



Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Informática

Graduação em Ciência da Computação

**UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E  
ANÁLISE DO SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO  
RFID VIRE**

Ivan Luiz de França Neto

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Recife

9 de março de 2012

Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Informática

Ivan Luiz de França Neto

**UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E ANÁLISE DO SISTEMA  
DE LOCALIZAÇÃO RFID VIRE**

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

Orientador: *Paulo André da Silva Gonçalves*

Recife

9 de março de 2012

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que sempre esteve ao meu lado. Dedico aos meus pais Ivan e Neidja, pelo apoio e amor que sempre me deram. Dedico aos meus irmãos Felipe e Hugo, à minha família e aos meus amigos que sempre me apoiaram e acreditaram em mim.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter cuidado de mim durante toda minha vida, pela família e amigos que Ele me deu.

Aos meus pais pela educação, pelo amor, pelo apoio que sempre recebi e por sempre terem estado ao meu lado. Todas as minhas conquistas e realizações dedico aos meus pais que sempre acreditaram em mim e que sempre me deram uma palavra de conforto e de amor nos momentos difíceis.

Ao orientador-professor Paulo Gonçalves pela orientação. Cresci muito profissionalmente nos últimos dois anos, e devo boa parte desse crescimento ao professor Paulo Gonçalves que me ensinou a dar os primeiros passos no ramo da pesquisa acadêmica e sempre esteve disponível para tirar dúvidas e me ajudar.

Aos colegas do grupo de pesquisa, orientados pelo professor Paulo Gonçalves, pela experiência passada e pela disponibilidade. Agradeço pelo pendrive durante as apresentações (-:)).

À minha família e amigos pela amizade sincera e pelo apoio oferecido.

Aos amigos que fiz durante o curso, Ricardo Jorge, Leonardo Vieira (Mohamed :-)), Ícaro Malta, Átila Malta, Ruan Carvalho, Hector Pinheiro, Anália Lima, Amora Albuquerque, Irineu Martins, Ivson Diniz, Caio Cesár e Lais Sousa.

Aos professores do Centro de Informática (CIn) pela excelente qualidade do ensino, que contribuiu para minha formação acadêmica.

*“Procure ser um homem de valor,  
em vez de ser um homem de sucesso.”*

—ALBERT EINSTEIN

## RESUMO

A localização automática de objetos é uma das aplicações mais promissoras dos sistemas RFID baseados em etiquetas ativas. Dentre os sistemas RFID capazes de prover automaticamente a localização de objetos encontram-se o LANDMARC e o VIRE. Enquanto o primeiro possui desempenho bem compreendido, o segundo ainda carece de pesquisas que forneçam melhores subsídios sobre sua eficiência de localização em diversos cenários de propagação de sinais e sobre o impacto da escolha de seus parâmetros de projeto. Este trabalho de graduação apresenta uma avaliação de desempenho e análise do VIRE. Esse sistema é avaliado e analisado com o auxílio de simulações que consideram um ambiente interno com um canal de comunicação sob várias condições de propagação de sinais. As principais contribuições deste trabalho estão na avaliação de desempenho realizada, na identificação de pontos de melhoria do sistema VIRE e na identificação dos desafios envolvidos em sua otimização.

## **ABSTRACT**

The automatic location of objects is one of the most promising applications of Active RFID-based systems. Among the RFID systems able to automatically providing the location of objects are the LANDMARC and VIRE. While the first has well understood performance, the second still needs research that provide better subsidies about its location efficiency under different signal propagation conditions and about the impact of the choice of its design parameters. This Undergraduate Final Project presents a performance evaluation and analysis of the VIRE. Such system is evaluated and analyzed through simulations that consider an indoor environment with a communication channel under different signal propagation conditions. The main contributions of this work are in the performance evaluation, in identifying potential enhancements the VIRE system and in identifying challenges involved in its optimization.

