



Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Informática

Pós-graduação em Ciência da Computação

**PLANEJAMENTO DO POSICIONAMENTO  
DA INFRAESTRUTURA DE LOCALIZAÇÃO  
COM SISTEMAS RFID**

Bruno Almeida da Silva

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Recife

29 de agosto de 2011

Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Informática

Bruno Almeida da Silva

**PLANEJAMENTO DO POSICIONAMENTO DA  
INFRAESTRUTURA DE LOCALIZAÇÃO COM SISTEMAS RFID**

*Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em  
Ciência da Computação do Centro de Informática da Uni-  
versidade Federal de Pernambuco como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Com-  
putação.*

Orientador: *Docteur Paulo André da Silva Gonçalves*

Recife

29 de agosto de 2011

*Aos meus pais, Silvio Roberto (in memoriam) e Orlanda,  
com todo amor que houver nessa vida.*

## AGRADECIMENTOS

Sobre todos os seres e todas as coisas, meus agradecimentos a Deus pela vida e por me confortar diante das diversas dificuldades e dores enfrentadas durante o mestrado.

Aos meus pais, Silvio Roberto (*in memoriam*) e Orlanda, pela vida dedicada às minhas irmãs, Rafaella e Andressa, a mim e, mais recentemente, a minha sobrinha Amanda para que pudéssemos ter educação necessária, afim de utilizá-la como instrumento de realização de nossos objetivos – às minhas irmãs e à Amanda, também agradeço por todo apoio. Ao meu tio, *Dori*, por sempre se fazer presente bem mais que um tio, mas como um irmão e amigo.

À Ana Emília pelo companheirismo, pela amizade, pelas confidências, pelo amor, por fazer com que eu não desanimasse frente as circunstâncias, ... Me desculpe pelos tantos anos, alguns dias e uns poucos minutos em que você estava bem pertinho e eu não percebia; te amo, Vida!

Ao orientador-professor *docteur* Paulo Gonçalves pela rígida e excelente orientação, por sempre buscar pela qualidade na pesquisa, por insistir e mostrar que sempre há algo a ser melhorado, pela compreensão e paciência mesmo em momentos em que eu não merecia tê-los (e não foram poucos, :-) ); muito obrigado!

À Universidade Federal de Pernambuco e ao Centro de Informática pela infraestrutura e ensino de alto nível disponibilizados. Ao grupo de pesquisa liderado pelo professor *docteur* Paulo Gonçalves pelas críticas e manifestações que fizeram com que as apresentações e pesquisas se fortalecessem. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo auxílio financeiro para a execução do mestrado com mais comodidade.

Aos colegas de Recife (dos quais paraenses, em sua maioria) conquistados por compartilhar do mesmo objetivo e de dificuldades semelhantes, em especial aos amigos Carlos

Monteiro e Isac Ferreira por terem ‘dividido a carga’ dos primeiros momentos perrengue. Ao Douglas Damalio pelos trabalhos/projetos feitos em parceria e pela ajuda imensurável que ele pôde me oferecer quando precisei. Aos moradores da ‘Casa Pará’ – Josivan Reis, Roberto Pereira e Wendeson Oliveira – por compartilhar momentos de descontração.

Aos colegas da UFPA-Santarém mestrandos espalhados pelo Brasil que, inconscientemente, são motivadores pessoais para a conclusão do mestrado e de ir além. Ao Davi Junio pela hospitalidade no meu primeiro mês em Recife. Aos amigos Dário Pereira, Irlanildes Figueira, (primo) Marcio Silva, Rodrigo Cruz, Sérvio Santos e Wesley Tizziani por toda forma de apoio e incentivo na pós-graduação.

Aos professores que compõem a banca de avaliação desta dissertação, professor doutor Nazareno Ferreira de Andrade (Universidade Federal de Campina Grande, UFCG), professor doutor Carlos André Guimarães Ferraz (Universidade Federal de Pernambuco, UFPE).

*"...ouvi em minha cabeça meu pai dizendo:*

*Levante-se quando cair*

*Mantenha-se orgulhoso quando for rebaixado*

*Todas as lições que você aprender*

*Não serão as que você planeja*

*Cada passo naquela montanha valerá a pena*

*Mas quando você caminhar pelo vale*

*Talvez você ande como um homem*

*E quando você prosseguir sem mim*

*Ande como um homem."*

—BON JOVI (Walk Like a Man - tradução livre)

## RESUMO

Os sistemas de localização RFID com etiquetas ativas são os mais promissores para o provimento de serviços de localização automática de objetos em ambientes internos. Esses sistemas contam com medidas de força de sinais e com uma infraestrutura de leitores e etiquetas de referência para a obtenção de estimativas de localização de objetos de interesse. Esta dissertação estuda a influência do posicionamento dessa infraestrutura na eficiência de localização. Para isso, considera-se 27 configurações de posicionamento da infraestrutura de localização e diversas condições de propagação de sinais em um ambiente interno com 9 salas ou áreas. O foco desta dissertação está nos sistemas LANDMARC e LANDMARC+, onde ambos estão configurados para estimar a sala ou área na qual se encontra um objeto de interesse. Os resultados de simulação mostram que o posicionamento da infraestrutura dos sistemas estudados tem impacto significativo na eficiência de localização. A partir disso, são apresentadas orientações para um posicionamento mais adequado dessa infraestrutura, buscando a maximização da eficiência de localização.

**Palavras-chave:** LANDMARC, LANDMARC+, Sistema de Localização Interno, RFID, Posicionamento de Leitores, Posicionamento de Etiquetas de Referência, RSS.

## ABSTRACT

Active RFID-based location systems are the most promising to provide automatic indoor location services of objects. Such systems rely on both received signal strength measurements and an infrastructure composed of readers and reference tags in order to report position estimates of target objects. This dissertation studies the impact of the positioning of this infrastructure on the location efficiency. For doing so, we consider 27 different infrastructure positioning and different signal propagation conditions in an indoor environment that is composed of 9 rooms or areas. This dissertation focuses on the following location systems: LANDMARC and LANDMARC+. Both are configured to estimate the room or area where the target object is placed. Simulation results show that the infrastructure positioning impacts significantly on the location efficiency. Based on this fact, we present some guidelines for proper infrastructure positioning while seeking to maximize the location efficiency.

**Keywords:** LANDMARC, LANDMARC+, Indoor Location System, RFID, Readers Positioning, Reference Tags Positioning, RSS.



# SUMÁRIO

<b>Capítulo 1—Introdução</b>	1
1.1 Motivação . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	3
1.3 Organização . . . . .	4
<b>Capítulo 2—Sistemas de Localização Indoor</b>	5
2.1 Baseados em Análise de Cenas . . . . .	5
2.1.1 <i>Easy Living</i> . . . . .	5
2.1.2 RADAR . . . . .	6
2.2 Baseados em Triangulação . . . . .	7
2.2.1 <i>Active Bat</i> . . . . .	7
2.2.2 Cricket . . . . .	8
2.3 Baseado em Proximidade . . . . .	8
2.3.1 <i>Smart Floor</i> . . . . .	9
2.3.2 <i>Active Badge</i> . . . . .	9
2.3.3 Horus . . . . .	10
2.3.4 Localização Interna Baseada em RFID . . . . .	10
2.3.4.1 RFID – Identificação por Radiofrequência . . . . .	10
2.3.4.2 LANDMARC . . . . .	14
2.3.4.3 LANDMARC+ . . . . .	17
2.3.4.4 VIRE . . . . .	17
2.3.4.5 Trabalhos Relacionados com a Proposta . . . . .	18

2.3.4.6	Justificativa para o uso do LANDMARC e LANDMARC+	21
2.4	Resumo	21
<b>Capítulo 3—Simulador</b>		<b>23</b>
3.1	Características	23
3.2	Arquitetura	24
3.2.1	Da Infraestrutura do Ambiente Interno	24
3.2.2	Do Posicionamento de Leitores e Etiquetas de Referência	25
3.2.3	Dos Algoritmos de Localização	26
3.2.4	Da Modelagem de Canais	26
3.3	Resumo	26
<b>Capítulo 4—Estudo de Posicionamento da Infraestrutura de Localização</b>		<b>28</b>
4.1	Ambientes Internos	28
4.2	Modelos de Propagação de Sinais	30
4.2.1	<i>Path Loss</i>	30
4.2.2	Modelagem de Canal com Desvanecimento	32
4.3	Metodologia	33
4.4	Cenários de Estudo	34
4.4.1	Uso do <i>PL</i> nos cálculos do modelo com Desvanecimento	35
4.5	Análise dos Resultados para os Cenários	35
4.6	Eficiência por Sala com o Posicionamento $C_4$	41
4.6.1	Ambientes Fechados e Abertos	43
4.6.1.1	Eficiência de Localização por Regiões Internas nas Salas	45
4.6.2	Erro Médio de Localização	47
4.6.3	Posicionamento Restrito de Objetos em Ambientes Abertos e Fechados	49
4.7	Resumo	51

SUMÁRIO	xi
<b>Capítulo 5—Conclusões</b>	<b>53</b>
<b>Apêndice A—Configurações de Posicionamento de Leitores e de Etiquetas de Referência</b>	<b>60</b>

## LISTA DE FIGURAS

1.1	(a) e (c): Infraestrutura de localização. (d) e (f): Eficiência de localização.	3
2.1	A estrutura de um sistema RFID com três componentes. . . . .	11
4.1	<i>Layout</i> dos cenários utilizados considerando 9 conjuntos de posicionamento de leitores e 3 conjuntos de posicionamento de etiquetas de referência. . .	29
4.2	(a), (b) e (c): Cenário I (fechado/Desvanecimento). (d), (e), (f): Cenário II (aberto/Desvanecimento). . . . .	37
4.3	(a), (b) e (c): Cenário III (fechado/ <i>Path Loss</i> estendido). (d), (e) e (f): Cenário IV (aberto/ <i>Path Loss</i> estendido). . . . .	39
4.4	<i>Layout</i> do posicionamento $C_4$ . . . . .	42
4.5	Eficiência Global com posicionamento aleatório de objetos em ambientes fechados. . . . .	43
4.6	Eficiência Global com posicionamento aleatório de objetos em ambientes abertos. . . . .	44
4.7	Eficiência de localização por região em ambientes fechados. . . . .	45
4.8	Eficiência de localização por região em ambientes abertos. . . . .	46
4.9	Erro médio de localização para o posicionamento $C_4$ utilizando o LAND-MARC com PL estendido. . . . .	48
4.10	Eficiência Global com posicionamento restrito dos objetos em ambientes fechados. . . . .	50
4.11	Eficiência Global com posicionamento restrito de objetos em ambientes abertos. . . . .	51

## LISTA DE TABELAS

2.1	Comparação de etiquetas ativas, etiquetas semipassivas ou semiativas e etiquetas passivas. . . . .	13
2.2	Bandas de frequências utilizadas em sistemas RFID. . . . .	14
2.3	Parâmetros definidos pelo LANDMARC. . . . .	15
4.1	Melhores e piores eficiências de localização para os cenários I e II. . . . .	38
4.2	Melhores e piores eficiências de localização para os cenários III e IV. . . . .	40
A.1	Configurações de posicionamento de leitores. . . . .	60
A.2	Configuração de posicionamento <i>A</i> de etiquetas de referência. . . . .	61
A.3	Configuração de posicionamento <i>B</i> de etiquetas de referência. . . . .	62
A.4	Configuração de posicionamento <i>C</i> de etiquetas de referência. . . . .	63

## GLOSSÁRIO

**FAF** *Floor Attenuation Factor*. 17

**ID** *IDentification*. 1

**KNN** *K-Nearest Neighbors*. 10

**PL** *Path Loss*. 16

**RFID** *Radio Frequency IDentification*. 1

**RSS** *Received Signal Strength*. 2

**VIRE** *VIrtual Reference Elimination*. 12

**WAF** *Floor Attenuation Factor*. 17

## CAPÍTULO 1

# INTRODUÇÃO

O RFID é um sistema sem contato físico e para distâncias curtas. Atualmente, esse tipo de sistema experimenta um vasto crescimento entre as tecnologias de transmissão sem fio. Ao contrário destas, o RFID pode ser utilizado em uma grande variedade de aplicações, como, por exemplo, casas inteligentes, monitoramento de bagagens nos aeroportos, gerenciamento da cadeia de suprimentos. O fato do RFID ser um sistema emergente impõe muitos desafios na utilização de aplicações com volume massivo de dados. Alguns dos problemas encontrados são, principalmente, a necessidade de leitura eficiente dos dados e a recuperação dos dados que foram lidos de uma etiqueta em um processo de identificação automática.

### 1.1 MOTIVAÇÃO

Atualmente, os sistemas RFID (*Radio Frequency IDentification*) são os mais promissores para a identificação automática de objetos através da utilização de sinais de radiofrequência (RF). Alguns sistemas RFID são compostos apenas por *leitores* e *etiquetas*. Cada etiqueta armazena um identificador (ID) único e é colada ou embutida em um objeto no qual interessa conhecer sua localização. O processo de identificação é realizado pelo leitor, o qual requisita o ID das etiquetas que estão em seu alcance de comunicação. De acordo com um mapeamento prévio entre os IDs e os objetos, é possível descobrir automaticamente quais objetos estão no alcance de comunicação do leitor.

Assim sendo, os sistemas RFID possuem duas características importantes: a capacidade de identificar objetos e a capacidade de comunicação através de sinais de RF. Essas características em conjunto com a proliferação de sistemas RFID vêm estimu-

lando o desenvolvimento de sistemas de localização RFID que utilizam medidas de força de sinal recebido (RSS - *Received Signal Strength*) para se obter automaticamente uma estimativa do posicionamento de objetos de interesse em ambientes internos [Ni et al. 2004], [Zhao et al. 2007], [Silva and Gonçalves 2009a], [Silva and Gonçalves 2009b], [Zhu et al. 2009], [Zhang et al. 2010], [Shi et al. 2010]. Para isso, esses sistemas contam com uma infraestrutura fixa de leitores e etiquetas de referência montada no ambiente desejado.

Diversos estudos têm sido realizados com foco na melhoria da eficiência de localização desses sistemas [Ni et al. 2004], [Jin et al. 2006], [Zhao et al. 2007], [Zhu et al. 2009], [Jeon and Park 2009], [Silva and Gonçalves 2009a], [Silva and Gonçalves 2009b], [Jiang et al. 2009], [Esposito et al. 2009], [Zhang et al. 2010]. Contudo, não foram encontrados estudos que demonstrem o impacto do posicionamento da infraestrutura de leitores e etiquetas de referência na eficiência de localização de aplicações que precisam informar a sala ou área na qual se encontra um objeto de interesse.

Nesse sentido, a Figura 1.1 mostra casos do impacto da infraestrutura de localização na eficiência do sistema para um mesmo ambiente interno. Nas Figuras 1.1(a) e 1.1(c) são apresentadas a composição do ambiente interno, que é formado por salas, leitores (pequenos quadrados) e etiquetas de referência – quadrados pontilhados que compreendem a área de 4 etiquetas de referência. Já as Figuras 1.1(b) e 1.1(d) representam a eficiência de localização, que, neste caso, é apontar a área na qual o sistema localizou o objeto, na identificação de 2.000 objetos que foram espalhados aleatoriamente na área 1 em função da variabilidade da força do sinal recebido.

Na Figura 1.1 é observado que a eficiência de localização decai consideravelmente quando há modificação do posicionamento da infraestrutura de localização. Adicionalmente, os objetos podem estar posicionados nas demais áreas do ambiente interno, o que ocasionaria mudanças nas suas respectivas eficiências de localização. Portanto, é importante estudar formas de posicionamento de leitores e etiquetas de referência para manter boas eficiências de localização em todas as áreas de um ambiente interno.



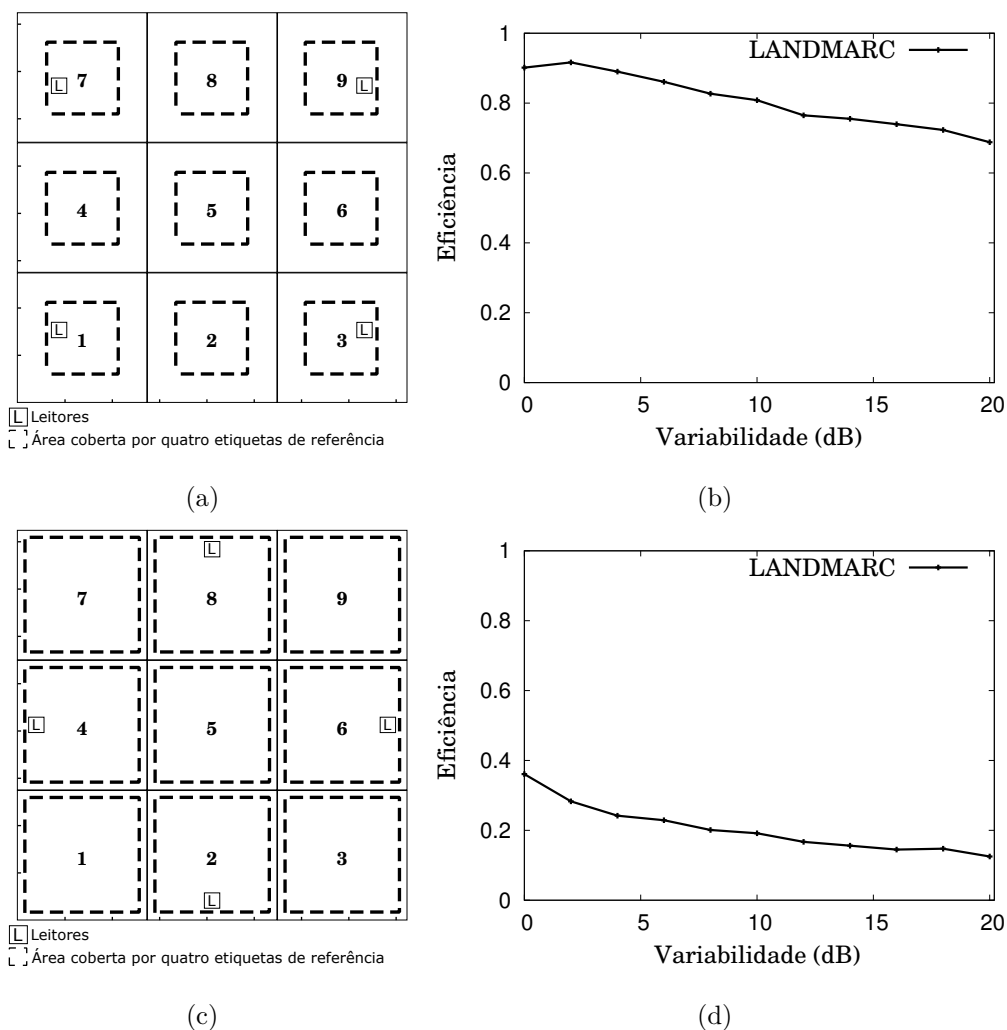


Figura 1.1 (a) e (c): Infraestrutura de localização. (d) e (f): Eficiência de localização.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta dissertação é estudar a influência do posicionamento da infraestrutura de localização em sistemas RFID. A infraestrutura de localização utilizada é composta por leitores e etiquetas de referência e foi montada em um ambiente interno. Em particular, esta dissertação considera que o ambiente interno está dividido em áreas e podendo ser ambiente aberto ou ambiente fechado. No processo de localização foram utilizados os algoritmos de localização LANDMARC [Ni et al. 2004] e LANDMARC+ [Silva and Gonçalves 2009a], [Silva and Gonçalves 2009b] e, também, os modelos de propagação de sinais com Desvanecimento e *Path Loss*.

