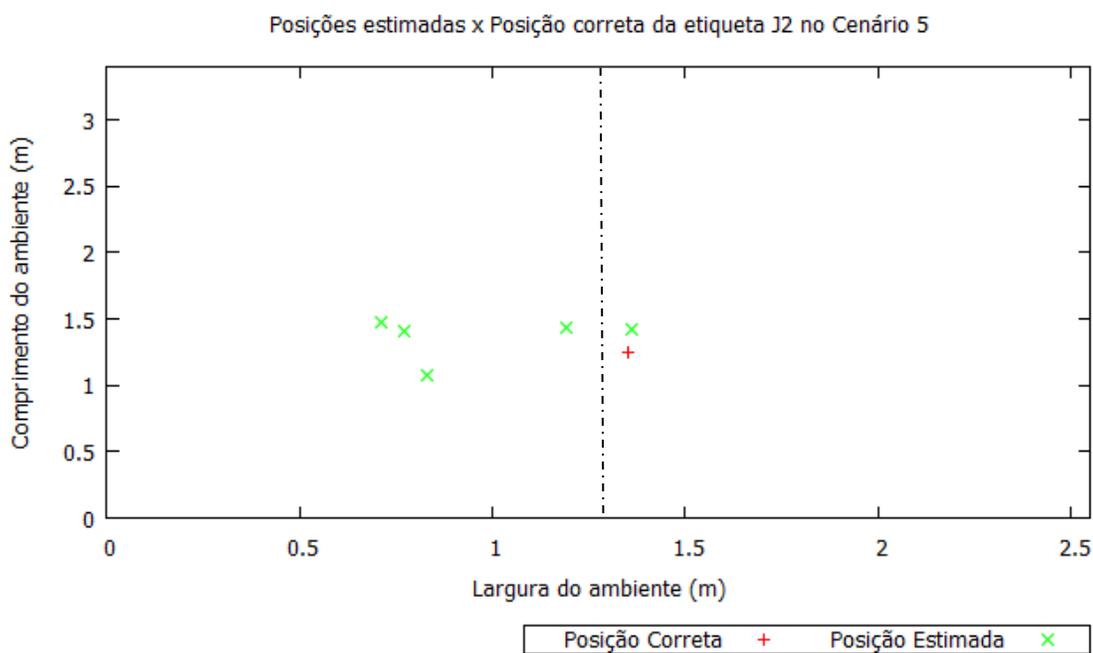


Figura 5.25 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 5

Tabela 5.16 – Resultados obtidos no cenário 5

	J1 (Ambiente A1)				J2 (Ambiente A2)			
	LANDMARC		LANDMARC+		LANDMARC		LANDMARC+	
Amostra 1	A1	(0,55; 1,67)	A1	A1	A2	(1,36; 1,42)	A2	A2
Amostra 2	A1	(0,58; 2,11)	A1	A2	A1	(1,19; 1,43)	A1	A1
Amostra 3	A1	(0,94; 2,09)	A1	A2	A1	(0,77; 1,41)	A1	A1
Amostra 4	A1	(0,63; 2,05)	A1	A2	A1	(0,71; 1,47)	A1	A2
Amostra 5	A1	(0,60; 1,22)	A1	A1	A1	(0,83; 1,08)	A1	A2

A Tabela 5.16 mostra os resultados obtidos no experimento do Cenário 5. Na coluna do LANDMARC são apresentadas a área da estimativa e as coordenadas dessa estimativa. Na coluna do LANDMARC+, a informação da coluna mais à esquerda corresponde à mesma estimativa proposta pela LANDMARC e a mais à direita é a nova estimativa proposta pelo LANDMARC+. Pode-se ver que, nesse caso, para o ambiente $j1$, a estimativa proposta pelo LANDMARC foi sempre suficiente; por outro lado, para o objeto $j2$, o LANDMARC+ errou nas suas duas estimativas nas Amostras 2 e 3.

Cenário 6:

Idêntico ao Cenário 5, porém com a presença de uma divisória entre os dois ambientes. Essa divisória é feita de isopor e tem altura de 1 metro e espessura de 0,05 metro. Ela foi afixada no teto do cômodo de forma a dividir fisicamente os ambientes A1 e A2. (Ver Figura 5.15). As coordenadas randomizadas dos objetos $j1$ e $j2$ também foram as mesmas e estão mostradas na Tabela 5.15. Na Figura 5.26 encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j1$. Na Figura 5.27, por sua vez, encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j2$. Na Tabela 5.76, é possível verificar a saída dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+. O objetivo desse cenário é verificar a eficiência dos algoritmos de localização com a presença de um obstáculo físico entre os ambientes.