# SUMÁRIO

<b>Capítulo 1—Introdução</b>	1
1.1 Motivação . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	4
1.3 Organização . . . . .	5
<b>Capítulo 2—Sistemas de Localização Indoor</b>	6
2.1 LANDMARC . . . . .	6
2.2 VIRE . . . . .	8
2.3 Outros Trabalhos Relacionados . . . . .	11
2.4 Resumo . . . . .	13
<b>Capítulo 3—Simulador</b>	14
3.1 Características . . . . .	14
3.2 Arquitetura . . . . .	15
3.3 Gráficos para análises . . . . .	17
3.3.1 Gráfico do Threshold . . . . .	17
3.3.2 Mapas de Calor . . . . .	18
3.3.3 Gráfico para Comparação de Algoritmos . . . . .	19
3.4 Resumo . . . . .	20
<b>Capítulo 4—Avaliações de Desempenho</b>	21



SUMÁRIO	ix
4.1 Modelo de Propagação de Sinais . . . . .	21
4.2 Cenário e parâmetros de simulação . . . . .	22
4.3 Avaliações e Análises . . . . .	23
4.4 Resumo . . . . .	31
<b>Capítulo 5—Conclusões</b>	<b>32</b>

## LISTA DE FIGURAS

1.1	Sistema RFID básico. . . . .	2
2.1	Célula física. . . . .	9
3.1	Gráfico do <i>Threshold</i> . . . . .	18
3.2	Mapa de Calor (em cores). . . . .	19
3.3	Gráfico para Comparação. . . . .	19
4.1	<i>Layout</i> do ambiente interno estudado. . . . .	23
4.2	<i>Threshold</i> vs. Erro Médio do VIRE. . . . .	24
4.3	<i>Threshold</i> vs. Erro Médio para os objetos 6 e 9. . . . .	25
4.4	Comportamento do <i>Threshold</i> (em cores). . . . .	26
4.5	Erro médio no ambiente (em cores). . . . .	27
4.6	Comparação do VIRE quando o <i>threshold</i> é fixo e quando é o ótimo. . . . .	28
4.7	Comparação do VIRE Ótimo quando $n = 9$ e $n = 3$ . . . . .	29
4.8	Comparação do VIRE Ótimo ( $n = 3$ ) com o LANDMARC. . . . .	30

## LISTA DE TABELAS

3.1	Módulo 1: Parâmetros de projeto. . . . .	15
3.2	Módulo 2: Parâmetros de projeto. . . . .	16
3.3	Módulo 3: Parâmetros de projeto. . . . .	17
3.4	Módulo 4: Parâmetros de projeto. . . . .	17

## 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

Diversas aplicações fornecem serviços baseadas na localização de um dado objeto ou pessoa. Portanto, para tais aplicações, obter as informações de localização de maneira precisa é fundamental para o adequado funcionamento da mesma. RFID (*Radio Frequency Identification*) é uma técnica de identificação automática através de sinais de rádio, pela qual é possível recuperar e/ou armazenar informações sobre diferentes tipos de objetos em um cenário indoor. Atualmente, os sistemas RFID são os mais promissores para a identificação automática de objetos através de sinais de radiofrequência (RF). Diversas aplicações já utilizam sistemas RFID, tais como: identificação de animais, antifurto de produtos vendidos em lojas, identificação de produtos em supermercados em substituição ao código de barras, identificação de veículos para pagamento automático de pedágios e estacionamentos, etc.

### 1.1 MOTIVAÇÃO

A tecnologia RFID pode ser vista como uma das mais novas tecnologias de coleta automática de dados. O sistema foi concebido inicialmente durante a Segunda Guerra Mundial para distinguir aeronaves amigas e inimigas. Os estudos se intensificaram chegando a grandes avanços na década de 90, primeiramente com a utilização de RFID com UHF (*Ultra High Frequency*) e em seguida com a criação do *Auto-ID Center* no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), que juntamente com outros centros de pesquisa, iniciou o estudo de uma arquitetura que utilizasse os recursos das tecnologias baseadas em radiofrequência para o desenvolvimento de novas aplicações de rastreamento e localização de produtos.

Os sistemas RFID mais básicos são compostos por dois componentes principais: as etiquetas ou tags e os leitores que recuperam as informações gravadas nas etiquetas. As Figuras 1.1(a) e 1.1(b) mostram os dois elementos que compõem um sistema RFID básico.



(a) Etiqueta RFID

(b) Leitor RFID

**Figura 1.1** Sistema RFID básico.

Em um sistema RFID cada etiqueta armazena um identificador (ID) único e é colada ou embutida em um objeto de interesse. O processo de identificação é realizado pelo leitor, o qual requisita o ID das etiquetas que estão em seu alcance de comunicação. Um mapeamento entre os IDs e os objetos pode ser realizado, sendo possível descobrir automaticamente quais objetos estão no alcance de comunicação do leitor. Os sistemas RFID têm por objetivo identificar automaticamente e de maneira inequívoca os objetos. De acordo com o tipo e a capacidade da etiqueta RFID utilizada, um sistema RFID permite que diversas informações sobre um determinado objeto possam ser armazenadas e/ou recuperadas através de transmissões de sinais de RF.