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

1. Desenvolver um simulador para permitir o estudo da eficiência de localização dos sistemas LANDMARC e LANDMARC+;
2. Definir diversos cenários de avaliação e estudar a eficiência de localização do algoritmo LANDMARC+, comparando-o com a eficiência de localização do LANDMARC;
3. Apresentar recomendações de posicionamento da infraestrutura de localização para a maximização da eficiência de localização.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO**

O Capítulo 2 apresenta conceitos de RFID e um referencial teórico dos sistemas de localização RFID, onde estão classificados segundo as técnicas de localização adotadas. O Capítulo 3 traz as simulações e os resultados alcançados diante diversos cenários de estudo considerando dois tipos de ambientes interno (aberto e fechado) e os dois modelos de propagação de sinais empregados, além de avaliação de desempenho dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+ quanto suas eficiências. Ainda no Capítulo 3, recomendação e justificativas de configuração de posicionamento de leitores e etiquetas de referência são expostas. No Capítulo 4, são apresentadas considerações sobre os resultados apresentados e os trabalhos futuros resultantes desta dissertação.

## CAPÍTULO 2

# SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO INDOOR

O interesse no desenvolvimento de sistemas e serviços cientes de localização tem sido impulsionado pela crescente disseminação de redes sem fio e dispositivos móveis. Em muitos casos, as aplicações necessitam conhecer a localização física de objetos. Para tal, muitos estudos tem sido direcionados para o problema de localização automática. Neste sentido, três grandes técnicas de localização são empregadas: **análise de cenas**, **triangulação** e **proximidade** [Hightower and Borriello 2001]; descritas nas seções 2.1, 2.2 e 2.3, respectivamente. Este capítulo apresenta sistemas de localização internos classificados de acordo com técnicas de localização. Na subseção 2.3.4 são apresentados conceitos sobre os sistemas RFID, sistemas de localização RFID e trabalhos relacionados com a proposta.

### 2.1 BASEADOS EM ANÁLISE DE CENAS

Essa técnica localização analisa imagens, provenientes de uma câmera posicionada em um ambiente, na qual estima a localização de objetos específicos ou pessoas através de padrões.

#### 2.1.1 Easy Living

O *Easy Living* [Krumm et al. 2000] é um sistema de localização visual onde imagens e cores de duas câmeras instaladas no ambiente são utilizadas para localizar uma pessoa ou objeto no interior de um cômodo do ambiente. Para a instalação das câmeras, o processo de calibramento da posição e orientação das câmeras se faz necessário. Duas técnicas são empregadas no processo de medição:

1. Um programa interativo distingue a imagem humana da imagem do ambiente;

2. Os registros de cada câmera auxiliam no ‘percurso’ traçado pelo ser humano dentro do cômodo – dada as posições das câmeras, o calibramento computa a translação e rotação das duas imagens que foram sobrepostas resultando na diferenciação de regiões que poderiam ser partes do corpo de uma pessoa de regiões que poderiam representar as cores do ambiente, isto é, subtração do plano de fundo da imagem que seria do ambiente.

### 2.1.2 RADAR

O RADAR <sup>1</sup>, proposto por [Bahl and Padmanabhan 2000], é um sistema desenvolvido pela *Microsoft Research* onde baseia-se em RF (*Radio Frequency*) para localizar e rastrear usuários em ambientes internos. O RADAR usa o conceito de *RF transceivers*, chamados de estação-base (*BS, Base Station*) para estimar a localização. O uso de equipamentos WLAN 802.11 como BS's beneficia a sobreposição de cobertura no ambiente de interesse. As estações bases registram a força do sinal e a taxa de ruído do sinal que as etiquetas transmitem e enviam esse informação para o algoritmo de localização. Tal algoritmo calcula o posicionamento respeitando um plano 2D no ambiente. Isso é feito combinando os dois métodos utilizados:

1. O modelo empírico (análise de cenas ou *fingerprinting*);
2. Modelo de propagação do sinal (mapa de níveis de sinais construídos utilizando o algoritmo KNN [Bahl and Padmanabhan 2000] e distância Euclideanas desses níveis) para o uso da técnica de lateração.

Os autores concentraram seus estudos em uma área de 43,5 x 22,5 m (980 m<sup>2</sup>) que correspondiam a mais de 50 salas de escritório. Nesta área, três estações bases foram posicionadas equidistantes para o processo de estimativa de localização do usuário e, juntas, cobriam todo o ambiente. As configurações da rede compreendiam 2.4 GHz, 2 Mbps e 1 a 2 ms para frequência, taxa de dados e atraso de propagação, respectivamente. O

---

<sup>1</sup>Este sistema de localização também pode ser classificado pela técnica de triangulação.

alcance para a rede foi baseado no tipo e na densidade das obstruções entre transmissor e receptor, portanto, 200 *m* (ambiente aberto), 50 *m* (ambiente semiaberto) e 25 *m* (ambiente fechado) e obtém erros de localização de 1,92, 2,94 e 4,69 *m* para 25, 50 e 75 percentil no modelo empírico.

## 2.2 BASEADOS EM TRIANGULAÇÃO

A técnica de localização por triangulação usa propriedades geométricas do triângulo para computar o posicionamento de objetos.

### 2.2.1 Active Bat

Com o intuito de melhorar a acurácia na localização do sistema de localização proposto em [Want et al. 1992], a AT&T desenvolveu o sistema de localização *Active Bat* [Ward et al. 1997] – baseado em ultrassom –, no qual possui uma precisão na localização na ordem de centímetros. Este sistema possui uma infraestrutura baseada em *grids* de receptores ultrassônicos presos no teto do ambiente conectados por uma rede serial e rádio transmissor (controlador). Os dispositivos *bats* estão ligados ao equipamento ou são carregados pelos usuários, eles são compostos por dois componentes: um transmissor ultrassônico e um rádio *transceiver*.

Neste modelo, os *bats* são localizados um a um. O rádio transmissor (ou controlador) envia um sinal de sincronização para todos os receptores ultrassônicos usando a infraestrutura de rede serial e, então, envia uma requisição de rádiofrequência a um dos sensores. O sensor *bat* recebe a solicitação e emite uma mensagem de ultrassom que é propagada a todos os receptores presos no teto (conhecido como *grid*) do ambiente. Cada sensor mede o intervalo de tempo entre o reinício de uma nova requisição e a chegada do pulso ultrassônico para estimar a distância de tais sensores em relação ao dispositivo. A localização é computada usando multilateração no qual a distância entre o receptor para o *bat* é estimada pelo uso ToA (*Time-of-Arrivals*) do sinal ultrassônico.

O uso do sistema de localização para ambientes internos proposto por [Ward et al.

1997] implica numa acurácia de 9 *cm* utilizando tais *grids*: 95% dentro de 14 *cm* e 95% dentro de 8 *cm* quando a média é superior a 10 amostras.

### 2.2.2 Cricket

O Cricket [Priyantha et al. 2000] é um sistema de localização *indoor* que faz uso de RF e ultrassom, muito parecido com o sistema proposto em [Ward et al. 1997]. Em Cricket, o processo de localização consiste de *beacons* – sensores de localização –, que são pequenos dispositivos associados a localizações fixas dentro de um espaço geográfico. Cada *beacon* transmite uma sequência de dados que unicamente identificam a localização da área onde eles estão fixados para os receptores. Os *beacons* enviam informações sobre o espaço em RF, juntamente com pulsos de ultrassom. Os *listeners* captam o sinal RF, usam, primeiramente, poucos *bits* como treinamento de informação e, em seguida, ‘ligam’ o receptor de ultrassons. Depois, ouvem o pulso ultrasônico, que normalmente são retardados.

Os *listeners* usam a diferença entre o tempo de recepção – *Time Difference of Arrival* (TDoA) – do primeiro *bit* de informação do sinal em radiofrequência e do sinal em ultrassom para determinar a distância para o *beacon*. Esta abordagem utiliza a técnica de triangulação para calcular a localização quando os receptores recebem a informações de diversos *beacons*; caso a informação seja recebida de, apenas, um *beacon*, a localização é feita por proximidade.

## 2.3 BASEADO EM PROXIMIDADE

A técnica de localização por proximidade implica em determinar o quão próximo um objeto está de um posicionamento ‘conhecido’. Consiste basicamente na detecção de um fenômeno físico, que pode ser pelo contato físico ou pela intensidade de um sinal.

### 2.3.1 Smart Floor

Desenvolvido pela Geogia Tech's Smart Floor, o sistema de localização por proximidade *Smart Floor*, [Orr and Abowd 2000], opera através de sensores de pressão espalhados no chão de um ambiente para capturar os passos de uma pessoa e armazena dados referentes a pegadas do usuário para calibrar e rastrear o seu posicionamento. Este sistema, de contato físico, não exige que usuários carreguem qualquer tipo de dispositivo para fazer a estimativa de localização. Uma desvantagem no uso do *Smart Floor* é a deficiência na escalabilidade e o alto custo incorrido em sua implantação porque cada piso, no qual o *Smart Floor* será empregado, deverá ser fisicamente preparado para receber a rede de sensores de pressão. O nível de precisão no reconhecimento desse sistema pode chegar a 93%.

### 2.3.2 Active Badge

O sistema de localização *Active Badge* [Want et al. 1992], desenvolvido pela AT&T Cambridge, foi um dos primeiros e mais significantes sistemas no campo de localização em ambientes internos. Nele, a infraestrutura de localização consiste de receptores infravermelho fixos e dispersos (sensores de localização) no ambiente que se comunicam com um servidor central e com pequenos crachás infravermelho carregado pelos usuários. Os crachás emitem um identificador único global (código de identificação ou ID) em periódicos intervalos de tempo – *beacons* – a cada 15 segundos, aproximadamente. O identificador é capturado pelos receptores infravermelho nas proximidades. Cabe a tais receptores enviarem a informação de cada código de identificação ao servidor central da rede de sensores que, por sua vez, computam e determinam a localização do crachá, ou seja, a localização do crachá é baseada em qual receptor infravermelho capturou o identificador do crachá.

Como característica natural da tecnologia infravermelho, no sistema *Active Badge* incorrem a exigência de linha de visada (*line-of-sight*) e a transmissão de sinais de curto alcance. Por essas limitações, sugerem-se que ele seja menos eficaz na prática de estima-

tivas de localização internas.

### 2.3.3 Horus

Em [Youssef and Agrawala 2008] é proposto um sistema de localização do tipo WLAN IEEE 802.11. O sistema se divide em duas fases:

1. *Offline Phase* – constrói um mapa de níveis de sinais (RSS); depois aplicam o processo de *clustering* ou agrupamento (esse processo permite a redução de requisitos computacionais e conservam a potência) localizações no mapa de níveis; e fazem um novo pré-processamento do modelo de potência medidos;
2. *Online Phase* – estimam a localização do usuário baseado na força de sinal recebido de cada AP (*Access Point*) e no mapa de potência elaborado em fase anterior. Horus pode operar fazendo uso de distribuições paramétricas e não-paramétricas.

Os resultados experimentais mostram que esta técnica pode adquirir uma precisão de mais de 90% dentro de 2,1 m. Aumentando o número de amostras em cada local de amostragem poderia melhorar sua precisão, porque o aumento do número de amostras melhoraria a estimativa para médias e desvios-padrão da distribuição de Gaussiana.

### 2.3.4 Localização Interna Baseada em RFID

A seguir é apresentado conceitos sobre RFID, onde é mostrado a forma com que sistemas RFID operam descrevendo seus principais elementos: leitores e etiquetas. Posteriormente, são vistos os tipos de etiquetas, segundo sua fonte de energia. Adiante, são mostrados os sistemas de localização RFID e trabalhos relacionados com a proposta desta dissertação.

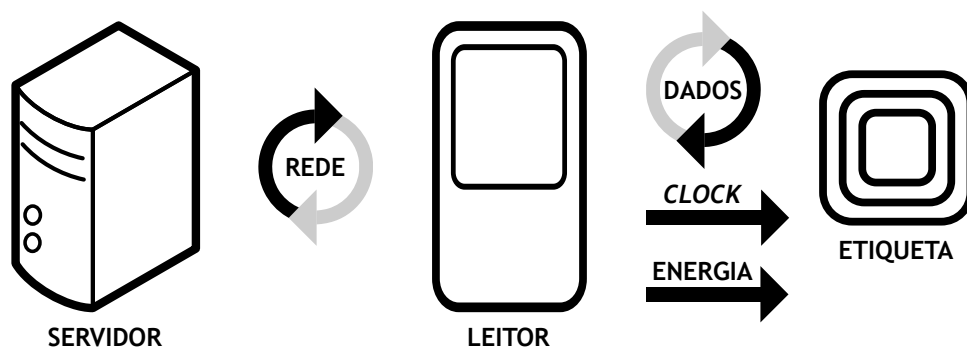
#### 2.3.4.1 RFID – Identificação por Radiofrequência

Nos últimos anos, o problema de localização ganhou crescente atenção; e sistema de localização interna é uma das principais áreas para aplicações de computação pervasiva,



no que se refere ao rastreamento de objetos [Civilis et al. 2005], monitoramento de pessoas, serviços de assistência doméstica, controle de estoque, sensíveis a contexto, entrega personalizada de informações [Harroud et al. 2003], rastreabilidade de animais [Ng et al. 2005], entre outras aplicações. Os sistemas RFID têm sido fortemente utilizados nesses campos.

O RFID é uma forma de armazenar e recuperar dados através de transmissão eletromagnética para um circuito integrado RF compatível [Chiesa et al. 2002]. Além de serem compostos por leitores (*interrogator*) e etiquetas (*transponder*), os sistemas RFID também podem contemplar um componente de processamento de dados, algumas vezes chamado de servidor de dados [Chiesa et al. 2002], [Liu et al. 2009], [Sarma et al. 2003]. A Figura 2.1 mostra essa estrutura.



**Figura 2.1** A estrutura de um sistema RFID com três componentes.

Os sistemas RFID trabalham da seguinte forma:

- As etiquetas RFID típicas consistem em um *microchip*, que armazena dados, e uma antena acoplada usada para a comunicação via radiofrequência (RF) com o leitor RFID. As etiquetas dentro da zona de interrogação de um leitor podem ser ativadas para dar resposta correspondente ao leitor. Por esse método, as informações armazenadas nas etiquetas podem ser obtidas pelo leitor. As etiquetas RFID podem ser classificadas como ativas (possuem fonte de alimentação própria), passivas (não têm qualquer fonte de alimentação) e semipassivas ou semiativas (dotadas de bateria para energizar as etiquetas, mas a comunicação é feita por indução magnética);

- Um leitor RFID é um dispositivo que pode ler e escrever dados para etiquetas RFID [Lahiri 2005]. Os leitores RFID consistem de um módulo de radiofrequência, uma unidade de controle e uma antena acoplada para interrogar etiquetas RFID via comunicação por radiofrequência. Os leitores usam antena de transmissão para transmitir radiofrequência no campo eletromagnético pelo qual dados, *clock* e energia que podem ser alcançados pelas etiquetas. O uso de radiofrequência para a comunicação com as etiquetas permite que os leitores leiam etiquetas passivas em pequenas e médias distâncias e etiquetas ativas em pequenas e grandes distâncias mesmo quando as etiquetas estão localizadas em ambientes hóstis;
- Os dados recebidos pelo leitor podem ser transportados ao servidor via rede ou outro meio para posterior processamento.

Um critério importante de distinção de sistemas RFID é como a fonte de alimentação da etiqueta trabalha [Finkenzeller and Müller 2010]. Diante disso, as etiquetas são classificadas em três tipos: passivas, ativas e semipassivas ou semiativas.

As etiquetas passivas operam sem fonte de alimentação própria. Para que elas possam se comunicar com o leitor, adotam um mecanismo para utilizar a energia emitida pelo leitor. Isso é feito através da antena da etiqueta, onde o campo eletromagnético do leitor provê toda a energia necessária para a operação da etiqueta. A fim de transmitir dados de uma etiqueta para o leitor, o campo do leitor pode ser modulado ou a etiqueta pode imediatamente armazenar, por um curto período de tempo, a energia emitida pelo leitor, ou seja, a energia emitida pelo leitor é usada para a transmissão de dados do leitor para a etiqueta e, depois, de volta ao leitor [Finkenzeller and Müller 2010]. As etiquetas passivas são principalmente usadas em substituição de tecnologias tradicionais, como o código de barra. Estes tipos de etiquetas são mais leves, possuem menores volumes e custos relativamente baixos, comparado com as etiquetas ativas. Tipicamente, etiquetas passivas possuem um raio de leitura muito limitado, variando entre  $1m$  e  $2m$ .

As etiquetas ativas têm sua própria fonte de alimentação, por exemplo, uma bateria. Assim, a fonte de alimentação é utilizada para fornecer tensão ao *chip*. O campo eletromagnético do leitor não é, portanto, necessário para alimentar uma etiqueta ativa.

Isso significa que o sinal emitido pelo leitor pode ser substancialmente mais fraco do que o necessário para operar uma etiqueta passiva. Esta condição faz com que aumente o alcance de comunicação entre o leitor e a etiqueta [Finkenzeller and Müller 2010], que pode variar entre  $20m$  e  $100m$ . Isso porque as etiquetas ativas conseguem detectar sinal do leitor mesmo quando este é fraco, pois precisa apenas de energia suficiente para ser interrogada por este. As etiquetas ativas também são consideravelmente mais dispendiosas que etiquetas passivas, assim como qualquer produto de fonte própria de energia, e suas baterias devem ser substituídas periodicamente.

As etiquetas semipassivas ou semiativas possuem fonte de alimentação própria, que é responsável por realizar tarefas específicas de sua eletrônica, ou seja, a energia armazenada neste tipo de etiquetas é utilizada somente para o funcionamento das mesmas. No entanto, para a transmissão de seus dados, uma etiqueta semipassiva usa a energia emitida pelo leitor. Para este tipo de etiqueta, a comunicação é iniciada pelo leitor seguida pela etiqueta [Finkenzeller and Müller 2010]. O raio de leitura das etiquetas semipassivas é superior a  $10m$  [Umeda et al. 2006]. A Tabela 2.1 mostra a comparação dos tipos de etiquetas RFID.

**Tabela 2.1** Comparação de etiquetas ativas, etiquetas semipassivas ou semiativas e etiquetas passivas.

	<b>Ativas</b>	<b>Semipassivas</b>	<b>Passivas</b>
<b>Raio de comunicação</b>	Longo	Moderado	Curto
<b>Bateria</b>	Sim	Sim	Não
<b>Custo</b>	Alto	Moderado	Baixo

Devido a utilização de sinais de rádio eletromagnéticas para sua operação, para seu funcionamento, os sistemas RFID estão sujeitos as mesmas leis físicas que outros dispositivos de radiofrequência, assim como regulamentações governamentais para o uso do espectro de frequências. Nesse sentido, os sistemas RFID fazem uso de algumas bandas de frequências, como observado na Tabela 2.2 [Lahiri 2005].