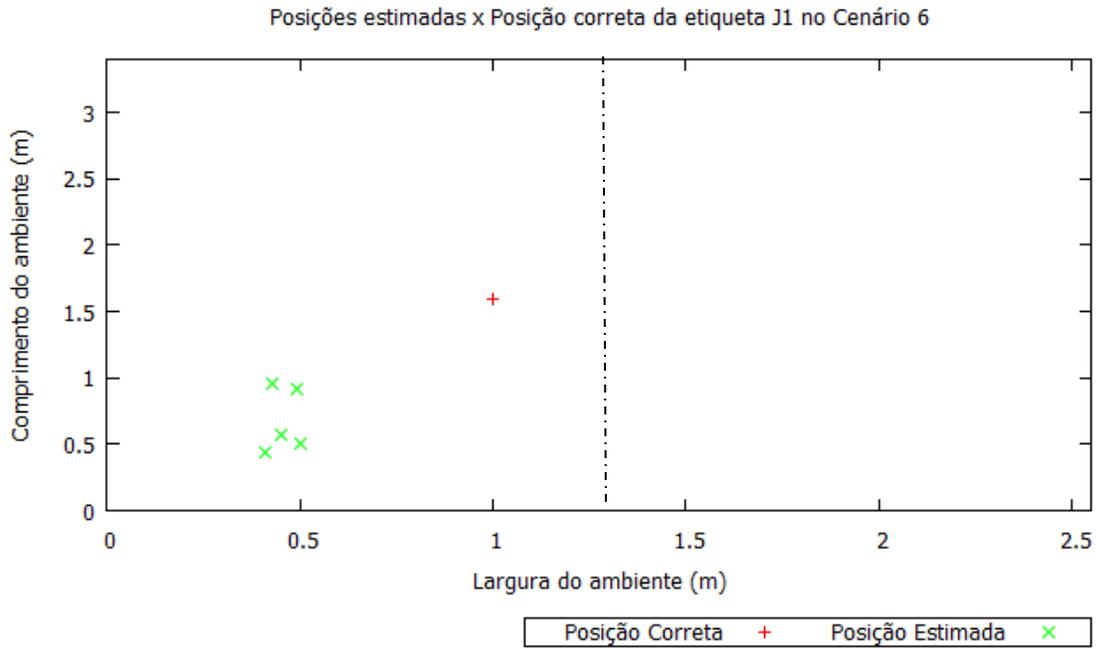


Figura 5.26 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no Cenário 6

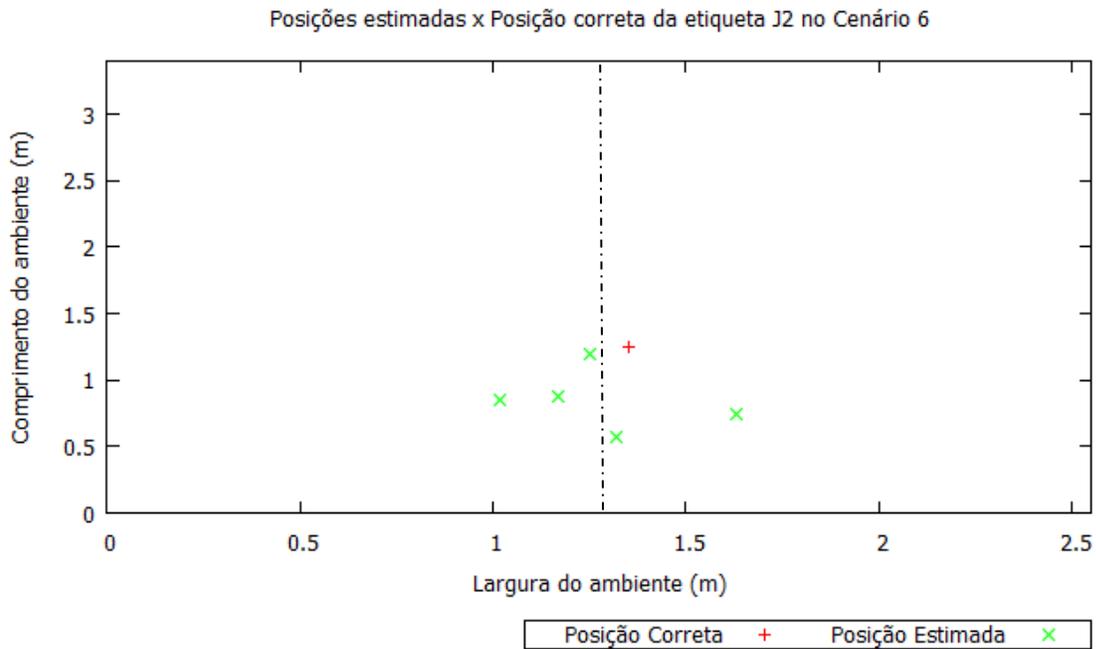


Figura 5.27 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no Cenário 6

Tabela 5.17 – Resultados obtidos no Cenário 6

	J1 (Ambiente A1)				J2 (Ambiente A2)			
	LANDMARC		LANDMARC+		LANDMARC		LANDMARC+	
Amostra 1	A1	(0,41; 0,44)	A1	A1	A1	(1,17; 0,88)	A1	A2
Amostra 2	A1	(0,49; 0,92)	A1	A1	A1	(1,25; 1,19)	A1	A2
Amostra 3	A1	(0,43; 0,96)	A1	A1	A2	(1,63; 0,75)	A2	A2
Amostra 4	A1	(0,45; 0,57)	A1	A1	A1	(1,02; 0,85)	A1	A2
Amostra 5	A1	(0,50; 0,51)	A1	A1	A2	(1,32; 0,57)	A2	A2

A Tabela 5.17 mostra os resultados obtidos no experimento do Cenário 6. Na coluna do LANDMARC são apresentadas a área da estimativa e as coordenadas dessa estimativa. Na coluna do LANDMARC+, a informação da coluna mais à esquerda corresponde à mesma estimativa proposta pela LANDMARC e a mais à direita é a nova estimativa proposta pelo LANDMARC+. Pode-se ver que, nesse caso, para o ambiente $j1$, a estimativa proposta pelo LANDMARC foi sempre suficiente; por outro lado, para o objeto $j2$, o LANDMARC errou nas Amostras 1, 2 e 4.; o LANDMARC+, por sua vez, sempre acertou na sua segunda estimativa.