Uma etiqueta RFID se assemelha a um adesivo, que pode ser fixado em um objeto, permitindo que o mesmo possa ser rastreado. O ‘objeto’ pode ser qualquer coisa, um livro, uma embalagem ou produto, um animal e até mesmo seres humanos. As etiquetas RFID são classificadas como passivas, semi-passivas e ativas. As etiquetas passivas

são mais simples e baratas, não possuindo uma fonte de alimentação interna. A energia que necessitam para responder às requisições do leitor é extraída da onda eletromagnética emitida pelo próprio leitor através de um processo de indução magnética [Want 2004] [Tanenbaum and Wetherall 2011]. No entanto, esse processo torna o alcance de comunicação de etiquetas passivas relativamente curto, variando de alguns milímetros a poucos metros. As etiquetas ativas são mais complexas e caras do que as etiquetas passivas. Elas possuem uma fonte de alimentação interna (e.g. baterias) e possuem um alcance de comunicação maior do que o alcance de comunicação das etiquetas passivas. Como meio termo, existem as etiquetas semi-passivas, que utilizam a energia emitida pelos leitores para comunicação, mas possuem uma fonte de alimentação interna utilizada em outros módulos do circuito. O leitor RFID é o componente responsável pela leitura/gravação de informações nas etiquetas que estão situadas em seu alcance. A comunicação entre a etiqueta e o leitor permite que as informações de localização da etiqueta possam ser recuperadas, possibilitando o rastreamento da mesma.

Duas características importantes podem ser notadas nos sistemas RFID: a capacidade de identificar objetos e a capacidade de comunicação através de sinais de RF. Essas características tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas de localização RFID para se obter automaticamente uma estimativa do posicionamento de objetos de interesse em ambientes internos [Ni et al. 2004], [Polito et al. 2007], [Zhao et al. 2007], [Silva and Gonçalves 2009b], [Zhu et al. 2009], [Zhang et al. 2010], [Shi et al. 2010], [Ng et al. 2011]. Em tais sistemas as medidas de força de sinal recebido (RSS - *Received Signal Strength*), coletadas nos leitores, são utilizadas no processo de estimativa de localização dos objetos.

Os sistemas de localização RFID mais conhecidos são o LANDMARC [Ni et al. 2004] e o VIRE [Zhao et al. 2007]. Enquanto o primeiro possui desempenho bem compreendido, o segundo ainda carece de pesquisas que forneçam melhores subsídios sobre sua eficiência de localização em diversos cenários de propagação de sinais e sobre o impacto da escolha de seus parâmetros de projeto. Os diversos estudos [Zhu et al. 2009], [Shi et al. 2010], [Zhang et al. 2010] sobre o VIRE não analisam o comportamento do sistema sob

diferentes condições de propagação de sinais. Isso não permite identificar ineficiências ou características do VIRE quando utilizado em um ambiente mais realístico sujeito a variações na força dos sinais recebidos pelos receptores do sistema. Este trabalho apresenta uma avaliação de desempenho e análise do sistema de localização RFID VIRE. Esse sistema é avaliado e analisado com o auxílio de simulações que consideram um ambiente interno com um canal de comunicação sob várias condições de propagação de sinais. Através desse estudo, é demonstrado que o desempenho do VIRE está intimamente ligado ao posicionamento real do objeto a ser localizado, às condições de propagação de sinais e à escolha de seus dois parâmetros de projeto. Também são apresentadas comparações entre o desempenho do LANDMARC e do VIRE.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é realizar, com o auxílio de simulações, uma avaliação de desempenho e análise do sistema de localização RFID VIRE. O estudo será realizado em um ambiente interno com um canal de comunicação sob várias condições de propagação de sinais. O estudo proposto também contemplará a avaliação da eficiência de localização do LANDMARC para fins de comparação. Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

1. Estudar os principais algoritmos de localização que utilizam medidas de força de sinal recebido (RSS);
2. Estudar modelos de propagação de sinais, a fim de modelar o comportamento das medidas de força de sinal recebido;
3. Implementar e validar um simulador que permita o estudo da eficiência de localização do LANDMARC e do VIRE;
4. Definir cenários de avaliação e estudar a eficiência de localização do VIRE, comparando-a com a eficiência de localização do LANDMARC;
5. Avaliar experimentalmente o VIRE;