**Tabela 2.2** Bandas de frequências utilizadas em sistemas RFID.

Faixa de frequência	Frequência RFID	Tipos de etiquetas
<i>Low Frequency (LF)</i> 30 <i>KHz</i> – 300 <i>KHz</i>	125 <i>KHz</i> ou 134,2 <i>KHz</i>	Passivas
<i>High Frequency (HF)</i> 3 <i>MHz</i> – 30 <i>MHz</i>	13,56 <i>MHz</i>	Passivas
<i>Ultra High Frequency (UHF)</i> 300 <i>MHz</i> – 1 <i>GHz</i>	315 <i>MHz</i> e 433 <i>MHz</i>	Ativas
<i>Microwave</i> Acima de 1 <i>GHz</i>	2,45 <i>GHz</i> ou 5,8 <i>GHz</i>	Ativas e Passivas

#### 2.3.4.2 LANDMARC

Para prover o serviço de localização de objetos, o sistema LANDMARC (*LocAtioN iDen-tification based on dynaMic Active Rfid Calibration*) utiliza uma infraestrutura composta por leitores RFID, etiquetas de referência e um servidor em comunicação com esses leitores para a realização dos cálculos computacionais referentes as estimativas de localização daqueles objetos. Tais objetos obrigatoriamente estão rotulados com uma etiqueta RFID ativa. Previamente, o LANDMARC exige que as coordenadas das etiquetas de referência sejam conhecidas, assim como as dos leitores.

O processo de localização do LANDMARC consiste na construção de dois mapas de força de sinais ou RSS para representar a distância Euclideana medida entre leitores em relação as etiquetas de referência e/ou aos objetos a serem localizados, onde as distâncias Euclidianas em valores RSS modelam os efeitos provocados pela natureza de um ambiente (presença de obstáculos ou movimentação de pessoas, por exemplo) causando a variabilidade na força de sinais de radiofrequência influenciando diretamente na acurácia desse sistema de localização para ambientes internos. A Tabela 2.3 define os parâmetros utilizados pelo LANDMARC.

**Tabela 2.3** Parâmetros definidos pelo LANDMARC.

Nome	Descrição	Domínio
$m$	Número de etiquetas de referência	$m > 0$
$n$	Número de leitores	$n > 0$
$u$	Número de etiquetas localizáveis	$u > 0$
$i$	Um leitor	$i \in [1, n]$
$r$	Uma etiqueta de referência	$r \in [1, m]$
$j$	Um etiqueta localizável	$j \in [1, u]$
$k$	Número de etiquetas de referência vizinhas mais próximas de $j$	$k > 0$
$E_r^j$	Distância Euclideana entre $j$ e $r$	$E_r^j \in \mathbb{R}$
$\vec{S}(j)$	Vetor de distância Euclideana para $j$	$(E_1^j, E_2^j, \dots, E_m^j)$
$\vec{W}(j)$	Vetor de pesos para $k$ menores $E_r^j$	$w \in [1, j]$
$S_i^j$	Força do sinal de $j$ medida por $i$	$S_i^j \in \mathbb{R}$
$\vec{S}(j)$	Vetor de força do sinal de $j$	$(S_1^j, S_2^j, \dots, S_n^j)$
$\theta_i^r$	Força do sinal de $r$ medida por $i$	$\theta_i^r \in \mathbb{R}$
$\vec{\theta}(r)$	Vetor de força do sinal de $r$	$(\theta_1^r, \theta_2^r, \dots, \theta_n^r)$

O primeiro mapa de RSS construído é representado pelo vetor  $\vec{S}(j) = (S_1^j, S_2^j, \dots, S_n^j)$ , onde  $S_i^j$  denota o RSS medido no leitor  $i \in [1, n]$  com relação ao sinal transmitido pelo objeto  $j$  a ser localizado. Um segundo mapa é construído para cada etiqueta de referência  $r \in [1, m]$  e é representado por  $\vec{\theta} = (\theta_1^r, \theta_2^r, \dots, \theta_n^r)$ , onde  $\theta_i^r$  é o RSS medido pelo leitor  $i \in [1, n]$ .

O LANDMARC define

$$E_r^j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i^r - S_i^j)^2} \quad (2.1)$$

como a distância Euclideana, em níveis de potência, entre o objeto a ser localizado e uma etiqueta de referência  $r$ . Conceitualmente, quanto menor for o valor de  $E_r^j$ , menor será a distância Euclideana entre a etiqueta de referência  $r$  e o objeto  $j$  a ser localizado.

O processo de obtenção da estimativa de localização de um objeto  $j$  com o LANDMARC ocorre em três etapas. Na primeira etapa, para cada etiqueta de referência  $r \in [1, m]$  e o objeto  $j$ , ele calcula a distância Euclidiana e armazena os valores no vetor  $\vec{E}(j) = (E_1^j, E_2^j, \dots, E_m^j)$ . Na segunda etapa, o LANDMARC usa o vetor  $\vec{E}(j)$  como entrada para o algoritmo KNN (*K-Nearest Neighbors*) [Bahl and Padmanabhan 2000] que permite encontrar as  $k$  etiquetas de referência com a menor distância para o objeto a ser localizado. Para  $k = 1$ , a estimativa de localização do objeto a ser localizado é igual ao posicionamento da etiqueta de referência mais próxima dele. Para  $k > 1$ , o LANDMARC estabelece pesos em função da distância entre o objeto a ser localizado e sua  $l$ -ésima etiqueta de referência vizinha mais próxima. O peso é dado por:

$$W_l^j = \frac{1/(E_l^j)^2}{\sum_{l=1}^k (1/(E_l^j)^2)} \quad . \quad (2.2)$$

Note que o maior peso será produzido pela  $l$ -ésima etiqueta de referência mais próxima do objeto a ser identificado e com menor valor  $E_l^j$ .

Na última etapa, o LANDMARC estima as coordenadas  $(x_j, y_j)$  do objeto  $j$  de acordo com a equação a seguir:

$$(x_j, y_j) = \sum_{l=1}^j W_l^j \times (x_l, y_l) \quad , \quad (2.3)$$

onde  $(x_l, y_l)$  são as coordenadas conhecidas da  $l$ -ésima etiqueta de referência, ou seja, o somatório dos produtos das coordenadas das  $l$ -ésimas etiquetas de referência pelos seus respectivos pesos é considerado como a estimativa de localização de um objeto  $j$ .

Para estimar a sala ou área na qual se encontra um objeto, é necessário mapear a localização fornecida pelo LANDMARC no ambiente. Adicionalmente, é conhecido que o valor de  $k$  influencia no desempenho do LANDMARC e que o melhor valor para ele é 4 [Ni et al. 2004]. De acordo com o exposto, todas as simulações realizadas para esta dissertação considerarão  $k = 4$ .

### 2.3.4.3 LANDMARC+

A abordagem LANDMARC+ visa evitar que usuários realizem buscas cegas, pelo ambiente, de objetos cujas localizações foram erroneamente estimadas. Para isso, o LANDMARC+ fornece automaticamente e simultaneamente duas estimativas de localização: uma primária proveniente da execução do LANDMARC e uma secundária. O cálculo da estimativa secundária leva em consideração a distância média Euclideana, em RSS, entre o objeto  $j$  a ser localizado e as etiquetas de referência em cada sala ou área  $a$  do ambiente. Essa distância é dada por:

$$M(j, a) = \frac{\sum_{t(a)=1}^{\rho} \Phi_{t(a)}^j}{\rho} \quad , \quad (2.4)$$

onde  $\rho$  representa o número de etiquetas de referência por sala ou área  $a$  e  $\Phi_{t(a)}^j$  é a distância Euclideana entre o objeto  $j$  e uma etiqueta de referência  $t(a)$  pertencente à área ou sala  $a$ .

Após executar o processo de localização conforme o LANDMARC, o LANDMARC+ constrói o vetor de distâncias médias Euclidianas  $\vec{M}(j, A) = [M(j, a_1), M(j, a_2), \dots, M(j, a_q)]$ , onde  $q$  é o número de áreas ou salas presentes no ambiente interno  $A$ . A área  $a$  com menor valor  $M(j, a)$  é a estimativa secundária de localização do objeto  $j$  a ser localizado.

### 2.3.4.4 VIRE

Além do LANDMARC, outra abordagem que utiliza o conceito de etiquetas de referência RFID no auxílio para estimativas de localização é proposto em [Zhao et al. 2007]. O VIRE (*Virtual Reference Elimination*) não requer que novos leitores ou etiquetas de referência sejam adicionados ao sistema e os cálculos realizados no processo de localização de um objeto são mais simples e eficientes. Ao invés de utilizar muitas etiquetas de referência RFID reais posicionadas em uma área sensível a localização, este sistema de localização implementa o conceito de etiquetas de referência virtuais para prover uma densa cobertura de referência na área de interesse, pois quando um etiqueta de referência é posicionada próximo o suficiente de outra etiqueta de referência, cuja suas coordenadas são conhecidas,

seus valores RSS são considerados os mesmos.

Para amenizar os efeitos da falta de característica do comportamento do sinal, cada leitor gera um mapa de proximidade ou *grid* de coordenadas formado pelas etiquetas virtuais. Para estimar o possível posicionamento de um objeto, o VIRE permite eliminar posicionamentos que ele considera como improváveis, baseados nas informações de diferentes mapas mantidos pelos leitores respeitando determinados parâmetros de projeto. Os autores não expõem de maneira adequada as técnicas utilizadas no algoritmo apresentado. Isso leva a crer que os valores RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) obtidos pela equação de interpolação linear podem não ser suficientemente precisos.

#### 2.3.4.5 Trabalhos Relacionados com a Proposta

Em [Jin et al. 2006], os autores propõem um mecanismo mais eficiente para aumentar a eficiência de localização em sistemas RFID, minimizando o erro na estimativa de localização. O sistema RFID utilizado na proposta foi o LANDMARC. Nesse artigo, os autores buscam resolver problemas em potencial de algoritmo, como, por exemplo, reduzir o número de etiquetas de referência candidatas a serem as mais próximas de um objeto de interesse. Este problema é relevante, pois, em um ambiente com grande densidade de etiquetas de referência, o esforço computacional está fortemente ligado à grandeza de etiquetas de referência que precisam ser processadas, e reduzindo tal densidade, reduz-se também a latência na localização.

O mecanismo proposto considera como etiquetas de referência candidatas a serem as mais próximas de um objeto, aquelas que são detectadas simultaneamente pela quantidade de leitores RFID, onde as áreas de cobertura desses leitores alcançam o objeto de interesse. Técnicas de triangulação são utilizadas para obter as coordenadas do objeto alvo. A descrição do mecanismo está confusa e não muito bem definida. Os experimentos foram realizados rastreando 10 objetos em uma área com 4 leitores e 20 etiquetas de referência distantes  $2m$  umas das outras (*grid*  $5 \times 4$ ). Os resultados mostram que a média para os 10 objetos em localização, referindo-se ao erro nas estimativas, foi de  $1,6m$  para o LANDMARC e de  $0,72m$  para o mecanismo proposto.



Os autores de [Jeon and Park 2009] propõem uma configuração ótima para leitores RFID visando a melhoria de desempenho no posicionamento interno, onde não há a necessidade de adicionar novos leitores no ambiente nem amplificar a intensidade do seu sinal. Os leitores foram classificados como: leitor base (fixo) e leitor alvo (móvel). Quanto às etiquetas, elas foram agrupadas em linhas que vão do chão ao teto, cada linha possui 7 etiquetas. Os experimentos foram realizados em um ambiente real, onde este compreendia uma sala retangular de dimensão  $5,55m \times 10m \times 2,75m$ , na qual foi dividida por zonas de detecção, 4 zonas no total. Um leitor base foi posicionado a, aproximadamente,  $1,37m$  do chão em uma das laterais e no meio dela. Um único leitor alvo foi utilizado, posicionado em 3 localizações diferentes (todas no teto do ambiente). Em cada zona de detecção foram distribuídas 2 linhas com etiquetas em 6 diferentes.

Os resultados são apresentados de acordo com o posicionamento do leitor alvo, onde para cada localização desses leitores foi mostrado a eficiência de localização em cada uma das 4 zonas que dividem o ambiente. As taxas de detecção, com leitores transmitindo a  $6\text{ dB}$ , são muito baixas nos 3 posicionamentos do leitor alvo. A maior delas alcança  $16,55\%$ .

Um outro problema relevante, quanto a melhoria da eficiência de localização em sistemas RFID, considera calibrar o sistema de posicionamento para aumentar a qualidade do posicionamento de sensores. Isto é feito através de treinamento de medições RSS, o que demanda de esforços manuais. Em [Esposito et al. 2009] foi proposto uma abordagem que, de forma automática, construisse um mapa de sinais, *Radio Map*, e avaliasse a calibração do sistema melhorando a qualidade do posicionamento de sensores. Esse trabalho considera métodos baseados em RSS no processo de localização, onde a qualidade desses métodos está relacionado com o posicionamento dos sensores sem fio, e visa reduzir os esforços manuais no processo de calibração.

A abordagem proposta por esses autores está dividida em dois passos: construir o mapa de sinais reduzindo campos de medições; e otimização do posicionamento dos pontos de referência. O primeiro passo é feito avaliando o RSS de um conjunto de áreas em um ambiente obtendo informação de padrões RSS das localizações para, posteriormente,

aplicar técnica de posicionamento. Neste passo o algoritmo HMM (*Hidden Markov Model*) foi utilizado. No segundo passo, o problema foi formulado como otimização multi-objetiva e, para a resolução desses problemas, algoritmos evolucionários são os mais adotados, dentre eles, o escolhido foi o MOGA (*Multi-Objective Genetic Algorithm*).

Os experimentos foram realizados no laboratório CINI em Naples em duas áreas (dois pisos) de  $270m^2$ , onde 3 posicionamentos de sensores foram estudados: *Proposed Pattern*, *Equal Partitioning* e *Saw-tooth Partitioning*. Medindo a qualidade dos três particionamentos pelo número de amostras, o *Proposed Pattern* apresentou superior a 10% em relação aos outros particionamentos, tanto para uma baixa quantidade de amostras (5) quanto para alta (60).

Em [Zhang et al. 2010], os autores visam melhorar o algoritmo de localização VIRE, através de métodos de interpolação para calcular os valores RSSI das novas etiquetas de referência quando o *grid* é expandido (redes dinâmicas). No processo de medição RSS das etiquetas de referência virtuais, o VIRE original utiliza o método de interpolação linear, porém a complexidade de ambientes reais faz com que esse método produza grandes erros. Diante disso, o método de interpolação Lagrange vem sendo utilizado para prover resultados mais precisos de valores RSSI correspondentes as localizações.

Nesse artigo, os métodos de interpolação Lagrange e de interpolação Newton foram utilizados para a obtenção dos RSSI's. Os autores propõem o uso da interpolação Newton baseados em redes dinâmicas para calcular mais etiquetas objetos e aumentar a eficiência nos resultados quando novas etiquetas de referências virtuais são incrementadas no ambiente.

Dois experimentos foram analisados. Neles foram comparados os métodos de interpolação Lagrange e de interpolação Newton. O experimento 1 consiste de um *grid* virtual, onde os valores RSSI das etiquetas de referência virtuais adicionadas são calculadas individualmente. Os erros médios para as duas interpolações são comparados. O erro médio para Lagrange é grande e cresce exponencialmente com a inserção de novas etiquetas e o erro médio para Newton é controlado em  $0,15m$  e decai logaritmicamente com o aumento no número de etiquetas. No segundo experimento foi avaliado um valor RSSI em parti-

cular. O erro médio para até 10 etiquetas de referência para as duas interpolações são equivalentes, mas Lagrange teve crescimento exponencial a partir de 20 etiquetas de referência. Tempos de processamento também foram comparados. Nos dois experimentos, o tempo de cálculo para a interpolação Newton foi menor. Este método de interpolação é adaptável em redes dinâmicas.

#### **2.3.4.6 Justificativa para o uso do LANDMARC e LANDMARC+**

Neste trabalho foram utilizados somente os algoritmos de localização LANDMARC e LANDMARC+. Isto porque esta dissertação é a continuidade dos trabalhos de [Silva and Gonçalves 2009a] e [Silva and Gonçalves 2009b]. Neles, os autores propuseram um sistema de auxílio à localização de etiquetas RFID em ambientes internos. Esse sistema fornece duas estimativas de localização. A primeira é a estimativa gerada pelo LANDMARC [Ni et al. 2004] e a segunda estimativa de localização é fornecida sempre que o LANDMARC é ineficiente ao apontar em qual sala do ambiente interno um objeto está posicionado. Os cenários apresentados em [Silva and Gonçalves 2009a] e [Silva and Gonçalves 2009b] possuíam infraestrutura de localização do ambiente interno semelhante a apresentada em [Ni et al. 2004] e as posições dos objetos a serem localizados eram conhecidas, pois desejava-se avaliar a eficiência do LANDMARC+ sobre o LANDMARC. A escolha LANDMARC e LANDMARC+ nesta dissertação leva em conta avaliar desempenhos dos mesmos em ambientes internos maiores e sem que uma infraestrutura de localização seja previamente definida.

## **2.4 RESUMO**

Este capítulo apresentou alguns sistemas de localização para ambientes internos, nos quais classificados como: análise de cenas, triangulação e proximidade. O processo de localização em sistemas sob a perspectiva de análise de cenas usa o processamento de imagens para estimar a localização de pessoas ou objetos. Na triangulação são utilizadas propriedades geométricas do triângulo no processo de localização. A técnica de

localização por proximidade determina a proximidade de um objeto por contato físico ou intensidade de sinal. Dentro da técnica de proximidade estão sistemas de localização baseados em RFID, onde foram mostrados o LANDMARC, LANDMARC+ e VIRE, assim como trabalhos relacionados. Este capítulo apresentou, ainda, o sistema RFID detalhando o processo de comunicação entre leitor e etiqueta. Foi visto também que existem três tipos de etiquetas RFID: passivas; ativas; e semipassivas ou semiativas. Para concluir, foi justificado a escolha dos sistemas RFID LANDMARC e LANDMARC+ para o uso nesta dissertação.

## CAPÍTULO 3

# SIMULADOR

Com o intuito de avaliar a eficiência de localização em sistemas RFID foi desenvolvido um simulador que permitisse testar algoritmos de localização, modelando o ambiente interno e o RSS, assim como a infraestrutura de localização. Os algoritmos de localização utilizados foram o LANDMARC e o LANDMARC+. Este capítulo descreve as características do simulador e, também, o classifica por módulos.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS

O simulador para sistemas de localização RFID foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação C++. Ele permite que experimentos sejam realizados em um ambiente interno dividido em subáreas, onde é possível determinar as dimensões do ambiente e de suas divisões. Para completar a infraestrutura física de localização, o simulador também permite configurar conjuntos de leitores e etiquetas de referência, através da informação das coordenadas  $(x, y)$  de cada componente dos conjuntos. A infraestrutura de física de localização é necessária, uma vez que o simulador precisa dos elementos que a compõem para prever automaticamente a localização de objetos que carreguem consigo etiquetas RFID.

Agregado à infraestrutura de localização, este simulador contempla a implementação dos algoritmos de localização RFID LANDMARC e LANDMARC+ – outros algoritmos desse tipo, que utilizem conceitos de etiquetas de referência, podem ser facilmente adicionados à ferramenta desenvolvida. Outra característica inserida no simulador é a modelagem de canais de comunicação. Nesta ferramenta, dois modelos de propagação foram implementados: *Path Loss* e Desvanecimento. Uma das justificativas para o desenvol-

vimento do simulador em C++ é devido a dependência à biblioteca IT++ [Chalmers University of Technology 2005], responsável pela modelagem de canais com desvanecimento. A modelagem do canal de transmissão é importante, pois sistemas RFID utilizam medidas de força de sinais (RSS, *Received Signal Strength*) para prover a localização de objetos.