Cenário 7:

Este cenário está mostrado na Figura 5.28 e as respectivas posições de cada elemento estão mostrados na Tabela 5.7. O objeto $j1$ foi aleatoriamente posicionado dentro do retângulo formado pelas retas $y = 0$, $x = 0,4$, $y = 0,60$ e $x = 0,87$. O objeto $j2$, por sua vez, foi aleatoriamente posicionado dentro do retângulo formado pelas retas $y = 2,80$, $x = 1,67$, $y = 3,40$ e $x = 2,15$. A linha tracejada entre as áreas A1 e A2 indica que não há separação física entre os ambientes, apenas uma linha marcada no chão. As coordenadas randomizadas dos objetos $j1$ e $j2$ estão mostradas na Tabela 5.18. Na Figura 5.29 encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j1$. Na Figura 5.30, por sua vez, encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j2$. Na Tabela 5.19, é possível verificar a saída dos algoritmos Landmarc e Landmarc+. O objetivo desse cenário é verificar a eficiência dos algoritmos de localização quando as etiquetas alvo estão localizadas nos extremos inferior e superior do cômodo e fora dos retângulos formados pelas etiquetas de referência.

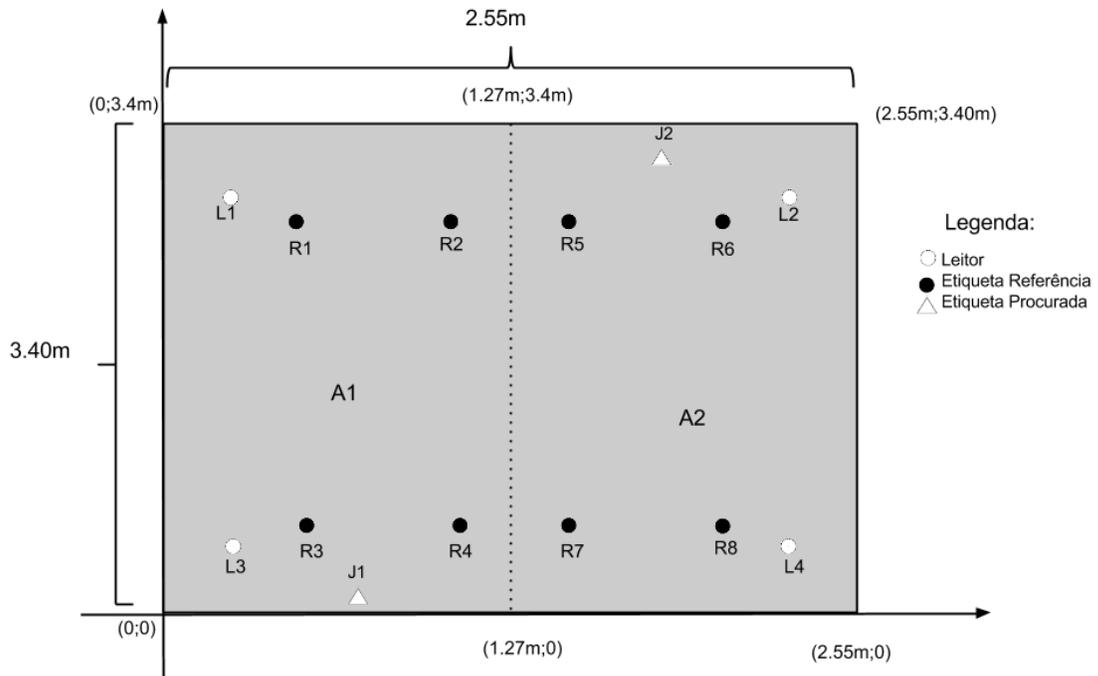


Figura 5.28 – Cenário 7

Tabela 5.18 – Posicionamento de j1 e j2 para os Cenários 7 e 8

Elemento	X (m)	Y(m)