### **1.3 ORGANIZAÇÃO**

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: O Capítulo 2 apresenta o estado da arte de sistemas de localização *indoor* baseados em RFID, sendo destacados o LANDMARC e o VIRE. O Capítulo 3 apresenta as características e a arquitetura do simulador desenvolvido para permitir o estudo da eficiência de localização do LANDMARC e do VIRE. O Capítulo 4 apresenta um estudo detalhado do desempenho do VIRE sob diferentes condições de variabilidade do RSS no canal de comunicação. As conclusões gerais deste trabalho são apresentadas no Capítulo 5.

## CAPÍTULO 2

# SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO INDOOR

O crescimento do mercado de dispositivos móveis e a disseminação das redes sem fio tem impulsionado o interesse por sistemas de localização em ambientes internos. Tais sistemas têm sido utilizados em diversas aplicações, tais como rastreamento de objetos e controle de estoque. As principais técnicas de localização utilizadas em ambientes internos são as baseadas em triangulação, análise de cena e proximidade [Ni et al. 2004]. Os sistemas de localização RFID pertencem ao conjunto das técnicas baseadas na proximidade. A utilização de RFID no processo de localização é relativamente simples de implementar, quando comparado a outras técnicas [Liu et al. 2007], além de possuir uma boa relação custo-benefício [Ni et al. 2004].

Neste capítulo serão apresentados os sistemas de localização RFID mais conhecidos: o LANDMARC e o VIRE, descritos nas Seções 2.1 e 2.2, respectivamente. Na Seção 2.3 serão apresentados outros trabalhos relacionados.

### 2.1 LANDMARC

O LANDMARC (*LocAtioN iDentification based on dynaMic Active Rfid Calibration*) [Ni et al. 2004] foi pioneiro na utilização da tecnologia RFID para a localização de objetos em ambientes fechados, introduzindo o conceito de etiquetas de referência para auxiliar o processo de localização. Tais etiquetas representam pontos de referência fixos no ambiente e têm como objetivo aumentar a precisão do sistema sem a necessidade de aumentar o número de leitores espalhados pelo ambiente. Dessa forma, o LANDMARC alcança os seguintes objetivos: reduz a quantidade de leitores caros utilizados, ao utilizar etiquetas de referência que são mais baratas; reduz a influência do ambiente sobre a precisão do

sistema, já que as etiquetas de referência estão sujeitas as mesmas condições que as etiquetas que estão sendo rastreadas; e fornece informações de localização mais precisas.

O processo de localização do LANDMARC consiste na construção de dois mapas de força de sinais ou RSS, representados pelo vetor  $\vec{S}(j) = (S_1^j, S_2^j, \dots, S_n^j)$ , onde  $S_i^j$  denota o RSS do objeto  $j$  medido no leitor  $i \in [1, n]$ , e  $\vec{\theta} = (\theta_1^r, \theta_2^r, \dots, \theta_n^r)$ , onde  $\theta_i^r$  denota o RSS da etiqueta de referência  $r \in [1, m]$  medido no leitor  $i \in [1, n]$ . O LANDMARC define ainda uma distância Euclidiana, em níveis de potência, utilizando a seguinte Equação:

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

Teoricamente, as etiquetas de referência mais próximas da etiqueta que está sendo localizada são as que apresentam o menor valor de  $E_r^j$ . Desta forma, a distância Euclidiana entre o objeto  $j$  e cada etiqueta de referência  $r \in [1, m]$  é calculada, produzindo o vetor  $\vec{E}(j) = (E_1^j, E_2^j, \dots, E_m^j)$ . Esse vetor é usado como entrada para o algoritmo KNN (*K-Nearest Neighbors*) [Bahl and Padmanabhan 2000] que encontra as  $k$  etiquetas de referência com menor distância Euclidiana, em unidades de RSS, para o objeto  $j$ . 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 cada uma de suas etiquetas de referência vizinhas mais próximas. O desempenho do LANDMARC depende da escolha do valor do parâmetro  $k$ . Os resultados apresentados em [Ni et al. 2004] e [Polito et al. 2007] demonstram que  $k$  igual a 4 provê um melhor desempenho de localização.