Diante dos requisitos apresentados, o simulador armazena informações relevantes que são utilizadas na geração de gráficos pelo GNU-Plot para analisar o comportamento do sistema RFID, quanto à localização de objetos, em determinadas condições do ambiente.

## 3.2 ARQUITETURA

O simulador de localização desenvolvido possui uma arquitetura dividida em módulos responsáveis em executar tarefas específicas. Basicamente, os módulos respondem pela montagem do ambiente interno, pelas configurações de posicionamento de leitores e etiquetas de referência, pelos algoritmos de localização e pela modelagem do canal de comunicação. As funcionalidades de cada módulo são descritas nas Subseções 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 e 3.2.4, respectivamente.

### 3.2.1 Da Infraestrutura do Ambiente Interno

Este módulo é responsável em estabelecer um ambiente para simulação, como o total de áreas que o compõem e o tamanho de cada área, por exemplo. Para que o simulador construa o ambiente físico é utilizado um arquivo de entrada que contém informações sobre as características do ambiente. Dentre as características contidas no arquivo estão o tipo de divisão do ambiente, o total de áreas, o comprimento da área, a quantidade de áreas no eixo  $x$ , a quantidade de objetos a serem distribuídos por áreas e a área em que os objetos serão distribuídos.

Primeiramente, a ferramenta extrai do arquivo o **tipo do ambiente**, se o ambiente será caracterizado como fechado ou aberto. Essa informação é útil, uma vez que, ela poderá ser utilizada na modelagem de canais se o ambiente fechado, ou seja, a divisão

entre as áreas será física. Isto porque, se há uma divisão entre um transmissor e um receptor, esta divisão física modificará a intensidade do sinal medido entre o par de comunicação, o que fará com que o sinal seja enfraquecido. Adicionado a isso, incorrerá a quantidade de divisórias que o sinal atravessará entre o par de comunicação.

O simulador está limitado a construir ambientes físicos retangulares ou quadrados. Diante disso, variáveis internas correspondentes ao **total de áreas** e à **quantidade de áreas no eixo x** controlam essa característica. Uma outra limitação da ferramenta é a construção de áreas simétricas, o que é controlado pelo **comprimento da área**. Internamente, o simulador armazena na matriz ‘ambiente[<total de salas>][4]’ as coordenadas  $(x, y)$  do início e do fim de uma área para o número total de salas. A **quantidade de objetos na área** determina o número de simulações que serão realizadas em uma área específica (**área de distribuição dos objetos**), onde cada simulação representará um posicionamento aleatório de um objeto. Os objetos são gerados utilizando o gerador de números aleatórios ‘Uniform\_RNG’ da biblioteca IT++.

### 3.2.2 Do Posicionamento de Leitores e Etiquetas de Referência

Assim como na criação do ambiente interno, o simulador é alimentado por arquivos de configuração para estabelecer o posicionamento dos leitores e das etiquetas de referência. O arquivo é chamado de ‘coordinates.txt’. Ele contém uma coleção de coordenadas  $(x, y)$  referentes aos leitores e etiquetas de referência. Uma vez extraídas as coordenadas, o simulador as armazena nas matrizes ‘cLeitor[<quantidade de leitores>][2]’ e ‘cTagRef[<quantidade de etiquetas de referência>][2]’.

Posteriormente, utilizando a matriz ‘ambiente[<total de salas>][4]’, o simulador determina a área em que se localiza cada leitor e cada etiqueta de referência. Isso é necessário para que a distância entre os leitores/etiquetas de referência e os objetos a serem localizados possam ser medida, que é uma das etapas dos algoritmos de localização utilizados. Determinar a área de posicionamento de leitores e etiquetas de referência é importante também para seja possível contabilizar o total de divisórias, caso o ambiente seja fechado, que um sinal atravessa durante um processo de transmissão.

### 3.2.3 Dos Algoritmos de Localização

Este módulo da ferramenta de simulação compreende aos sistemas de localização utilizados nesta dissertação. Ele se comunica frequentemente com o módulo da Subseção 3.2.4. A comunicação entre esses dois módulos é iniciada pelo módulo desta subseção, onde este repassa àquele parâmetros que representam a distância entre leitores/etiquetas de referência e objetos obtidos na Subseção 3.2.2, a sala em que o leitor, etiqueta de referência e objetos se encontram, o passo de variação de sinal e o tipo de ambiente. O módulo desta subseção recebe, por sua vez, a distância Euclideana em RSS entre leitor/etiqueta de referência e objeto que será utilizado no algoritmo KNN para determinar quais as  $k$  etiquetas de referência estão de um objeto. Posteriormente, estima a localização  $(x, y)$  do objeto e, de posse da matriz ‘ambiente[<total de salas>][4]’ compara se a área na qual o objeto foi estimado é a mesma onde, de fato, ele se encontra.

### 3.2.4 Da Modelagem de Canais

Para cada simulação realizada dois modelos de propagação de sinais são utilizados. Esses modelos de propagação estão localizados no quarto módulo do simulador. Este módulo se interliga unicamente ao módulo da Subseção 3.2.3. Dentre outros parâmetros, ele comporta os parâmetros de frequência de transmissão, um fator de atenuação para ambientes abertos e outro para ambientes fechados e fator de atenuação para a divisória do ambiente, quando este é fechado. O retorno deste módulo, que é recebido pelos algoritmos de localização, é a potência média recebida, isto é, o valor RSS que será considerado para cálculos do algoritmo KNN. A unidade de retorno do módulo deste subseção é em  $dB$ .

## 3.3 RESUMO

Este capítulo descreveu a ferramenta de simulação criada para auxiliar no processo de localização automática de objetos em sistemas RFID. Como foi visto, o simulador é composto por módulos responsáveis pela criação do ambiente físico, pela configuração do



posicionamento da infraestrutura de localização, pelos algoritmos de localização e pela modelagem de canais.

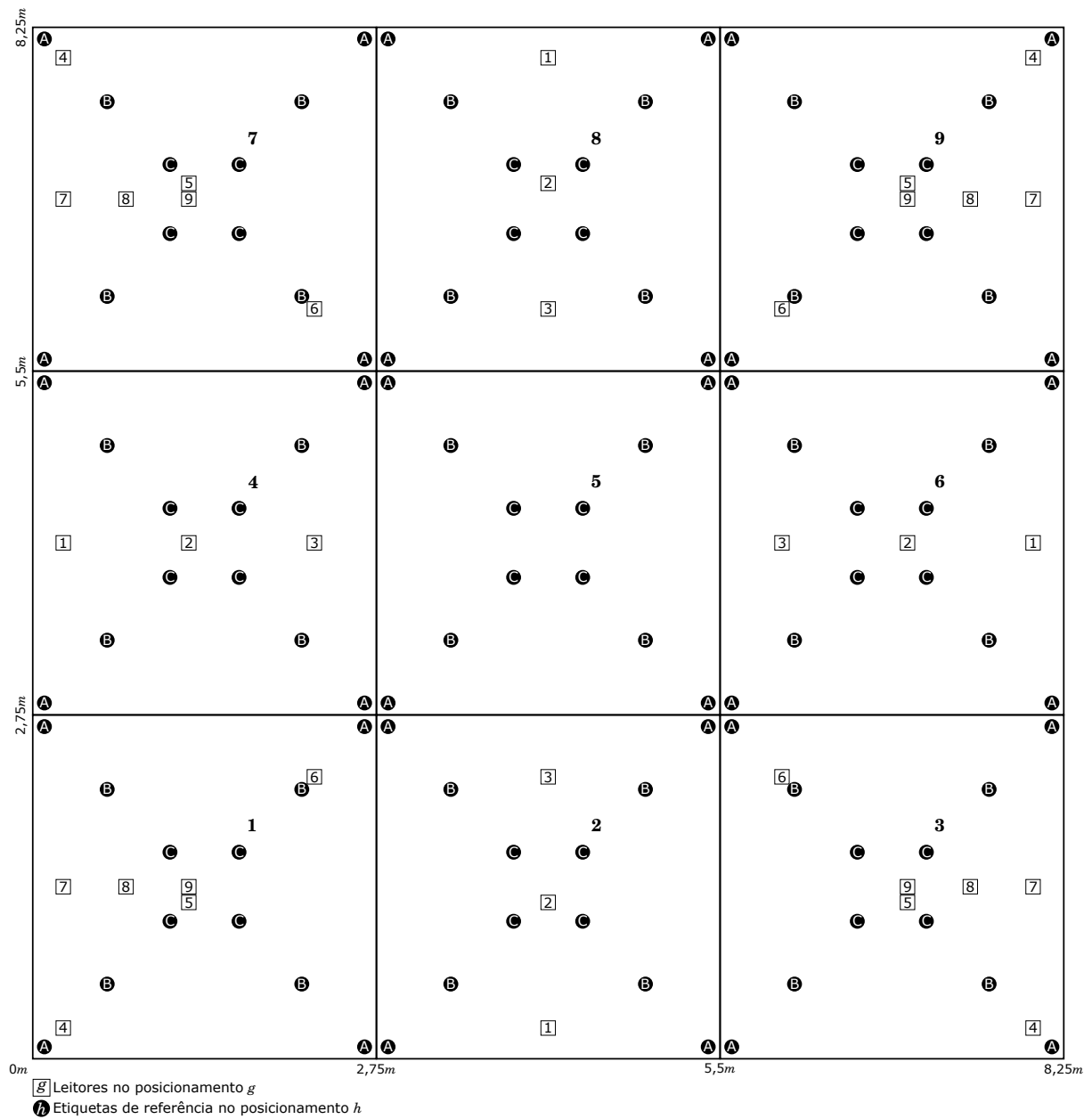
# ESTUDO DE POSICIONAMENTO DA INFRAESTRUTURA DE LOCALIZAÇÃO

Este capítulo apresenta os resultados das simulações desta dissertação. As simulações foram realizadas utilizando alguns parâmetros de configurações previamente definidas: a Seção 4.1 mostra o ambiente interno estudado; a Seção 4.2 considera os modelos de propagação de sinais utilizados; a Seção 4.4 define os cenários para as simulações; a Seção 4.5 avalia os resultados das simulações; e, por último, a Seção 4.6 recomenda configuração de posicionamento de leitores e etiquetas de referência.

## 4.1 AMBIENTES INTERNOS

A Figura 4.1 apresenta o *layout* do ambiente e das diferentes configurações de posicionamento de leitores e etiquetas de referência. O ambiente é composto por 9 salas ou áreas quadradas ( $2,75\text{ m} \times 2,75\text{ m}$ ). O ambiente pode estar separado fisicamente por paredes/divisórias ou simbolicamente por marcações no chão. Logo, quando essas divisões são físicas, o ambiente interno é chamado de ‘ambiente fechado’ e, quando as divisões do ambiente interno feitas por marcações no chão, o ambiente é denominado de ‘ambiente aberto’.

Esta dissertação compreende o estudo de 9 configurações de posicionamento dos leitores. Cada configuração é identificada pelos pequenos quadrados numerados de 1 a 9 na Figura 4.1 e é composta por 4 leitores, ou seja, em todo o ambiente interno estudado há 4 leitores para cada configuração de posicionamento destes. Em relação às etiquetas de referência, 3 configurações de posicionamento são estudadas. Elas são identificadas pelos pequenos círculos com letras *A*, *B* e *C* na Figura 4.1. Em cada sala ou área do ambiente



**Figura 4.1** *Layout* dos cenários utilizados considerando 9 conjuntos de posicionamento de leitores e 3 conjuntos de posicionamento de etiquetas de referência.

interno há 4 etiquetas de referência. Isso quer dizer que, totalizando o número de salas (9) do ambiente estudado, a configuração de etiquetas de referência  $A$  ou  $B$  ou  $C$  possui 36 etiquetas de referência. Em todas as salas ou áreas, as etiquetas de referências estão posicionadas a  $0,1\text{ m}$ ,  $0,6\text{ m}$  e  $1,1\text{ m}$  da borda de cada uma delas, respectivamente, para as configurações  $A$ ,  $B$  e  $C$ .

Nesta dissertação, a notação  $X_Y$  representa uma infraestrutura montada de acordo com a configuração  $X$  de etiquetas de referência e a configuração  $Y$  de posicionamento de leitores. As coordenadas das configurações de posicionamento para os leitores e para as etiquetas de referências são encontradas no Apêndice A. As coordenadas para cada um dos 4 leitores presentes em uma configuração de posicionamento dos leitores são vistas na Tabela A.1. As coordenadas das etiquetas de referência presentes nas configurações de posicionamento de etiquetas de referência  $A$ ,  $B$  e  $C$  estão nas Tabelas A.2, A.3 e A.4, respectivamente.

## 4.2 MODELOS DE PROPAGAÇÃO DE SINAIS

Para avaliar, através de simulações, o desempenho de sistemas de localização baseados em medidas de RSS, é necessário primeiramente modelar a propagação de sinais. Nesta dissertação, dois modelos de propagação de sinais foram utilizados: o modelo *Path Loss* e o modelo para canais com desvanecimento (*fading*).

### 4.2.1 Path Loss

O modelo de propagação *Path Loss* (PL) é um modelo empírico para ambientes internos proposto em [Seidel and Rappaport 1992] e expressado por

$$PL = PL(d_0) + 10\gamma \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + \sum_{q=1}^Q FAF(q) + \sum_{p=1}^P WAF(p) \quad , \quad (4.1)$$

onde  $PL$  é a atenuação por perda (em decibels,  $dB$ ) que uma onda eletromagnética experimenta ao propagar-se entre o transmissor e o receptor;  $PL(d_0)$  é a atenuação sofrida pelo sinal a uma distância de referência  $d_0$  do transmissor;  $d$  é a distância, em metros,

entre o transmissor e o receptor; e  $\gamma$  é o expoente de atenuação e representa a taxa de aumento da atenuação em relação à distância. Os valores típicos do expoente de atenuação variam de 2,0 a 4,0. Os fatores de atenuação de pisos e paredes no ambiente são representados respectivamente por  $FAF(q)$  – *Floor Attenuation Factor* – e  $WAF(p)$  – *Wall Attenuation Factor*. As variáveis  $q$  e  $p$  representam, respectivamente, um piso ( $q \in [1, Q]$ ) e uma parede ( $p \in [1, P]$ ) entre o transmissor e o receptor.

Para calcular  $FAF(q)$  e  $WAF(p)$ , respectivamente, as Equações (4.2) e (4.3) são utilizadas

$$FAF(q) = i \times Q_i \quad , \quad (4.2)$$

onde  $i$  é a quantidade de andares existentes entre o transmissor e o receptor. O termo  $Q_i$  é o fator de atenuação específico para cada andar entre transmissor e receptor. Esta dissertação considera um ambiente de simulação plano (2D), portanto  $FAF(q)$  é igual 0.

$$WAF(p) = j \times P_j \quad , \quad (4.3)$$

onde  $j$  é o número de paredes/divisórias presentes entre o transmissor e o receptor. O termo  $P_j$  é o fator de atenuação específico do tipo de material de cada parede/divisória e seu valor típico é 2,5 dB. As simulações apresentadas neste trabalho admitem que um ambiente interno pode ser dividido por paredes/divisórias ou marcações no chão, configurando-se como fechado ou aberto, respectivamente. Logo, para ambientes abertos,  $WAF(p)$  é igual a 0.

Tipicamente,  $d_0$  é igual a 1 m em ambientes internos [Seidel et al. 1992] e a atenuação do sinal de um transmissor a uma distância de referência de 1 m é dada por

$$PL (1 \text{ metro}) \text{ dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi}{\lambda} \right) \text{ dB} \quad , \quad (4.4)$$

onde  $\lambda$  é o comprimento da onda eletromagnética.

Para um mesmo par transmissor-receptor estático, a Equação (4.1) permite obter apenas um valor fixo de RSS. Entretanto, em ambientes reais, as medidas de RSS variam ao longo do tempo para um mesmo par transmissor-receptor estático. Isso ocorre por

causa de efeitos de *multipath*, *shadowing*, propagação sem linha de visada direta, e interferências de outros dispositivos RF. Na prática, tais efeitos fazem com que os valores de RSS pareçam randômicos e imprevisíveis ao longo do tempo. Assim sendo, é importante considerar variações nos valores de RSS de forma a tornar as simulações mais realísticas. Por causa disso, este trabalho usa um modelo de propagação *Path Loss* estendido e definido por

$$PL^* = \Gamma \quad , \quad (4.5)$$

onde  $\Gamma$  denota uma variável randômica Gaussiana com variância  $\sigma^2$  e média  $PL$ , sendo tal média a atenuação computada através da Equação (4.1).

#### 4.2.2 Modelagem de Canal com Desvanecimento

Uma onda de rádio, ao se propagar, está sujeita a reflexões que provocam alterações em sua amplitude e em seu caminho percorrido. Isso leva a variações na potência do sinal recebido. Tais variações são chamadas de desvanecimento ou *fading*. O desvanecimento pode ser causado também por obstáculos na linha de visada direta entre o transmissor e o receptor. Esses obstáculos causam o fenômeno de propagação do sinal por múltiplos caminhos. As alterações na força de sinal causadas por desvanecimento são modeladas como processos randômicos. As duas distribuições mais utilizadas para a modelagem de canais com desvanecimento são as distribuições de Rayleigh e Rice.

A distribuição Rayleigh é voltada para situações onde o receptor obtém toda a energia do sinal por múltiplos caminhos. Por outro lado, quando toda a energia do sinal é obtida apenas por um caminho, ou seja, com visada direta, a distribuição que representa o desvanecimento nesse tipo de canal é a de Rice. A função densidade de probabilidade para a potência recebida ( $p$ ) em um canal do tipo Rice é dada por [Rappaport 2001], [Sanchez-Garcia and Smith 2002]:

$$f_p(p | \bar{p}, K) = \frac{1 + K}{\bar{p}} e^{-K} e^{-\frac{p(1+K)}{\bar{p}}} I_0 \left( \sqrt{\frac{4K(1+K)p}{\bar{p}}} \right) \quad , \quad (4.6)$$

onde  $\bar{p}$  é a potência média recebida,  $I_0$  é a função de Bessel modificada de ordem zero e tipo um e  $K$  é o fator de Rice. O fator  $K$  é definido por meio da relação entre a potência recebida pela visada direta ( $p_d$ ) e a potência recebida por múltiplos caminhos ( $\bar{p}_s$ ). Essa relação é dada por:

$$K = \frac{p_d}{\bar{p}_s} \quad . \quad (4.7)$$

Quanto maior for o fator  $K$  de um canal de comunicação, maior será a influência da visada direta. Para  $K = 0$ , o canal é do tipo Rayleigh. Diante disso, observa-se que a distribuição Rayleigh é um caso especial da distribuição de Rice e a função densidade de probabilidade da potência recebida é obtida por

$$f_p(p | \bar{p}) = \frac{1}{\bar{p}} e^{-\frac{p}{\bar{p}}} \quad . \quad (4.8)$$

### 4.3 METODOLOGIA

Para a modelagem dos ambientes de simulação considerados por esta dissertação é adotada a metodologia, a saber: Os algoritmos de localização com RFID, que utilizam medidas de força de sinal recebido (RSS), LANDMARC e LANDMARC+ foram implementados em simulador próprio (Capítulo 3) desenvolvido nas linguagens de programação C/C++. No simulador também foi implementado o modelo de propagação de sinais *Path Loss*, juntamente com a extensão apresentada na Equação (4.5); para o modelo de propagação com Desvanecimento foi utilizada a biblioteca (em C++) de matemática, de processamento de sinais e de rotinas de comunicação IT++ [Chalmers University of Technology 2005]. A implementação de modelos de propagação de sinais visa modelar o comportamento do RSS. Nos resultados foram considerados o intervalo de confiança de 99% representados pelas barras de erros.