J1	0,60	0,20
J2	1,80	3,20

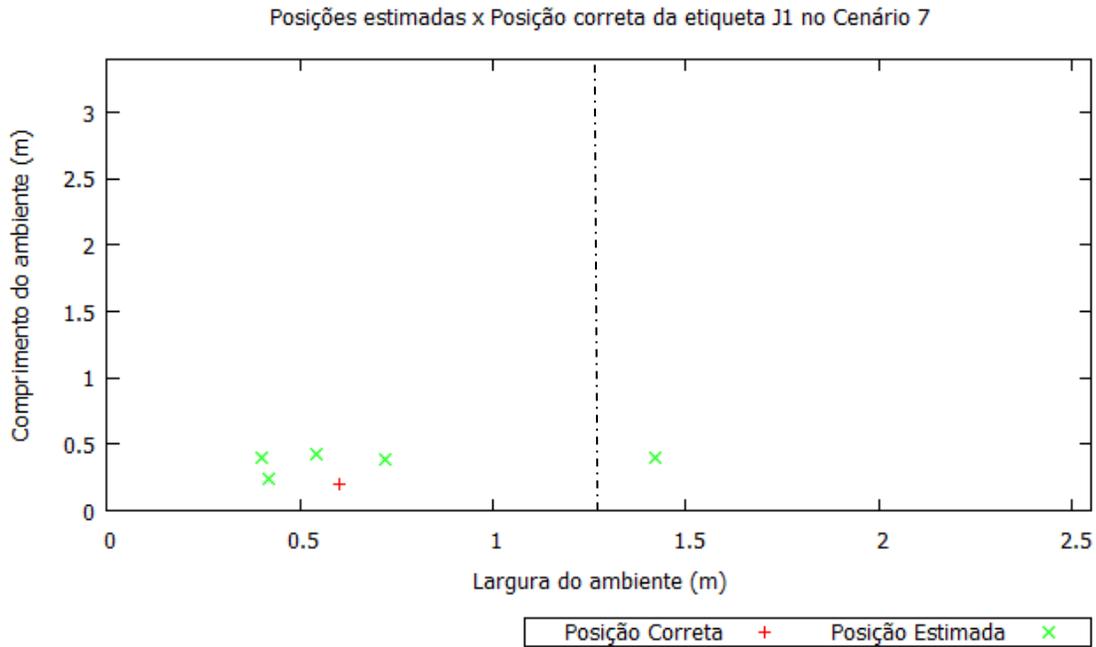


Figura 5.29 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no cenário 7

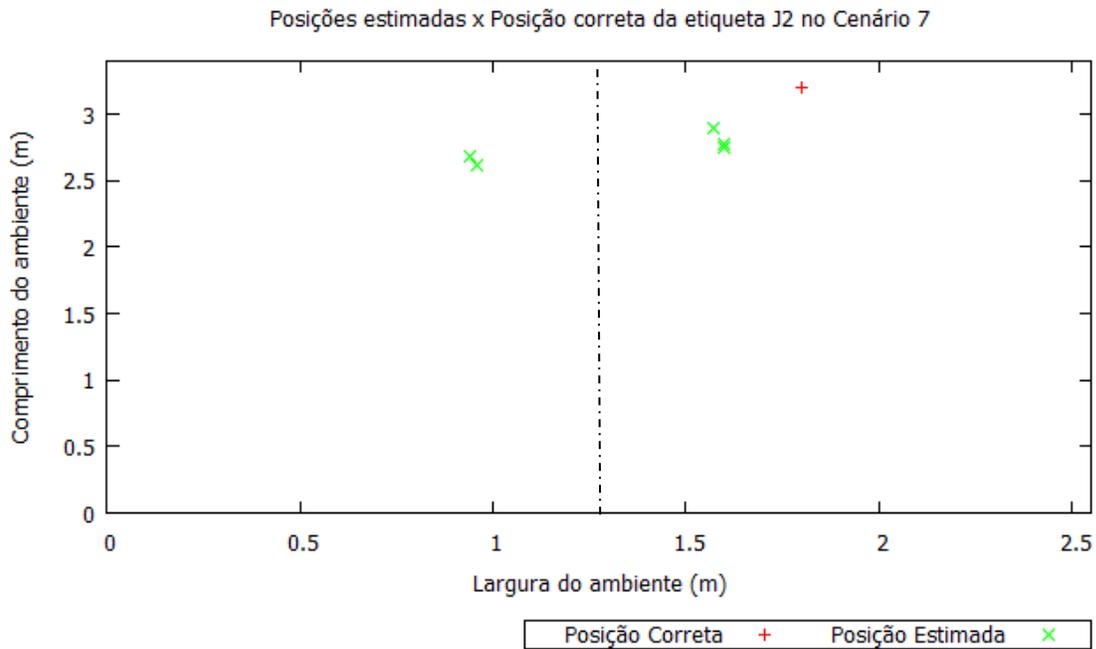


Figura 5.30 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no cenário 7

Tabela 5.19 – Resultados obtidos no Cenário 7

	J1 (Ambiente A1)				J2 (Ambiente A2)			
	LANDMARC		LANDMARC+		LANDMARC		LANDMARC+	
Amostra 1	A1	(0,72; 0,39)	A1	A1	A2	(1,57; 2,90)	A2	A2
Amostra 2	A2	(1,42; 0,40)	A2	A1	A2	(1,60; 2,78)	A2	A2
Amostra 3	A1	(0,54; 0,43)	A1	A1	A2	(1,60; 2,75)	A2	A2
Amostra 4	A1	(0,40; 0,40)	A1	A1	A1	(0,94; 2,68)	A1	A1
Amostra 5	A1	(0,42; 0,24)	A1	A1	A1	(0,92; 2,61)	A1	A1

A Tabela 5.19 mostra os resultados obtidos no experimento do Cenário 7. Na coluna do LANDMARC são apresentadas a área da estimativa e as coordenadas dessa estimativa. Na coluna do LANDMARC+, a informação da coluna mais à esquerda corresponde à mesma estimativa proposta pela LANDMARC e a mais à direita é a nova estimativa proposta pelo LANDMARC+. Pode-se ver que, nesse caso, para o ambiente $j1$, a estimativa proposta pelo LANDMARC errou na Amostra 2 sendo corrigido pelo LANDMARC+; por outro lado, para o objeto $j2$, o LANDMARC+ errou nas suas duas estimativas nas Amostras 4 e 5.

Cenário 8:

Idêntico ao Cenário 7, porém com a presença de uma divisória entre os dois ambientes. Essa divisória é feita de isopor e tem altura de 1 metro e espessura de 0,05 metro. Ela foi afixada no teto do cômodo de forma a dividir fisicamente os ambientes A1 e A2. (Ver Figura 5.15). As coordenadas randomizadas dos objetos $j1$ e $j2$ também foram as mesmas e estão mostradas na Tabela 5.18. Na Figura 5.29 encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j1$. Na Figura 5.30, por sua vez, encontra-se um gráfico “Posições estimadas x Posição correta” da etiqueta $j2$. Na Tabela 5.20, é possível verificar a saída dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+. O objetivo desse cenário é verificar a eficiência dos algoritmos de localização com a presença de um obstáculo físico entre os ambientes.

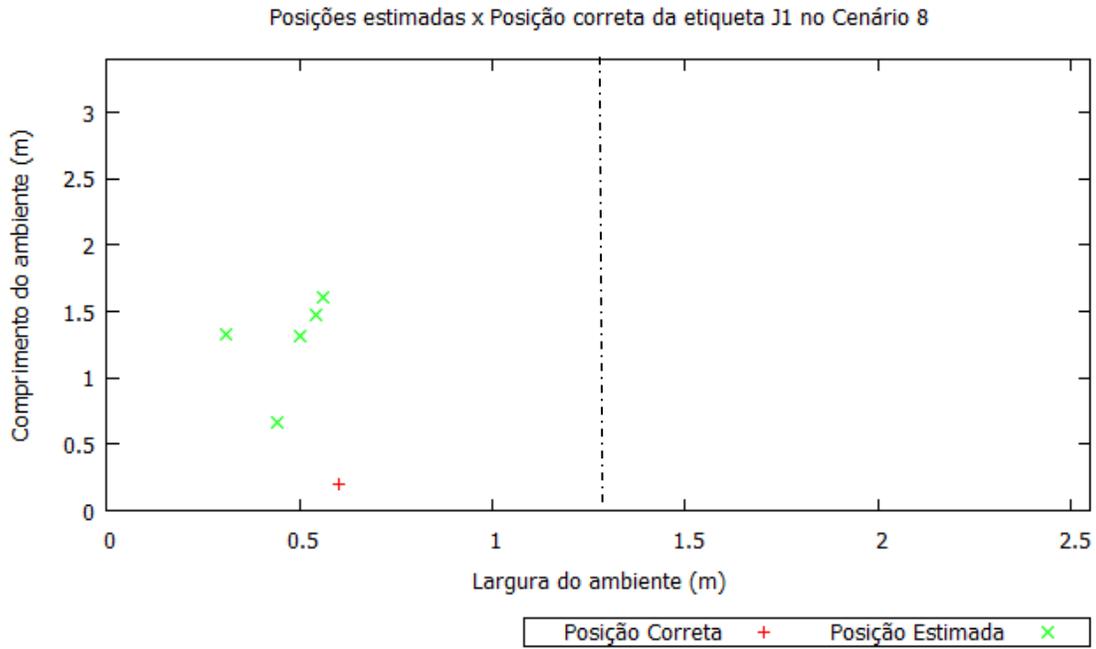


Figura 5.31 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J1 no cenário 8

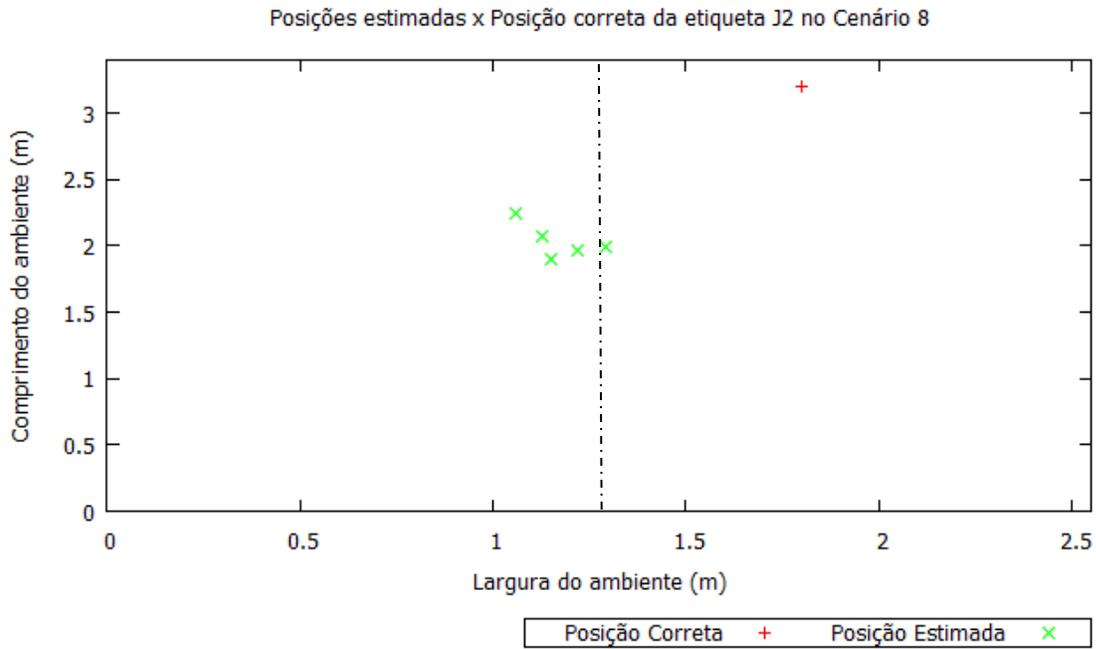


Figura 5.32 – Posições estimadas x Posição correta da etiqueta J2 no cenário 8

Tabela 5.20 – Resultados obtidos no Cenário 8

	J1 (Ambiente A1)				J2 (Ambiente A2)			
	LANDMARC		LANDMARC+		LANDMARC		LANDMARC+	
Amostra 1	A1	(0,44; 0,66)	A1	A1	A1	(1,22; 1,97)	A1	A2
Amostra 2	A1	(0,50; 1,31)	A1	A1	A1	(1,06; 2,25)	A1	A2
Amostra 3	A1	(0,31; 1,33)	A1	A1	A1	(1,13; 2,07)	A1	A2
Amostra 4	A1	(0,54; 1,48)	A1	A1	A2	(1,29; 1,99)	A2	A2
Amostra 5	A1	(0,56; 1,61)	A1	A1	A1	(1,15; 1,90)	A1	A2

A Tabela 5.20 mostra os resultados obtidos no experimento do Cenário 8. Na coluna do LANDMARC são apresentadas a área da estimativa e as coordenadas dessa estimativa. Na coluna do LANDMARC+, a informação da coluna mais à esquerda corresponde à mesma estimativa proposta pela LANDMARC e a mais à direita é a nova estimativa proposta pelo LANDMARC+. Pode-se ver que, nesse caso, para o ambiente *j1*, a estimativa proposta pelo LANDMARC foi sempre suficiente; por outro lado, para o objeto *j2*, o LANDMARC apenas acertou na Amostra 4; no entanto, foi sempre corrigido pela segunda estimativa do LANDMARC+.

5.3 Análise dos Resultados

Pode-se dizer que os resultados obtidos no experimento explicado na Seção 5.1 deste trabalho são coerentes com o modelo matemático existente em que se diz que idealmente a variação da força do sinal com a distância se dá de forma exponencial decrescente. Notoriamente, na simulação realizada em ambiente vazio sem presença de outras etiquetas, percebe-se que, em comparação a essa mesma simulação realizada com a presença de outras etiquetas, a principal diferença está no desvio padrão das amostras coletadas para cada posicionamento; no ambiente com interferência de outras tags constatou-se um maior desvio padrão das amostras o que quer dizer que os valores de RSSI coletados variavam bastante ao redor da média. Na simulação realizada no escritório, por sua vez, o mesmo resultado pode ser observado: uma maior variabilidade do conjunto com a presença de tags causando interferência. Em relação aos valores, na média, foi constatado que na situação de ambientes vazios o caso em que não havia etiquetas causando interferência apresentou valores mais elevados de RSSI. Em contrapartida, no ambiente de escritório, o comportamento não seguiu uma regra constante: houve casos de posicionamento com uma medida de força de sinal maior sem a presença de interferência e vice-versa. É importante ressaltar ainda que a partir desses experimentos, pode-se comprovar que a suposição da existência uma função unívoca que mapeia um único valor RSSI para uma única distância entre