#### 4.4 CENÁRIOS DE ESTUDO

Os cenários de simulações estudados nesta dissertação representam ambientes internos que podem ter divisões físicas (ambientes fechados), caracterizando a existência de salas, e ambientes livres de divisões físicas (ambientes abertos), mas apresentando marcações no chão para determinar áreas. Para cada tipo de divisão existente no ambiente interno, os modelos de propagação de sinais apresentados nas Seções 4.2.1 e 4.2.2 são usados. O tipo de etiqueta RFID utilizado em todos os cenários é **etiqueta ativa**, pois ela é um requisito dos sistemas de localização utilizados nesta dissertação, a saber, LANDMARC e LANDMARC+. Estes cenários são descritos a seguir:

**Cenário I** - Neste cenário, todas as áreas do ambiente interno estão separadas por divisórias, formando salas. Assume-se que um sinal atravessando uma divisória é atenuado em  $2,5 \text{ dB}$ . O número total de divisórias pelas quais um sinal passa é obtido contando-se o número de divisórias na visada direta entre o transmissor e o receptor. Assim sendo, esse número depende do posicionamento do transmissor e do receptor. O modelo de propagação para canais com desvanecimento foi utilizado neste cenário. Os transmissores operam na frequência de  $915 \text{ MHz}$ .

**Cenário II** - Neste cenário, todas as áreas do ambiente interno estão separadas por marcações no chão. O modelo de propagação para canais com desvanecimento também foi utilizado neste cenário. A frequência de operação dos transmissores é também de  $915 \text{ MHz}$ .

**Cenário III** - Neste cenário, todas as áreas do ambiente interno estão separadas por divisórias, havendo a formação de salas. O canal de comunicação segue modelo *Path Loss* estendido. Nesse caso, o valor de  $\gamma$  depende do posicionamento do transmissor e do receptor. Se ambos estiverem na mesma sala, utiliza-se  $\gamma = 2,4$ , caso contrário, utiliza-se  $\gamma = 2,8$ . Os valores de  $\gamma$  estão de acordo com as diretrizes empíricas para escritórios convencionais simples com transmissores operando na frequência de  $915 \text{ MHz}$  [Sarkar et al. 2003]. Neste cenário, é assumido que um sinal atravessando uma divisória ( $P_j$ ) é atenuado em  $2,5 \text{ dB}$  ( $WAF(p)$ ). O número total de divisórias ( $P$ ) pelas quais um sinal passa é obtido em função do número de divisórias na visada direta ( $j$ ) entre o transmissor



e o receptor – este cálculo é computado pela Equação (4.3). Assim sendo, esse número depende do posicionamento do transmissor e do receptor.

**Cenário IV** - Neste cenário, todas as áreas do ambiente interno estão separadas por marcações no chão. Logo, o cômputo da Equação (4.3) é igual a 0. O canal de comunicação segue o modelo *Path Loss* estendido. Nesse caso, um valor de  $\gamma$  igual a 2,4 foi adotado de forma a seguir as diretrizes empíricas para escritórios convencionais de plano aberto com transmissores operando na frequência de 915 *MHz* [Sarkar et al. 2003].

#### 4.4.1 Uso do *PL* nos cálculos do modelo com Desvanecimento

Nos cenários que utilizam o modelo de canal com desvanecimento, **cenários I e II**, o parâmetro *PL* da Equação (4.1) é utilizado para o cômputo das distribuições Rayleigh e Rice exigidos pela biblioteca IT++. Essas distriuições têm presente em suas definições a ‘potência média recebida’, que, para essa dissertação, é dada por:

$$PR = PT \times 10^{\left(\frac{-PL}{10}\right)}, \quad (4.9)$$

onde *PR* é a potência média recebida, *PT* é a potência de transmissão – neste caso, o valor adotado para medir a força do sinal de uma etiqueta RFID é 0,1 *W* (100 *mW*) [Sarkar et al. 2003] – e o termo  $10^{\left(\frac{-PL}{10}\right)}$  é a conversão da atenuação sofrida em *dB* para *W*, uma vez que a unidade de medida dada na Equação (4.1) encontra-se em *dB*.

## 4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA OS CENÁRIOS

Na execução de cada cenário descrito na Seção 4.4 foi combinado cada uma das configurações de posicionamento de leitores com cada uma das configurações de etiquetas de referência apresentadas na Seção 4.1. No interior de cada uma das salas do ambiente interno estudado, os objetos a serem localizados foram posicionados aleatoriamente. Para estimar a localização de cada objeto, foram utilizados os sistemas de localização LAND-MARC e LANDMARC+. Nos cenários com desvanecimento foram estudados ambientes para cada fator *K* no intervalo [0, 6] em passos de 0,5. Nos cenários que utilizam o modelo

de propagação *Path Loss* estendido, foram estudados ambientes para cada  $\sigma^2$  no intervalo  $[0, 20]$  em passos de 2. Para cada passo de variação de  $K$  e de  $\sigma^2$ , foram posicionados aleatoriamente 2.000 objetos a serem identificados em cada sala.

A métrica de avaliação de desempenho definida para esse estudo é a *eficiência global*. A eficiência global do LANDMARC é definida como a probabilidade dele informar corretamente, com sua única estimativa de localização, a área na qual se encontra o objeto a ser localizado. A eficiência global do LANDMARC+ é a probabilidade de ao menos uma de suas duas estimativas de localização representar a área real na qual se encontra o objeto a ser localizado. Todos os resultados apresentados nesta seção são médias obtidas a partir de todas as simulações feitas.

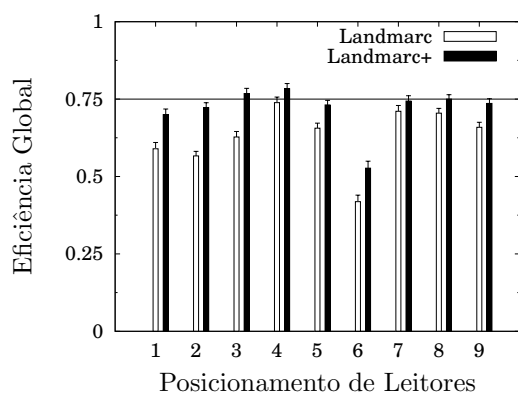
A Figura 4.2 apresenta os resultados dos **cenários I e II** para cada uma das 27 combinações possíveis de configuração de posicionamento de leitores e etiquetas de referência. Observa-se que os piores desempenhos<sup>1</sup> de localização ocorrem sempre com o posicionamento 6 de leitores em ambos os cenários. Isso ocorre independentemente do ambiente ser aberto ou fechado e independentemente do posicionamento de etiquetas de referência estudado ( $A, B, C$ ). Contudo, observa-se que nesse caso específico de posicionamento de leitores, o posicionamento  $C$  de etiquetas de referência provê os melhores resultados, pois, conforme definido o que é eficiência global, a medida que as etiquetas de referência se aproximam do centro de uma área ou sala, maior será a probabilidade de que as  $k$  etiquetas de referência escolhidas como as mais próximas de um objeto sejam, de fato, as que estão no interior da mesma sala ou área desse objeto.

A linha horizontal presente nas Figura 4.2 e 4.3 não é representativa para a simulação, sua utilização está condicionada apenas para efeito de melhor visualização dos resultados.

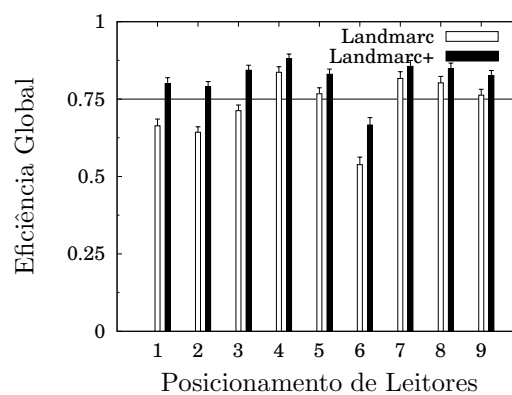
No **cenário I** é observado que a melhor eficiência de localização para cada posicionamento de etiquetas de referência estudado ( $A, B, C$ ) ocorre sempre para o posicionamento 4 de leitores. Em relação a tal posicionamento de leitores, o posicionamento  $C$  de etiquetas de referência provê o melhor resultado. No **cenário II**, nota-se que o melhor

---

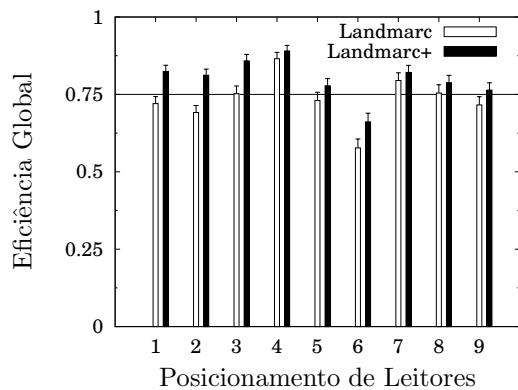
<sup>1</sup>Para se classificar um desempenho como melhor ou pior na análise das configurações, é considerado apenas o desempenho do LANDMARC, ou seja, a eficiência primária.



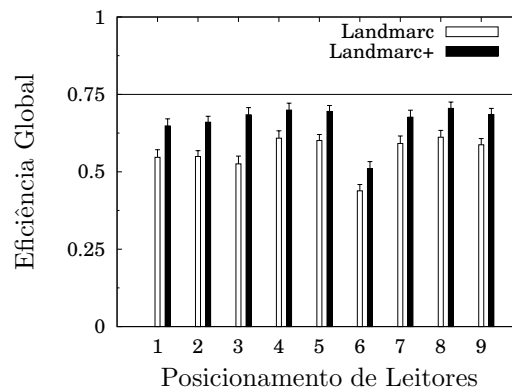
(a) Posicionamento A de etiquetas



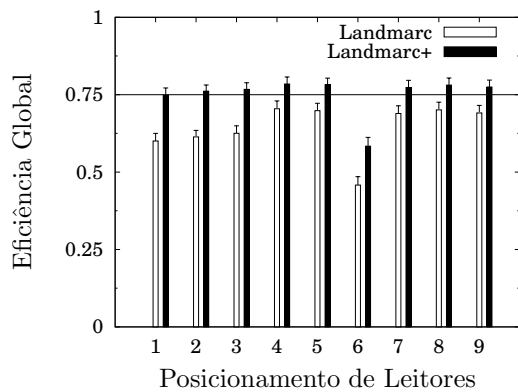
(b) Posicionamento B de etiquetas



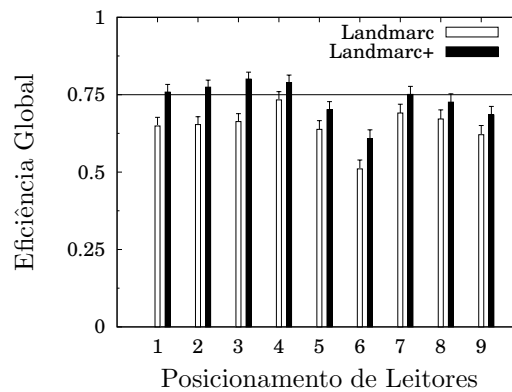
(c) Posicionamento C de etiquetas



(d) Posicionamento A de etiquetas



(e) Posicionamento B de etiquetas



(f) Posicionamento C de etiquetas

**Figura 4.2** (a), (b) e (c): Cenário I (fechado/Desvanecimento). (d), (e), (f): Cenário II (aberto/Desvanecimento).

desempenho de localização ocorre quando é utilizado o posicionamento  $C_4$ . A Tabela 4.1 apresenta percentuais da eficiência de localização para os **cenários I e II** dos melhores e dos piores casos da notação  $X_Y$  adotada por este trabalho.

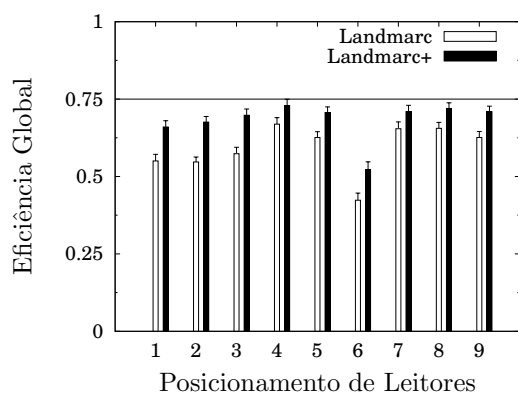
**Tabela 4.1** Melhores e piores eficiências de localização para os cenários I e II.

	Figura	Melhor (%)	Pior (%)
<b>Cenário I</b>	4.2(a)	$A_4$ (73,87%)	$A_6$ (41,83%)
	4.2(b)	$B_4$ (83,50%)	$B_6$ (54,09%)
	4.2(c)	$C_4$ (86,61%)	$C_6$ (57,63%)
<b>Cenário II</b>	4.2(d)	$A_4$ (63,69%)	$A_6$ (44,00%)
	4.2(e)	$B_4$ (70,60%)	$B_6$ (45,66%)
	4.2(f)	$C_4$ (73,32%)	$C_6$ (51,28%)

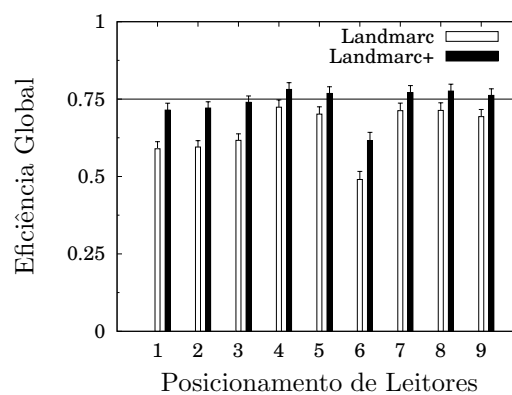
Pelo exposto, conclui-se que para os cenários avaliados, é melhor utilizar o posicionamento 4 de leitores associado ao posicionamento  $C$  de etiquetas de referência. Para o posicionamento em questão de leitores, apenas o posicionamento  $C$  de etiquetas de referência produz uma melhor eficiência de localização.

A Figura 4.3 apresenta os resultados dos **cenários III e IV** para cada uma das 27 configurações estudadas de posicionamento da infraestrutura de localização. Observa-se que em ambos os cenários, os piores desempenhos de localização também ocorrem sempre com o posicionamento 6 de leitores. Isso também ocorre independentemente do ambiente ser aberto ou fechado e independentemente do posicionamento de etiquetas de referência avaliado ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ). Como no caso do ambiente ser fechado, observa-se que o posicionamento  $C$  de etiquetas de referência provê os melhores resultados quando o posicionamento 6 de leitores é utilizado.

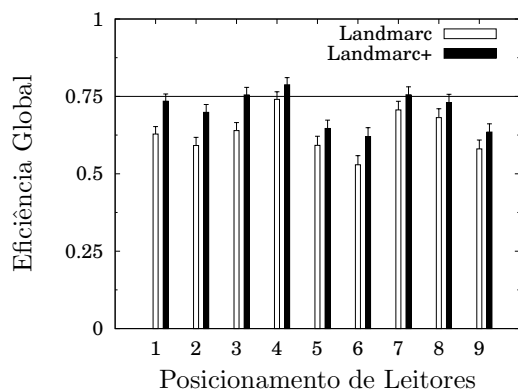
No **cenário III**, nota-se que a melhor eficiência de localização para cada posicionamento de etiquetas de referência estudado ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) ocorre sempre para o posicionamento 4 de leitores. Em relação a tal posicionamento de leitores, o posicionamento  $C$  de etiquetas de referência também provê o melhor resultado. Contudo, a análise dos resultados do **cenário IV** mostra que o melhor posicionamento de leitores varia em função do



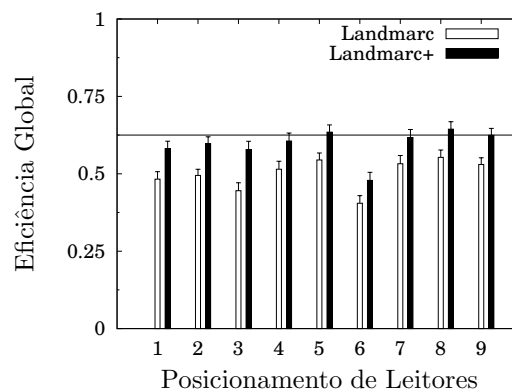
(a) Posicionamento A de etiquetas



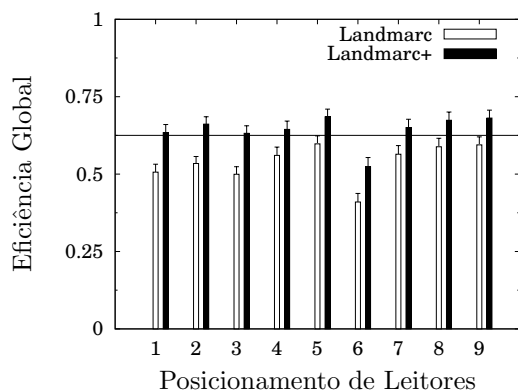
(b) Posicionamento B de etiquetas



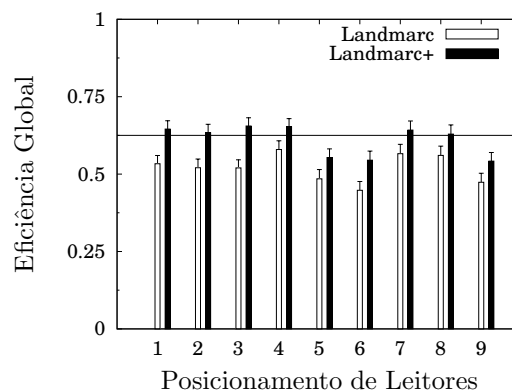
(c) Posicionamento C de etiquetas



(d) Posicionamento A de etiquetas



(e) Posicionamento B de etiquetas



(f) Posicionamento C de etiquetas

**Figura 4.3** (a), (b) e (c): Cenário III (fechado/*Path Loss* estendido). (d), (e) e (f): Cenário IV (aberto/*Path Loss* estendido).

posicionamento das etiquetas de referência.

Para o posicionamento  $A$  de etiquetas de referência, o posicionamento 8 de leitores produz o melhor resultado. Já para o posicionamento  $B$  de etiquetas de referência, o melhor resultado é obtido com o posicionamento 5 de leitores. No caso do posicionamento  $C$  de etiquetas de referência, o posicionamento 4 de leitores produz o melhor resultado. Dentre os posicionamentos citados, o posicionamento  $B$  de etiquetas de referência associado ao posicionamento 5 de leitores produz a melhor eficiência (59,82% com o LANDMARC). Entretanto, note que a melhor eficiência para o posicionamento  $C$  de etiquetas de referência ocorre quando o posicionamento 4 de leitores é utilizado. Nesse caso, a eficiência é de 57,93% com o LANDMARC. A Tabela 4.2 apresenta percentuais da eficiência de localização para os **cenários III** e **IV** dos melhores e dos piores casos da notação  $X_Y$  adotada por este trabalho, sendo que para o **cenário IV** são apresentadas as duas melhores eficiências. Observa-se que, na Figura 4.3, referente ao **cenário IV**, as duas melhores eficiências apontadas na Tabela 4.2 sofrem interseção pelo intervalo de confiança.