emissor receptor não existe em ambientes reais. Isso pode ser facilmente visualizado ao se perceber que o conjunto dos valores de RSSI referentes a um posicionamento algumas vezes se sobrepõe com o de outro.

Para avaliar os resultados obtidos no experimento explicado na Seção 5.2 deste trabalho, para o LANDMARC, será utilizada a métrica do erro médio entre os pontos estimados e posição correta de objeto alvo. O erro médio é definido como a média aritmética das distâncias euclidianas entre cada um dos pontos estimados e a ponto correspondente à posição correta do objeto. Sendo assim, será considerado o cenário mais eficiente aquele que apresentar uma média inferior aos demais. Para avaliar o desempenho do LANDMARC+, não faz sentido falar em erro médio; portanto, é feita uma análise probabilística de forma a considerar a frequência dos acertos dentro do espaço amostral. A definição de frequência de acertos é a probabilidade de ao menos uma de suas estimativas representar a área real na qual se encontra o objeto. Visando uma melhor organização e análise dos dados, a Tabela 5.21 mostra para cada objeto alvo os erros médios feitos pelo LANDMARC. A Tabela 5.22 mostra para cada objeto alvo as frequências de acerto do LANDMARC E do LANDMARC+. A Tabela 5.23 é semelhante à Tabela 5.21, porém apresenta uma media aritmética dos erros médios de $j1$ e $j2$. Analogamente, na Tabela 5.24, são expostas as médias das frequências de acerto de $j1$ e $j2$. Por fim, nas Tabelas 5.25 e 5.26, são considerados os resultados dos cenários em conjunto.

Assim, a partir da Tabela 5.20, verifica-se que, para o objeto $j1$, o cenário 7 – sem a presença de divisórias - demonstrou uma menor média das distâncias, uma frequência de acerto de 80% para o LANDMARC e uma frequência de acerto de 100% para o LANDMARC+. Esse cenário representa a localização de $j1$ fora do retângulo formado pelas etiquetas de referência e na área inferior de A1. Para o objeto $j2$, o cenário mais eficiente foi o cenário 4, no qual $j2$ está localizado na lateral direita de A2 e fora do retângulo formado pelas etiquetas de referência e ainda há a presença de divisórias no ambiente. Nesse mesmo cenário o LANDMARC e o LANDMARC+ se mostraram 100% eficientes. É importante mencionar ainda as melhoras providas pelo LANDMARC+ nos cenários 5 e 8. No cenário 5 – sem a presença de divisória e com as etiquetas alvo próximas às fronteiras de A1 e A2, apenas a estimativa de área provida pelo LANDMARC para o objeto $j2$ forneceu uma frequência de acerto de 20% enquanto que esse valor subiu para 100% com o uso da segunda estimativa fornecida pelo LANDMARC+. No cenário 8, com a presença de divisória e novamente no caso do objeto $j2$ situado no extremo norte e for a do retângulo das etiquetas de referências, obteve-se também um aumento de 20% para 100%. Ou seja, nesse

mesmo cenário, nas quatro amostras em que o LANDMARC errou, a segunda estimativa provida pelo LANDMARC+ acertou.

Em relação ao parâmetro presença ou não de divisória, apenas no par de cenários 3 e 4 mostrou-se uma melhoria de 35.01% em relação ao erro de localização do algoritmo LANDMARC. Nos demais casos, a presença da divisória causou uma piora na eficiência de localização.

Tabela 5.21 – Erros médios dos cenários por objeto j1 e j2

	J1	J2
	LANDMARC Erro médio (metros)	LANDMARC Erro médio (metros)
Cenário 1	0,821	0,551
Cenário 2	0,949	0,929
Cenário 3	0,808	0,675
Cenário 4	0,613	0,316
Cenário 5	0,548	0,446
Cenário 6	1,074	0,459
Cenário 7	0,354	0,679
Cenário 8	1,091	1,329

Tabela 5.22 – Frequência de acerto dos cenários por objeto j1 e j2

	J1		J2	
	LANDMARC	LANDMARC+	LANDMARC	LANDMARC +
Cenário 1	0,6	1,0	0,8	1,0
Cenário 2	0,8	0,8	1,0	1,0
Cenário 3	1,0	1,0	1,0	1,0
Cenário 4	1,0	1,0	1,0	1,0
Cenário 5	1,0	1,0	0,2	0,6
Cenário 6	1,0	1,0	0,4	1,0
Cenário 7	0,8	1,0	0,6	0,8
Cenário 8	1,0	1,0	0,2	1,0

Tabela 5.23 – Média aritmética dos erros médios dos objeto j1 e j2

	LANDMARC Erro médio (metros)
Cenário 1	0,686
Cenário 2	0,939
Cenário 3	0,714
Cenário 4	0,464
Cenário 5	0,497
Cenário 6	0,766
Cenário 7	0,516
Cenário 8	1,210

Tabela 5.24 – Média aritmética das frequências de acerto dos objetos j1 e j2

	LANDMARC Frequência de acerto	LANDMARC+ Frequência de acerto
Cenário 1	0,7	1,0
Cenário 2	0,9	0,9
Cenário 3	1,0	1,0
Cenário 4	1,0	1,0
Cenário 5	0,6	0,8
Cenário 6	0,7	1,0
Cenário 7	0,7	0,9
Cenário 8	0,6	1,0

Tabela 5.25 – Média aritmética das frequências de acerto de todos os cenários

	LANDMARC Frequência de acerto	LANDMARC+ Frequência de acerto
Todos os cenários	0,775	0,95

Tabela 5.26 – Média aritmética dos erros médios de todos os cenários

	LANDMARC Erro médio (metros)
Todos os cenários	0,7315

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Sabe-se que o planejamento bem elaborado de qualquer projeto tem o objetivo de minimizar custos de implantação e, principalmente, de aumentar o grau de eficiência do referido. Sendo assim, este trabalho realizou uma avaliação experimental do impacto do posicionamento da infraestrutura de localização RFID LANDMARC e LANDMARC+ em ambientes reais internos afim de se mostrar a influencia do posicionamento dos objetos alvo no ambiente. Além disso, este trabalho tem como contribuição um simulador de localização que implementa os algoritmos estudados e através do qual foi possível obter os resultados.

Através do estudo de 8 configurações do posicionamento das etiquetas de referência e da presença de divisória ou não entre ambientes, foi demonstrado que, na média, a configuração do Cenário 4 – com presença de divisórias e com as etiquetas próximas às margens direita e esquerdo do ambiente - se mostrou mais eficiente ao se considerar o LANDMARC. Considerando-se o rendimento do LANDMARC+, obteve-se eficiência máxima nos Cenários 1, 3, 4, 6 e 8. O Cenário 5 – sem presença de divisórias e com os objetos alvo próximos à fronteira de A1 e A2 - merece destaque pois apesar de ter apresentado um erro médio baixo, apresentou uma frequência de acerto de 0.6 para o LANDMARC e de 0.8 para LANDMARC+. Sendo assim, fica claro a necessidade das duas métricas de avaliação utilizadas nesse trabalho pois uma complementa a análise da outra. O pior desempenho nesse cenário pode ser explicado devido ao fato de as etiquetas se encontrarem próximas à fronteira de A1 e A2 e portanto os algoritmos erram com mais frequência ao decidir ao qual ambiente o alvo pertence. A Tabela 5.24 comprova o fato de que o LANDMARC+, no pior caso, mantém a frequência de acerto do LANDMARC. Nos Cenários 1,5,6,7 e 8 houve aumento dessa frequência de acerto. De uma forma geral, considerando todos os cenários em conjunto, o erro médio feito pelo LANDMARC foi de 0,7315 metros com uma frequência de acerto de 0,775. Para o LANDMARC+, no caso de todos os cenários em conjunto, a frequência de acerto foi de 0.95.