**Tabela 4.2** Melhores e piores eficiências de localização para os cenários III e IV.

	Figura	Melhor (%)		Pior (%)
		1o.	2o.	
<b>Cenário III</b>	4.3(a)	$A_4$ (66,80%)	-	$A_6$ (42,31%)
	4.3(b)	$B_4$ (72,50%)	-	$B_6$ (49,35%)
	4.3(c)	$C_4$ (73,98%)	-	$C_6$ (52,63%)
<b>Cenário IV</b>	4.3(d)	$A_8$ (55,16%)	$A_5$ (54,45%)	$A_6$ (40,69%)
	4.3(e)	$B_5$ (59,82%)	$B_9$ (59,41%)	$B_6$ (40,99%)
	4.3(f)	$C_4$ (57,93%)	$C_7$ (56,48%)	$C_6$ (44,56%)

A análise dos resultados obtidos para os **cenários I, II** e **III** mostra que o posicionamento  $C_4$  é o mais adequado por produzir os melhores resultados. Para o **cenário IV**, o posicionamento  $B_5$  é o melhor, embora o posicionamento  $C_4$  produza uma eficiência global apenas ligeiramente inferior. Pelo exposto, o posicionamento  $C_4$  pode ser escolhido

como o planejamento de posicionamento mais adequado já que produz quase sempre os melhores resultados sob diversas condições de propagação de sinais e independentemente do ambiente ser aberto ou fechado.

Corroborando para tal escolha, o fato de que em um ambiente real, é importante utilizar um *layout* único de posicionamento de leitores e etiquetas de referência. Isso ocorre, pois a infraestrutura de localização precisa ser fixa e com posicionamento previamente mapeado. Além disso, deve-se considerar que, na prática, um canal de comunicação sem fio está sujeito a condições de propagação de sinais que variam ao longo do tempo. Tais condições são desconhecidas *a priori* e seria inviável readaptar o posicionamento da infraestrutura de leitores e etiquetas de referência a medida que as condições de propagação de sinais mudassem.

#### 4.6 EFICIÊNCIA POR SALA COM O POSICIONAMENTO $C_4$

Esta seção apresenta um estudo da eficiência global dos sistemas de localização em cada uma das salas do ambiente interno e para cada um dos 4 cenários definidos na Seção 4.4. Nesse novo estudo, apenas o posicionamento  $C_4$  é utilizado – tendo em vista que ele apresentou as melhores eficiências de localização na maioria dos cenários, a Figura 4.4 apresenta a disposição do posicionamento de leitores e etiquetas de referência de  $C_4$ . Em todos os cenários, 2.000 objetos a serem localizados foram posicionados aleatoriamente dentro de cada uma das 9 salas do ambiente interno. O LANDMARC e o LANDMARC+ foram executados para localizar cada um dos objetos. Nos cenários com desvanecimento e para cada objeto a ser localizado, obteve-se a resposta dos sistemas de localização para cada fator  $K$  no intervalo  $[0, 6]$  em passos de 0,5. Nos cenários que utilizam o modelo de propagação *Path Loss* estendido e para cada objeto a ser localizado, obteve-se a resposta dos sistemas de localização para cada  $\sigma^2$  no intervalo  $[0, 20]$  em passos de 2. Todos os resultados apresentados possuem intervalo de confiança de 99%. Tal intervalo é representado por barras de erro nos gráficos.

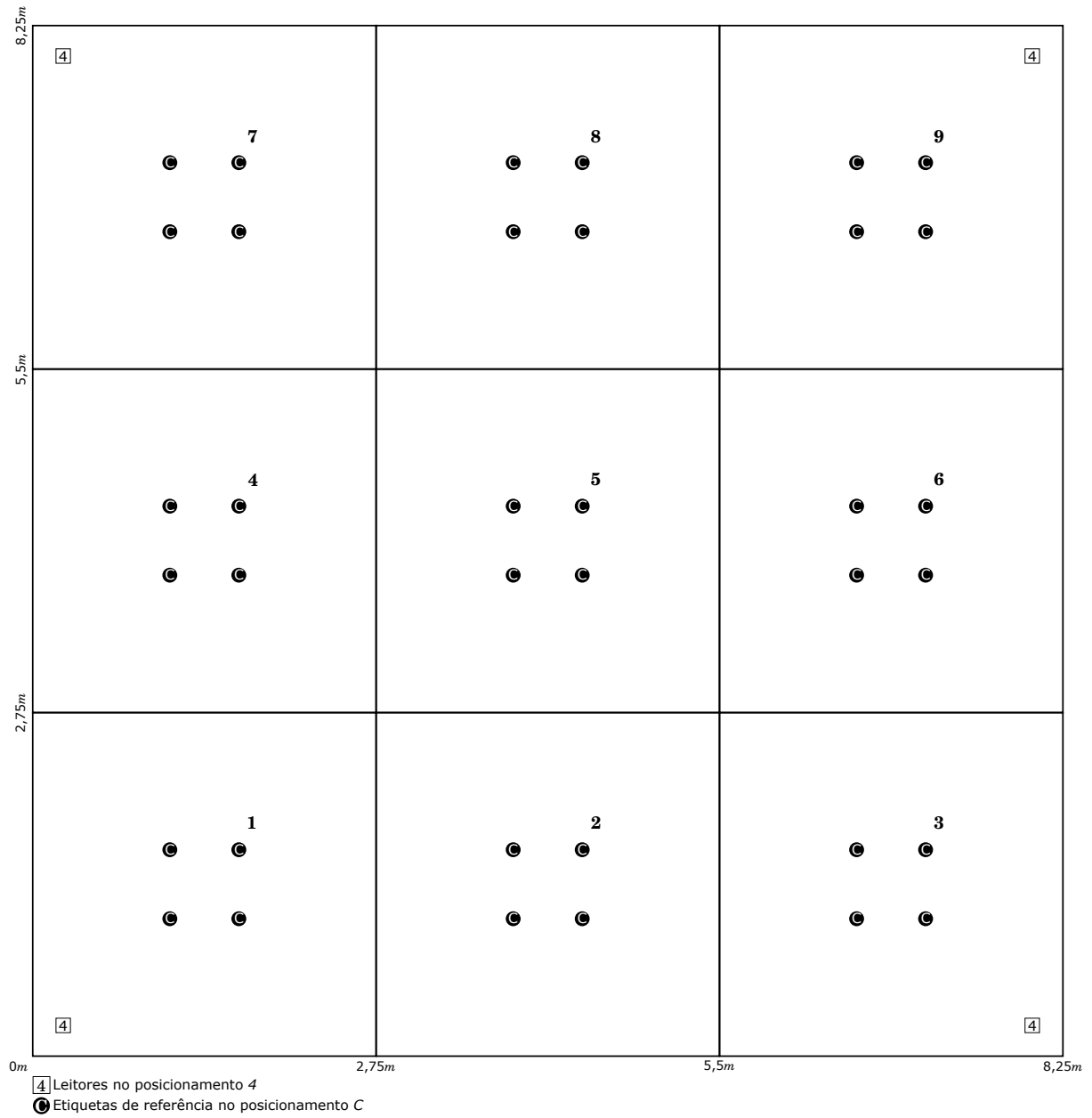
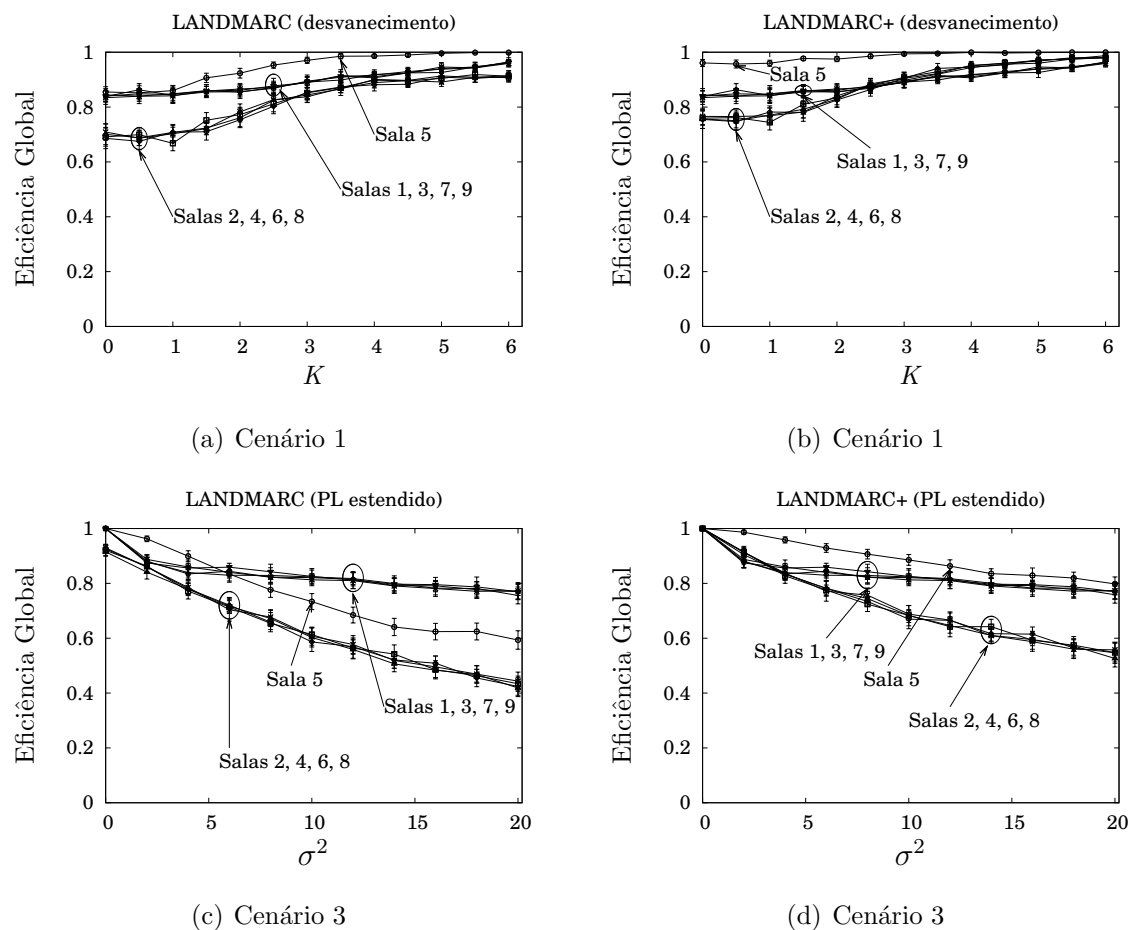


Figura 4.4 *Layout* do posicionamento  $C_4$ .



### 4.6.1 Ambientes Fechados e Abertos

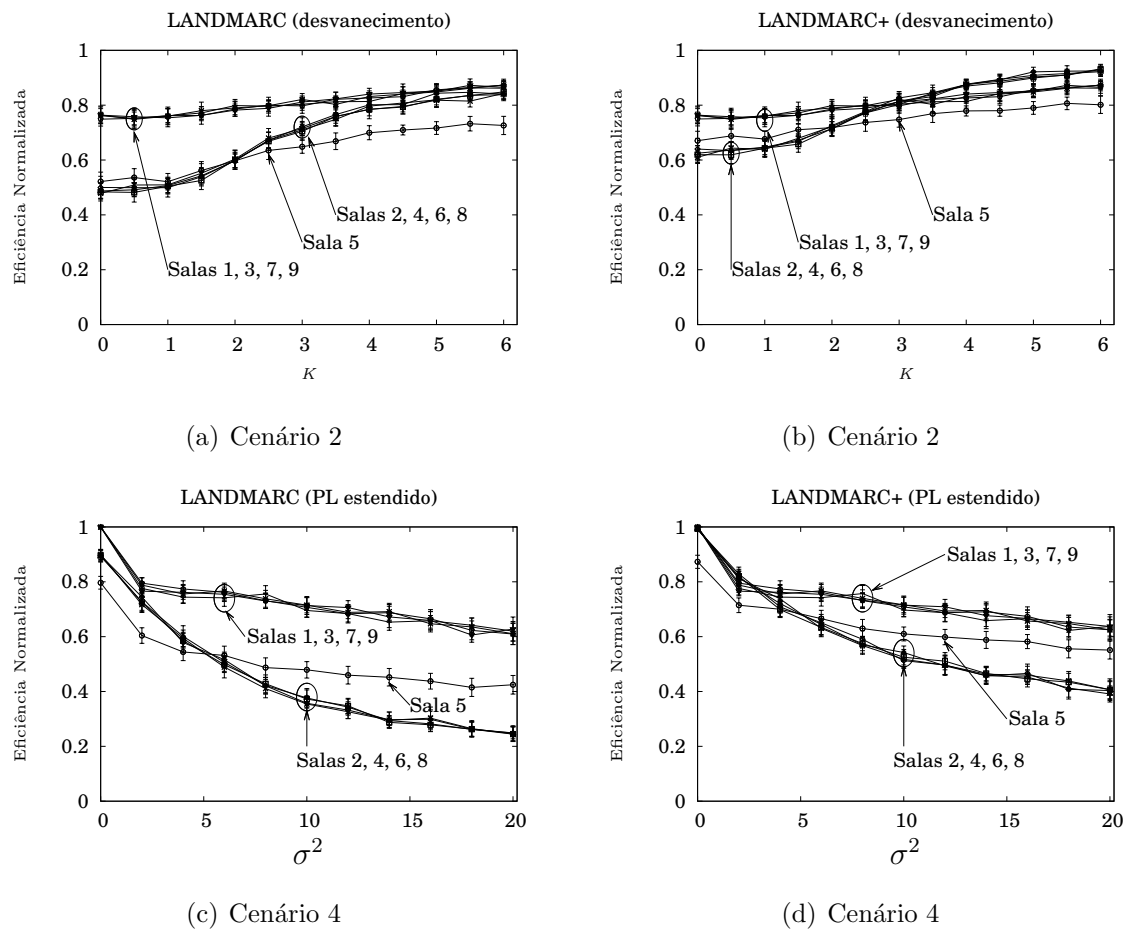
A Figura 4.5 mostra a eficiência global por sala com o LANDMARC e o LANDMARC+ sob os **cenários I e III** (ambientes fechados). A eficiência global por sala com o LANDMARC e o LANDMARC+ sob os **cenários II e IV** (ambientes abertos) é apresentada na Figura 4.6.



**Figura 4.5** Eficiência Global com posicionamento aleatório de objetos em ambientes fechados.

Ao se comparar os resultados obtidos com ambientes abertos e fechados, observa-se que uma maior eficiência de localização nos ambientes fechados. Isso é explicado pelo fato da presença de divisórias aumentar a probabilidade do KNN escolher como etiquetas de referência vizinhas mais próximas do objeto a ser localizado, as etiquetas que estão posicionadas na mesma sala onde se encontra tal objeto.

Em todos os resultados, observa-se também um aumento da eficiência com o aumento de  $K$  e com a diminuição de  $\sigma^2$ . Isso é esperado, pois se reduz cada vez mais a variabilidade das medidas de RSS. Em particular, observa-se que a estratégia adotada pelo LANDMARC+ contribui de forma mais significativa para a melhoria da eficiência global em salas que não possuem leitores instalados.

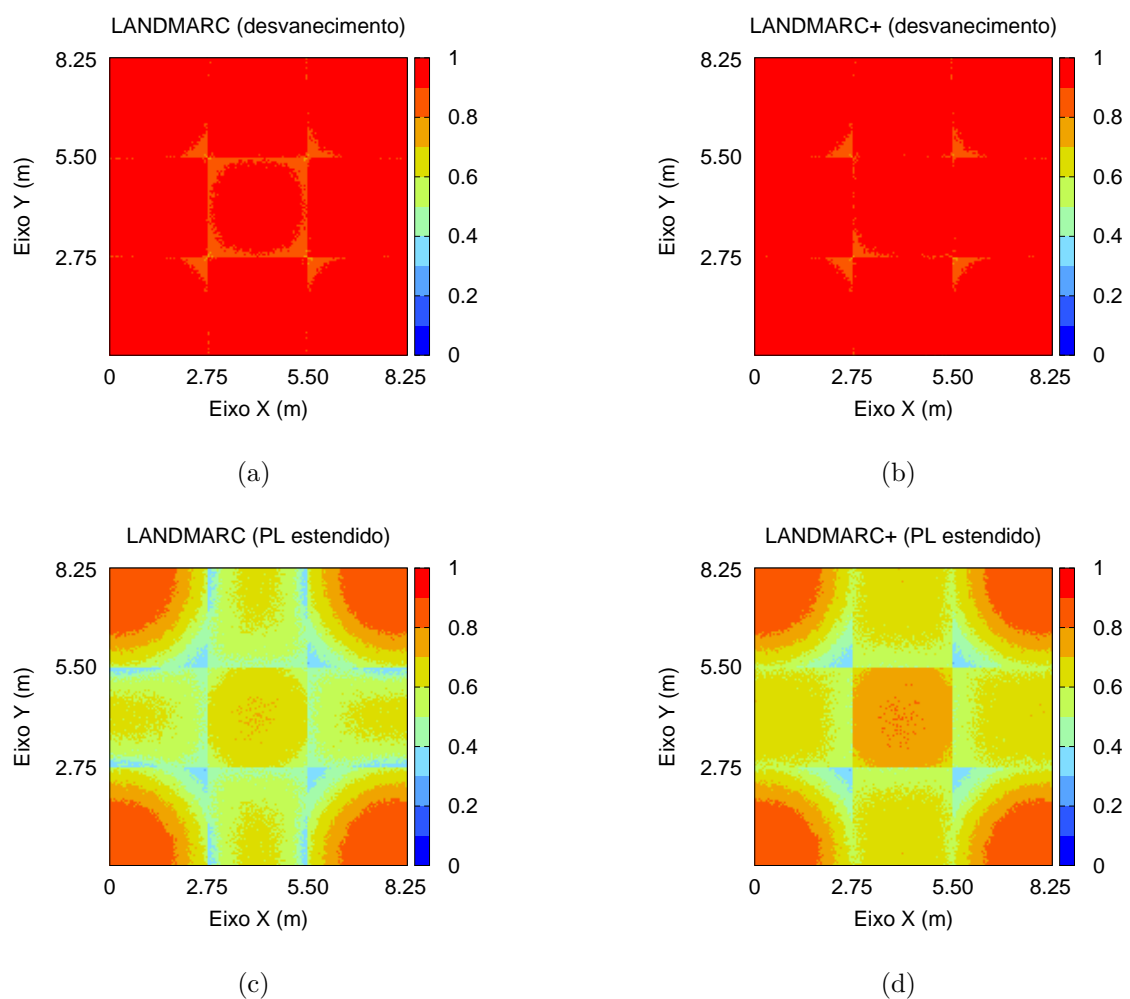


**Figura 4.6** Eficiência Global com posicionamento aleatório de objetos em ambientes abertos.

Note que a eficiência de localização em algumas salas é próxima à eficiência de localização em outras. Assim, é possível identificar 3 conjuntos distintos de salas de acordo com os resultados apresentados: o conjunto formado pelas *salas* 1, 3, 7 e 9; o conjunto formado pelas *salas* 2, 4, 6 e 8; e o conjunto unitário formado pela *sala* 5. A formação desses conjuntos é explicada pela simetria das salas em relação à infraestrutura de localização que também está disposta de forma simétrica no ambiente.