Em relação ao parâmetro isolado presença ou não de divisória, apenas no par de cenários 3 e 4 mostrou-se uma melhoria de 35.01% em relação ao erro de localização do algoritmo

LANDMARC. Nos demais casos, a presença da divisória causou uma piora na eficiência de localização.

Além disso, foi feito um estudo de levantamento do RSSI nos ambientes estudados (vazio e escritório) através da análise da variação da força de sinal com o aumento da distância entre emissor e receptor. Nesse contexto, analisou-se ainda o efeito da influência da presença de interferência causada por outras etiquetas idênticas. Os resultados indicaram que o comportamento do RSSI assemelha-se a uma exponencial decrescente.

Em estudos futuros: (i) serão considerados mais cenários, com diferentes configurações de posicionamento dos leitores e das etiquetas, (ii) será considerada a existência a coordenada Z no posicionamento dos elementos, (iii) será feita uma melhoria na interface do simulador afim de integrá-lo com alguma biblioteca geradora de gráficos, (iv) realizar-se-à o Experimento 5.2 em ambiente de escritório para verificar o seu comportamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Ni et al. 2004] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., and Patil, A. P. (2004). **LANDMARC:Indoor Location Sensing using Active RFID**. *Wireless Networks*, 10(6):701–710.

[Silva and Gonçalves 2009a] Silva, R. A. and Gonçalves, P. A. S. (2009a). **Enhancing the Efficiency of Active RFID-based Indoor Location Systems**. In *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pages 1–6.

[Silva and Gonçalves 2009b] Silva, R. A. and Gonçalves, P. A. S. (2009b). **Um Novo Algoritmo de Auxílio à Localização de Etiquetas RFID Ativas em Ambientes Internos**. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)*, pages 539–552.

[Silva and Gonçalves 2011] Silva, B. A., and Gonçalves, P. A. S., **“Planejamento do Posicionamento de Leitores e Etiquetas de Referência em Sistemas de Localização RFID”**, In *Proceedings of XVI Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS)*, Campo Grande, May 2011, pp. 105-118

[França Neto 2012] França Neto, I. L., and Gonçalves, P. A. S. **“Uma Avaliação de Desempenho e Análise do Sistema de Localização RFID VIRE”**, In *Proceedings of XVII Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS)*, Ouro Preto, April 2012.

[Bahl and Padmanabhan 2000] Bahl, P. and Padmanabhan, V. (2000). **RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System**. In *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, volume 2, pages 775–784.

[Zhao et al. 2007] Zhao, Y., Liu Y., and Ni, L. M. (2007). **VIRE : Active RFID-based Localization Using Vvirtual Reference Elimination**. In *Proceedings of IEEE International Conference on Parallel Processing*, pages 5-12.

[Oliveira et al. 2012] Oliveira, R. L. C., França Neto, I. L., and Gonçalves, P. A. S., **“Um Estudo sobre a Eficiência de Sistemas de Localização RFID”**, In *Proceedings of XX Congresso de Iniciação Científica (CONIC) da UFPE*, Recife, December 2012.

[Zhang et al. 2010] Zhang, X., Peng, J., and Cao, X. (2010). **RFID Indoor Localization Algorithm Based on Dynamic Netting**. In Proceedings of International Conference on Computational and Information Sciences (ICIS), pages 428–431.

[Jeon and Park 2009] Jeon, S. and Park, J. (2009). **A RFID Reader Configuration with an Enhanced Recognition Property for Indoor Positioning**. In Proceedings of 5th IEEE International Joint Conference on Networked Computing (INC), Advanced Information Management and Service (IMS) and Digital Content, Multimedia Technology and its Applications (IDC), pages 166–169.

[Jin et al. 2006] Jin, G.-Y., Lu, X.-Y., and Park, M.-S. (2006). **An Indoor Localization Mechanism Using Active RFID Tag**. In Proceedings of IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC).

[Bouet and Santos 2008] M. Bouet, A. Dos Santos, G. Pujolle : **“RFID tags: Positioning principles and localization techniques”**, 1st IFIP Wireless Days Conference, Dubai, UAE (2008).

[Krumm et al. 2000] Krumm, J., Harris, S., Meyers, B., Brumitt, B., Hale, M., and Shafer, S. (2000). **Multi-Camera Multi-person Tracking for Easyliving**. vs, page 3.

[Ehlers and Justiniano 2007] EHLERS, Ricardo; JUSTINIANO, Paulo. Teorema de Bayes em UFPR. Acessado em 12 de fevereiro de 2008.

[Soares 2013] Soares, Eduardo Elael de Melo. **Localização Indoor via KDE em assinaturas de RSSI**. Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2013.

[Finkenzeller and Muller 2010] Finkenzeller, K. and Müller, D. (2010). **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication**. John Wiley & Sons.

[Umeda et al. 2006] Umeda, T., Yoshida, H., Sekine, S., Fujita, Y., Suzuki, T., and Otaka, S. (2006). **A 950-MHz Rectifier Circuit for Sensor Network Tags With 10-m Distance**. *Solid-State Circuits*, 41(1):35–41.

[Roberti 2007] ROBERTI, M. **The History of RFID Technology**, 2007. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/article/view/1338/1>>. Acesso em: 1 Março 2014.

[Johnson 2009] JOHNSON, M. **History of RFID Technology, 2009**. Disponível em:
<http://rfidtribe.com/index.php?option=com_content&view=article&id=32>. Acesso em: 1
Março 2014.