#### 4.6.1.1 Eficiência de Localização por Regiões Internas nas Salas

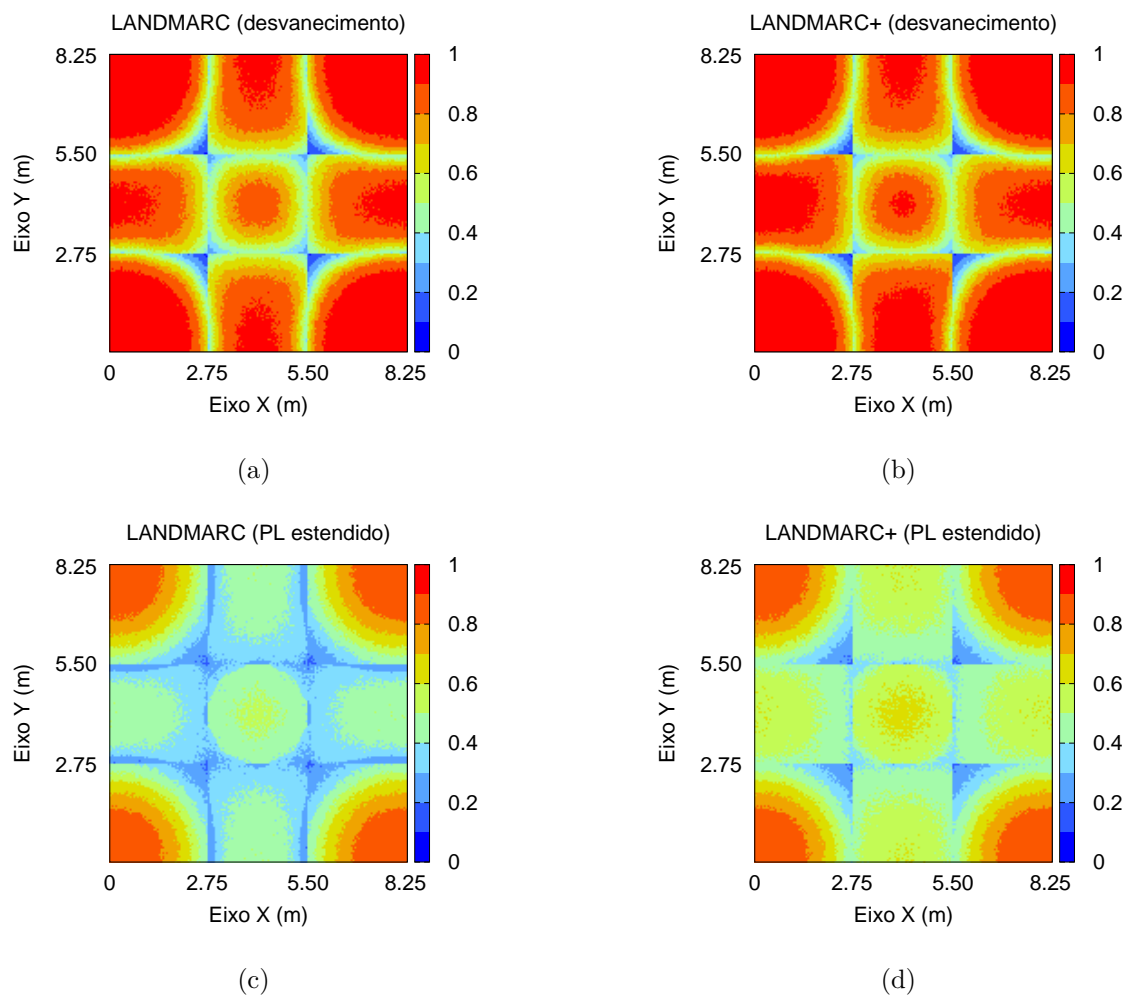
A Seção 4.6.1 mostrou a eficiência global por sala aplicada para ambientes abertos e fechados. Na intenção de determinar ‘áreas quentes’ para posicionamento de objetos dentro de uma sala ou área e de complementar o estudo da Seção 4.6.1, esta seção divide as salas ou áreas de um ambiente em regiões. Cada sala ou área compreende 55 regiões de dimensão  $0,05m \times 0,05m$ . Em cada região foram posicionados 50 objetos distribuídos aleatoriamente.



**Figura 4.7** Eficiência de localização por região em ambientes fechados.

Nos resultados desta seção implica também o uso dos modelos de propagação PL estendido e Desvanecimento. A intensidade das cores representa a eficiência de localização

dos algoritmos LANDMARC e LANDMARC+ para uma região específica, onde a cor azul indica baixa eficiência localização e a cor vermelho alta. A eficiência de localização para esta seção aponta à frequência com que as estimativas de localização dos objetos de uma região foram estimadas dentro da sala ou área que a região pertence. Adicionado a eficiência de localização, cada região agrupa, além dos 50 objetos, a variação do fator  $K$  no intervalo  $[0, 6]$  em passos de 0,5 e de  $\sigma^2$  no intervalo  $[0, 20]$  em passos de 2 para ambientes com desvanecimento e PL estendido, respectivamente. O posicionamento estudado é o  $C_4$ .



**Figura 4.8** Eficiência de localização por região em ambientes abertos.

As Figuras 4.7 e 4.8 mostram a eficiência de localização por região em ambientes fechado e ambientes aberto, respectivamente. Assim como nas Figuras 4.5 e 4.6 da

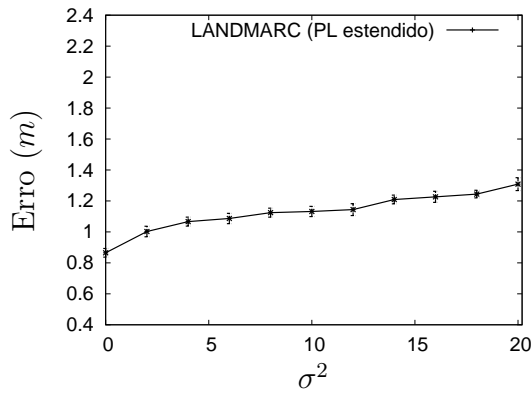
Seção 4.6.1, as figuras desta seção mostram que a presença de leitor em uma sala eleva a eficiência de localização em relação as demais salas. Elas mostram ainda que o LANDMARC+ aumenta a eficiência de localização nas salas com ausência de leitores e que ambientes fechados contribuem para eficiências de localização superiores às dos ambientes abertos. Diferentemente das Figuras 4.5 e 4.6, as Figuras 4.7 e 4.8 apresentam não só apenas a eficiência de uma sala, mas também as localizações que proporcionam ao usuário posicionar objetos que lhe rendam melhores eficiência e também localizações que devem ser evitadas.

Tendo em mente a configuração de posicionamento de leitores e de etiquetas de referência que compõem posicionamento  $C_4$ , adotado com orientação ao usuário neste trabalho, é observação nas Figuras 4.7 e 4.8 que localizações ‘quentes’ são encontradas nas proximidades do conjunto de etiquetas de referência de cada sala do ambiente. É visto também que os leitores mais próximos das salas 2, 4, 6 e 8 fazem com que as localizações ‘quentes’ estejam presentes desde a margem externa dessas salas. Isto porque, o posicionamento de leitores é externo ao posicionamento de etiquetas de referência. A Figura 4.7(a) e 4.7(b) apresenta eficiência aproximada de 80% em todo o ambiente.

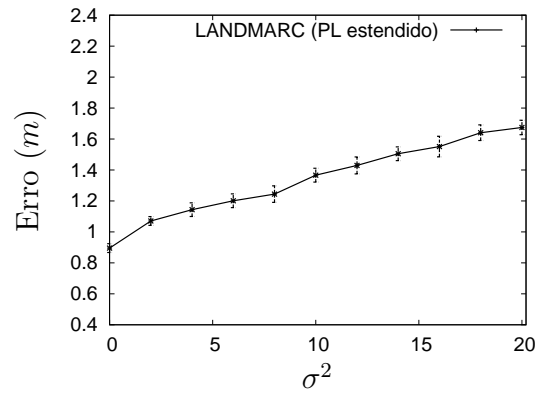
#### 4.6.2 Erro Médio de Localização

A Figura 4.9 apresenta o erro médio de localização experimentado pelos 2.000 objetos espalhados aleatoriamente em cada uma das 9 salas que formam o ambiente estudado para o posicionamento  $C_4$ . Como visto, por meio das Figuras 4.5 e 4.6, a formação de três conjuntos distintos de salas, devido à simetria da dimensão do ambiente interno e o do posicionamento de leitores e de etiquetas de referência, permite que o comportamento das salas que formam cada grupo sejam similares. Esta característica de grupos é estendido aos resultados apresentados nesta Seção 4.6.2.

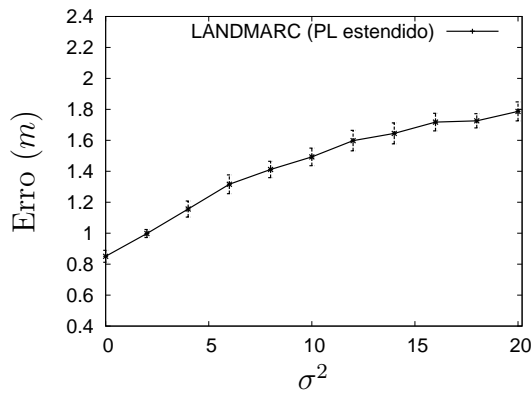
Para efeito de simplificação, na Figura 4.9 é escolhida uma única sala de cada grupo. Nessa Figura são mostrados também os resultados quando utilizado somente o algoritmo de localização LANDMARC com o modelo de propagação PL estendido comparando o desempenho de ambientes fechado aos abertos.



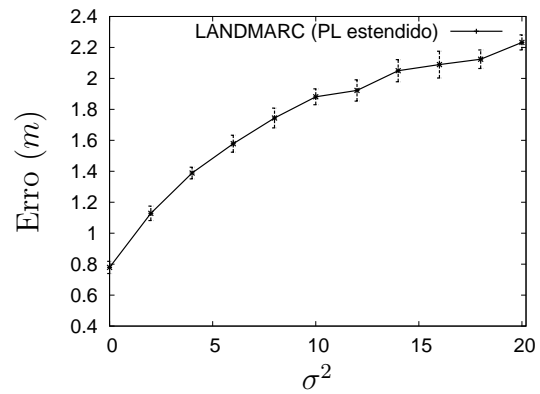
(a) Sala 1 (fechado)



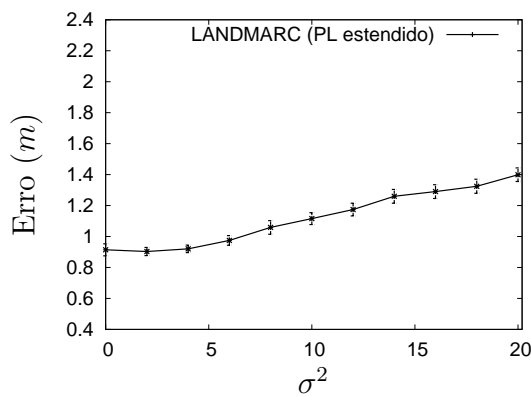
(b) Sala 1 (aberto)



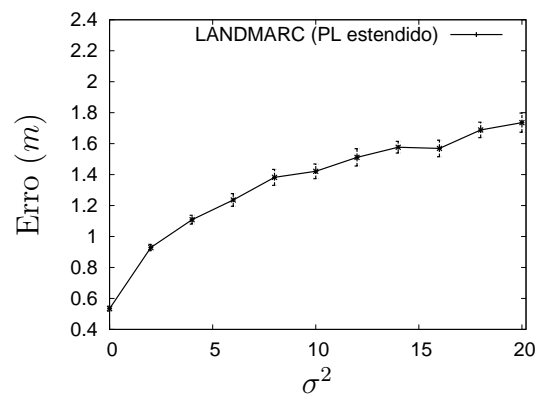
(c) Sala 2 (fechado)



(d) Sala 2 (aberto)



(e) Sala 5 (fechado)



(f) Sala 5 (aberto)

**Figura 4.9** Erro médio de localização para o posicionamento  $C_4$  utilizando o LANDMARC com PL estendido.

De forma geral, apesar do erros médios de localização para  $\sigma^2 = 0$  nas Figuras 4.9(a), 4.9(c) e 4.9(e) serem relativamente altos (0,86 m, 0,85 m e 0,91 m, respectivamente), eles estão ‘concentrados’ a uma diferença de aproximadamente 0,06 m entre o maior e o menor erro. Já para  $\sigma^2 = 0$  nas Figuras 4.9(b), 4.9(d) e 4.9(f), a diferença entre o maior e o menor erro médio é de 0,36 m. Nos casos em que foi considerado a variabilidade máxima para os estudos,  $\sigma^2 = 20$ , as *salas* 1 possuem menores erros médio em relação as *salas* 2. Lembre que nestas salas não existem leitores, enquanto naquelas há a presença de leitor. A presença de um leitor em uma sala específica faz com que a eficiência seja maior e o erro médio menor quando comparada com uma sala que não é dotada de um destes. Via de regra, para as *salas* 5 não há um comportamento definido. Nelas é observado que em ambientes fechados a variabilidade mínima aponta um erro médio superior ao observado em ambiente abertos, e com variabilidade máxima o erro médio em ambientes aberto é maior do que nos ambientes fechados.

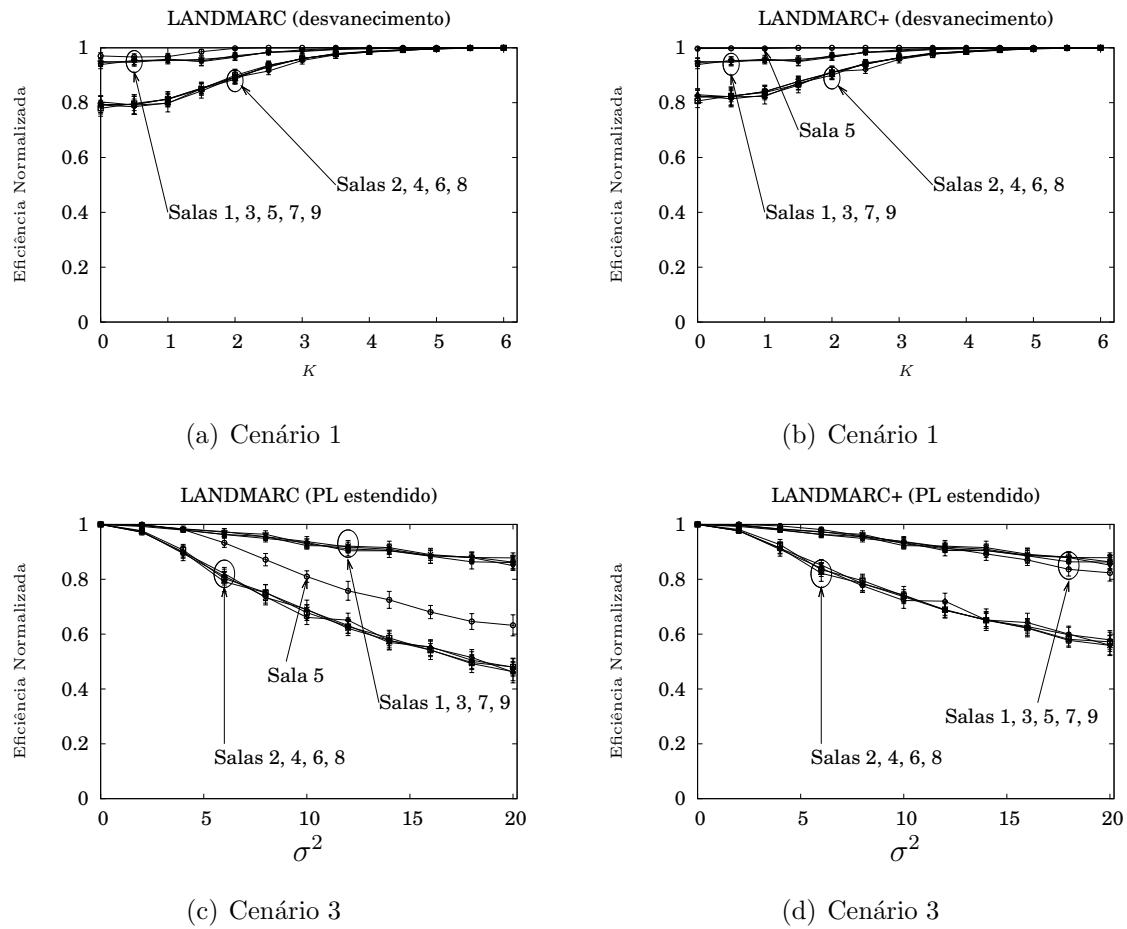
### 4.6.3 Posicionamento Restrito de Objetos em Ambientes Abertos e Fechados

Em [Silva and Gonçalves 2009b], são apresentados estudos preliminares que sugerem que a eficiência global de localização do LANDMARC e do LANDMARC+ aumenta quando os objetos a serem localizados estão dentro da região interna formada pelas etiquetas de referência da sala ou área onde se situam. Essa sugestão é baseada na análise da eficiência de localização em apenas uma das 6 salas do ambiente interno estudado.

Esta seção apresenta uma avaliação da eficiência de localização do LANDMARC e do LANDMARC+ seguindo tal sugestão, porém a avaliação é feita para cada uma das 9 salas do ambiente interno estudado nesta dissertação. As avaliações descritas na Seção 4.6.1 são repetidas aqui, alterando-se apenas a localização dos 2.000 objetos em cada sala. Para cada sala, os objetos estão agora posicionados aleatoriamente dentro da região interna formada pelas etiquetas de referências presentes na sala. Os resultados dessas simulações estão nas Figuras 4.10 e 4.11 e são descritas a seguir.

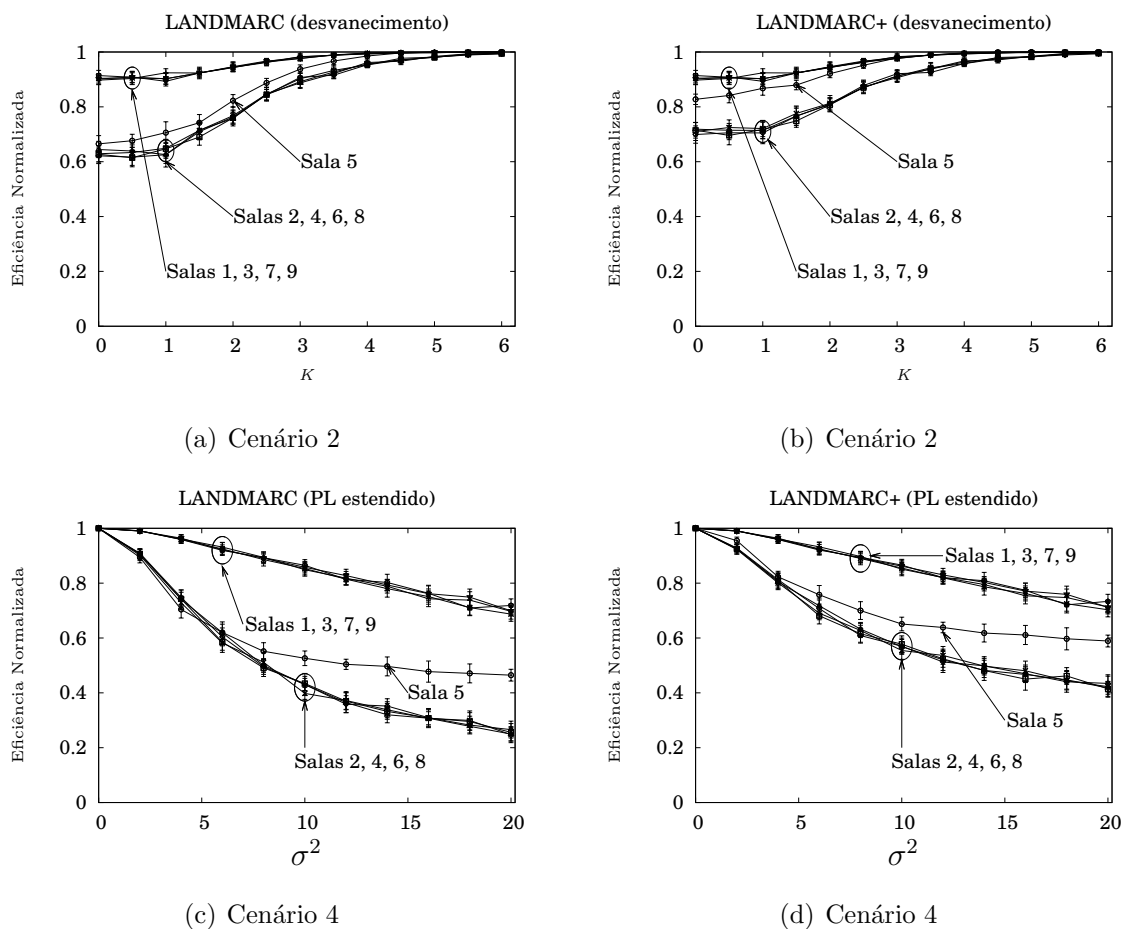
Ao se comparar os resultados apresentados nas Figuras 4.10 e 4.5, observa-se uma melhora significativa na eficiência global de localização. A mesma observação é válida

ao se comparar os resultados apresentados nas Figuras 4.11 e 4.6. Por exemplo, houve melhorias de até 20% na eficiência global de localização nas *salas* 1, 3, 7 e 9 ao se comparar o desempenho do LANDMARC nas Figuras 4.11(c) e 4.6(c) para  $\sigma^2 = 2$ . Logo, os resultados apresentados confirmam a sugestão de posicionamento de objetos apresentada em [Silva and Gonçalves 2009b].



**Figura 4.10** Eficiência Global com posicionamento restrito dos objetos em ambientes fechados.





**Figura 4.11** Eficiência Global com posicionamento restrito de objetos em ambientes abertos.

## 4.7 RESUMO

Este capítulo apresentou diversas condições de variabilidade de canais de transmissão sem fio por radiofrequência através de dois modelos de propagação para 27 configurações de posicionamento de leitores e de etiquetas de referência para um ambiente interno, classificado como aberto ou fechado, dividido em 9 salas simétricas. Os algoritmos de localização LANDMARC e LANDMARC+ foram considerados para a obtenção dos resultados.

Os experimentos mostraram, que independentemente do tipo do ambiente e para os modelos de propagação utilizados, a configuração de posicionamento de etiquetas de referência  $C$  possui maiores eficiências de localização em detrimento às demais estudadas. Já a configuração de posicionamento de leitores que apresentou os maiores índices de

eficiência foi a identificada como 4, na maioria dos casos. Embora, que para o ambiente aberto usando o modelo PL estendido, o posicionamento 4 de leitores não ser unanimemente o melhor caso, a configuração  $C_4$  pode ser adotada como o planejamento da infraestrutura de coordenadas para os leitores e etiquetas de referência, tendo em vista que é importante adotar uma infraestrutura fixa de posicionamento em ambientes reais e que na prática as condições de canais sem fio são desconhecidas.

Para o posicionamento  $C_4$ , estudos específicos foram conduzidos com o intuito de conhecer o comportamento de cada sala do ambiente. Nesse sentido, foram feitos comparativos entre os modelos de propagação e os tipos de ambientes. Diante disso, percebeu-se a formação de grupos de salas com eficiências globais similares, pois a infraestrutura simulada possui simetria completa e a presença de um leitor em uma sala aumenta tal eficiência. A *sala 5* forma um grupo de sala única por não dividir simetria com nenhuma outra.

Este capítulo apresentou ainda um caso arbitrário de erro médio de localização de objetos de uma sala específica, para cada grupo de eficiência observado, onde escolheu-se uma única sala para representá-lo. Os objetos estão espalhados aleatoriamente no interior de cada sala, em [Silva and Gonçalves 2009b], sugere-se que a eficiência global de localização do LANDMARC e LANDMARC+ aumenta quando os objetos encontram-se dentro do retângulo formado pelas etiquetas de referência de uma sala, a Seção 4.6.3 mostra os resultados desse estudo.

# CONCLUSÕES

Diante do problema de localização de objetos em ambientes internos, algumas preocupações iniciais devem ser consideradas, tal como planejar a infraestrutura que será utilizada para o problema utilizando técnicas de avaliação de desempenho, como simulação e modelagem analítica, por exemplo, caso o sistema seja inexistente. O planejamento adequado para qualquer espécie de sistema certamente fará com que este não seja tão oneroso na implantação e, principalmente, fará com que ele desempenhe suas atividades com um grau de eficiência o mais elevado possível.

Em sistemas de localização automática que utilizam transmissão baseada em radiofrequência, efeitos naturais (clima, reflexão, difração, enfraquecimento do sinal, além de movimento de pessoas e objetos em um ambiente) são fortemente responsáveis por degradar a eficiência deles e devem ser considerados quando deseja-se planejar uma infraestrutura de trabalho. Os sistemas RFID são típicos exemplos dos problemas supracitados, pois eles consideram medidas de força de sinal e uma infraestrutura composta por leitores RFID e etiquetas de referência RFID para obter a estimativa de localização e mostram-se bastante promissores no provimento de serviços de localização automática de objetos em ambientes internos.

Essa dissertação demonstrou a importância de se planejar o posicionamento da infraestrutura de leitores e etiquetas de referência dos sistemas de localização LANDMARC e LANDMARC+, contribuindo com uma orientação de posicionamento de localização que auxilia usuários a construir um ambiente interno. Dependendo de como essa infraestrutura é posicionada, a eficiência de localização dos objetos etiquetados com RFID pode ser significativamente afetada para aplicações que precisam informar a sala ou área onde um objeto está fisicamente posicionado. Além disso, este trabalho tem como contribuição

um simulador de localização, onde, através dele, foi possível construir o ambiente interno, configurar o posicionamento de leitores e etiquetas de referência, utilizar algoritmos de localização e modelar a propagação de sinais.

Através do estudo de 27 configurações de posicionamento dessa infraestrutura, foi demonstrado que a configuração de posicionamento  $C_4$  se mostrou a mais adequada sob diversas condições de propagação de sinais no ambiente interno estudado. Isso indica que em ambientes semelhantes ao estudado, é preferível posicionar as etiquetas de referência mais próximas do centro das salas ou áreas do ambiente do que mais próximas das fronteiras dessas salas ou áreas. Por outro lado, os resultados também indicam que o melhor posicionamento dos leitores no ambiente é aquele onde eles estão próximos ao limite do ambiente, simetricamente nos cantos, mas respeitando a condição de haver comunicação com todas as etiquetas.

Como trabalhos futuros pretende-se: (i) Avaliar a eficiência de outros sistemas de localização internos nos cenários estudados por esta dissertação, bem como adotar o conceito o algoritmo LANDMARC+ nestes sistemas com o propósito de conhecer o quão eficiente é este algoritmo quando combinado com outros sistemas; (ii) Considerar a existência da coordenada  $Z$  no posicionamento dos leitores, das etiquetas de referências e dos objetos a serem localizados tornando o ambiente em três dimensões ( $3D$ ); (iii) Criar interface para o simulador desenvolvido para que o processo de montagem do ambiente interno, quantidade de áreas ou salas dentro do ambiente, posicionamento de leitores e etiquetas de referência sejam realizados de forma automática; (iv) Otimizar o simulador para que ele busque por melhores configurações de posicionamento de leitores e etiquetas de referência, a partir de uma infraestrutura de localização inicial.

Esta dissertação gerou uma publicação no XVI *Workshop* de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS) promovido pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC), em maio de 2011, intitulado “Planejamento do Posicionamento de Leitores e Etiquetas de Referência em Sistemas de Localização RFID”.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [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.
- [Chalmers University of Technology 2005] Chalmers University of Technology (2005). IT++. Disponível em <http://itpp.sourceforge.net>. Acessado em 1 de setembro de 2010.
- [Chiesa et al. 2002] Chiesa, M., Genz, R., Heubler, F., Mingo, K., Noessel, C., Sopiéva, N., Slocombe, D., and Tester, J. (2002). RFID: A Week Long Survey on the Technology and its Potential. *Harnessing Technology Project-Interaction Design Institute Ivrea*.
- [Civilis et al. 2005] Civilis, A., Jensen, C. S., and Pakalnis, S. (2005). Techniques for Efficient Road-Network-Based Tracking of Moving Objects. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, pages 698–712.
- [Esposito et al. 2009] Esposito, C., Cotroneo, D., and Ficco, M. (2009). Calibrating RSS-Based Indoor Positioning Systems. In *Proceedings of IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, pages 1–6.
- [Finkenzeller and Müller 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.
- [Harroud et al. 2003] Harroud, H., Ahmed, M., and Karmouch, A. (2003). Policy-Driven Personalized Multimedia Services for Mobile Users. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, pages 16–24.

- [Hightower and Borriello 2001] Hightower, J. and Borriello, G. (2001). A Survey and Taxonomy of Location Systems for Ubiquitous Computing. *IEEE Computer*, 34(8):57–66.
- [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.
- [Jiang et al. 2009] Jiang, X., Liu, Y., and Wang, X. (2009). An Enhanced Approach of Indoor Location Sensing Using Active RFID. In *Proceedings of WASE International Conference on Information Engineering*, pages 169–172.
- [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)*.
- [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.
- [Lahiri 2005] Lahiri, S. (2005). *RFID Sourcebook*. Prentice Hall PTR.
- [Liu et al. 2009] Liu, L., Yan, D., Wu, J., and Wang, H. (2009). Key Issues of RFID Reader Network System. In *Proceedings of 5th IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, pages 1–5.
- [Ng et al. 2005] Ng, L. M., Leong, K. S., Hall, D. M., and Cole, P. H. (2005). A Small Passive UHF RFID Tag for Livestock Identification. In *Proceedings of IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE)*, volume 1, pages 67–70.
- [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.

- [Orr and Abowd 2000] Orr, R. J. and Abowd, G. D. (2000). The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking. In *Proceedings of Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, page 276. ACM.
- [Priyantha et al. 2000] Priyantha, N. B., Chakraborty, A., and Balakrishnan, H. (2000). The Cricket Location-support System. In *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pages 32–43. ACM.
- [Rappaport 2001] Rappaport, T. S. (2001). *Wireless Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall PTR, 2nd edition.
- [Sanchez-Garcia and Smith 2002] Sanchez-Garcia, J. and Smith, D. R. (2002). Capture Probability in Ricean Fading Channels with Power Control in the Transmitters. *IEEE Transactions on Communications*, 50(12).
- [Sarkar et al. 2003] Sarkar, T. K., Ji, Z., Kim, K., Medouri, A., and Salazar-Palma, M. (2003). A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 45(3):51–82.
- [Sarma et al. 2003] Sarma, S., Weis, S., and Engels, D. (2003). RFID Systems and Security and Privacy Implications. *Cryptographic Hardware and Embedded Systems-CHES 2002*, pages 1–19.
- [Seidel and Rappaport 1992] Seidel, S. and Rappaport, T. (1992). 914 MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 40(2):207–217.
- [Seidel et al. 1992] Seidel, S. Y., Rappaport, T. S., Feuerstein, M. J., Blackard, K. L., and Grindstaff, L. (1992). The Impact of Surrounding Buildings on Propagation for Wireless In-building Personal Communications System Design. In *Proceedings of 42nd IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 814–818.
- [Shi et al. 2010] Shi, W., Liu, K., Ju, Y., and Yan, G. (2010). An Efficient Indoor Location Algorithm based on RFID Technology. In *Proceedings of 6th IEEE Inter-*

- national Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, pages 1–5.
- [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.
- [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.
- [Want et al. 1992] Want, R., Hopper, A., Falcao, V., and Gibbons, J. (1992). The Active Badge Location System. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 10(1):102.
- [Ward et al. 1997] Ward, A., Jones, A., and Hopper, A. (1997). A New Location Technique for the Active Office. *IEEE Personal Communications*, 4(5):42–47.
- [Youssef and Agrawala 2008] Youssef, M. and Agrawala, A. (2008). The Horus Location Determination System. *Wireless Networks*, 14(3):357–374.
- [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 (ICCIS)*, pages 428–431.
- [Zhao et al. 2007] Zhao, Y., Liu, Y., and Ni, L. M. (2007). VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination. In *Proceedings of IEEE International Conference on Parallel Processing*, pages 5–12.



- [Zhu et al. 2009] Zhu, F.-J., Wei, Z.-H., Hu, B.-J., Chen, J.-G., and Guo, Z.-M. (2009). Analysis of Indoor Positioning Approaches Based on Active RFID. In *Proceedings of 5th IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, pages 1–4, Beijing, China.

## APÊNDICE A

# CONFIGURAÇÕES DE POSICIONAMENTO DE LEITORES E DE ETIQUETAS DE REFERÊNCIA

As tabelas a seguir apresentam o posicionamento de leitores (totalizando nove) e posicionamento de etiquetas de referência (três no total) utilizados com infraestrutura para o sistemas de localização LANDMARC e sua melhoria, o LANDMARC+. No total, as 27 combinações possíveis de posicionamento de leitores e etiquetas de referência foram utilizadas para a montagem dos ambientes de simulação.

**Tabela A.1** Configurações de posicionamento de leitores.

	<b>Leitor 1</b>	<b>Leitor 2</b>	<b>Leitor 3</b>	<b>Leitor 4</b>
	$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$
Posicionamento 1	(4,125; 0,250)	(0,250; 4,125)	(8,000; 4,125)	(4,125; 8,000)
Posicionamento 2	(4,125; 1,250)	(1,250; 4,125)	(7,000; 4,125)	(4,125; 7,000)
Posicionamento 3	(4,125; 2,250)	(2,250; 4,125)	(6,000; 4,125)	(4,125; 6,000)
Posicionamento 4	(0,250; 0,250)	(8,000; 0,250)	(0,250; 8,000)	(8,000; 8,000)
Posicionamento 5	(1,250; 1,250)	(7,000; 1,250)	(1,250; 7,000)	(7,000; 7,000)
Posicionamento 6	(2,250; 2,250)	(6,000; 2,250)	(2,250; 6,000)	(6,000; 6,000)
Posicionamento 7	(0,250; 1,375)	(8,000; 1,375)	(0,250; 6,875)	(8,000; 6,875)
Posicionamento 8	(0,750; 1,375)	(7,500; 1,375)	(0,750; 6,875)	(7,500; 6,875)
Posicionamento 9	(1,250; 1,375)	(7,000; 1,375)	(1,250; 6,875)	(7,000; 6,875)

**Tabela A.2** Configuração de posicionamento *A* de etiquetas de referência.

<b>Sala 1</b>	<b>Sala 2</b>	<b>Sala 3</b>
$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$
(0,10; 0,10)	(2,85; 0,10)	(5,60; 0,10)
(2,65; 0,10)	(5,40; 0,10)	(8,15; 0,10)
(0,10; 2,65)	(2,85; 2,65)	(5,60; 2,65)
(2,65; 2,65)	(5,40; 2,65)	(8,15; 2,65)

<b>Sala 4</b>	<b>Sala 5</b>	<b>Sala 6</b>
$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$
(0,10; 2,85)	(2,85; 2,85)	(5,60; 2,85)
(2,65; 2,85)	(5,40; 2,85)	(8,15; 2,85)
(0,10; 5,40)	(2,85; 5,40)	(5,60; 5,40)
(2,65; 5,40)	(5,40; 5,40)	(8,15; 5,40)

<b>Sala 7</b>	<b>Sala 8</b>	<b>Sala 9</b>
$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$
(0,10; 5,60)	(2,85; 5,60)	(5,60; 5,60)
(2,65; 5,60)	(5,40; 5,60)	(8,15; 5,60)
(0,10; 8,15)	(2,85; 8,15)	(5,60; 8,15)
(2,65; 8,15)	(5,40; 8,15)	(8,15; 8,15)

**Tabela A.3** Configuração de posicionamento *B* de etiquetas de referência.

<b>Sala 1</b>	<b>Sala 2</b>	<b>Sala 3</b>
$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$
(0,60; 0,60)	(3,35; 0,60)	(6,10; 0,60)
(2,15; 0,60)	(4,90; 0,60)	(7,65; 0,60)
(0,60; 2,15)	(3,35; 2,15)	(6,10; 2,15)
(2,15; 2,15)	(4,90; 2,15)	(7,65; 2,15)

<b>Sala 4</b>	<b>Sala 5</b>	<b>Sala 6</b>
$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$
(0,60; 3,35)	(3,35; 3,35)	(6,10; 3,35)
(2,15; 3,35)	(4,90; 3,35)	(7,65; 3,35)
(0,60; 4,90)	(3,35; 4,90)	(6,10; 4,90)
(2,15; 4,90)	(4,90; 4,90)	(7,65; 4,90)

<b>Sala 7</b>	<b>Sala 8</b>	<b>Sala 9</b>
$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$
(0,60; 6,10)	(3,35; 6,10)	(6,10; 6,10)
(2,15; 6,10)	(4,90; 6,10)	(7,65; 6,10)
(0,60; 7,65)	(3,35; 7,65)	(6,10; 7,65)
(2,15; 7,65)	(4,90; 7,65)	(7,65; 7,65)

**Tabela A.4** Configuração de posicionamento  $C$  de etiquetas de referência.

<b>Sala 1</b>	<b>Sala 2</b>	<b>Sala 3</b>
$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$
(1,10; 1,10)	(3,85; 1,10)	(6,60; 1,10)
(1,65; 1,10)	(4,40; 1,10)	(7,15; 1,10)
(1,10; 1,65)	(3,85; 1,65)	(6,60; 1,65)
(1,65; 1,65)	(4,40; 1,65)	(7,15; 1,65)

<b>Sala 4</b>	<b>Sala 5</b>	<b>Sala 6</b>
$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$
(1,10; 3,85)	(3,85; 3,85)	(6,60; 3,85)
(1,65; 3,85)	(4,40; 3,85)	(7,15; 4,85)
(1,10; 4,40)	(3,85; 4,40)	(6,60; 4,40)
(1,65; 4,40)	(4,40; 4,40)	(7,15; 4,40)

<b>Sala 7</b>	<b>Sala 8</b>	<b>Sala 9</b>
$(x; y)$	$(x; y)$	$(x; y)$
(1,10; 6,60)	(3,85; 6,60)	(6,60; 6,60)
(1,65; 6,60)	(4,40; 6,60)	(7,15; 6,60)
(1,10; 7,15)	(3,85; 7,15)	(6,60; 7,15)
(1,65; 7,15)	(4,40; 7,15)	(7,15; 7,15)