Em seguida, o LANDMARC estabelece pesos em função da distância euclidiana entre o objeto a ser localizado e cada uma das etiquetas de referência vizinhas mais próximas. O peso é dado por:

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

Quanto mais próxima a  $l$ -ésima etiqueta de referência estiver do objeto alvo, maior será o peso  $w_l^j$  associado a ela. De posse dos pesos e das coordenadas de localização dessas

etiquetas vizinhas, o LANDMARC estima as coordenadas de localização do objeto de interesse. Para um objeto  $j$ , o LANDMARC estima suas coordenadas  $(x_j, y_j)$  utilizando a seguinte equação:

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

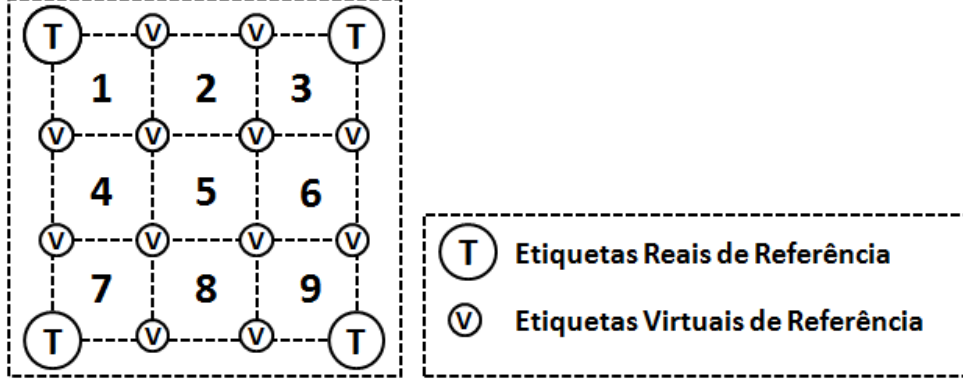
onde  $(x_l, y_l)$  corresponde as coordenadas da  $l$ -ésima etiqueta de referência.

## 2.2 VIRE

O número de etiquetas de referência influencia no desempenho do LANDMARC [Ni et al. 2004], quando uma baixa densidade de etiquetas de referência é utilizada há uma degradação no desempenho do LANDMARC. Para melhorar a precisão da localização do LANDMARC, mais etiquetas de referência são necessárias, o que provoca um aumento no custo e na complexidade do sistema, além de poder ocasionar o fenômeno da interferência de RF [Zhao et al. 2007]. Diante desse cenário, o VIRE (*Virtual Reference Elimination*) [Zhao et al. 2007] se propõe a melhorar os resultados de desempenho de localização alcançados pelo LANDMARC sem adicionar novos leitores e novas etiquetas reais de referência. Para isso, o VIRE introduz etiquetas virtuais de referência no sistema de localização.

O processo de localização do VIRE possui três etapas. Na primeira etapa, uma grade virtual é estabelecida e o valor do RSS das etiquetas virtuais de referência é calculado. As etiquetas reais de referência estão dispostas em uma grade regular 2D no ambiente, onde cada célula física da grade é composta por 4 etiquetas reais de referência. Cada célula física da grade é subdividida em  $n \times n$  células virtuais de igual tamanho, onde cada célula virtual é coberta por 4 etiquetas virtuais de referência. Na Figura 2.1 é apresentada uma célula física, subdividida em 9 células virtuais, quando  $n$  igual a 3. O parâmetro  $n$  indica a densidade de etiquetas virtuais de referência e consiste em um importante parâmetro de projeto. Dado que as coordenadas das 4 etiquetas reais de referência são conhecidas, as coordenadas das etiquetas virtuais de referência podem ser facilmente calculadas. Com

a utilização das etiquetas virtuais de referência o VIRE busca aumentar a precisão da estimativa de localização sem adicionar custo e sem causar interferência de RF.



**Figura 2.1** Célula física.

Para determinar o valor do RSS de cada etiqueta virtual de referência para cada leitor, o VIRE sugere a utilização do algoritmo de interpolação linear. O número total de etiquetas de referência em cada célula física com 4 etiquetas reais de referência aumentará em  $(n + 1)^2 - 4$  etiquetas. O valor do RSS das etiquetas virtuais dispostas na horizontal pode ser interpolado pela Equação

$$S_k(T) = \left(\frac{x_{R2} - x_T}{x_{R2} - x_{R1}}\right)S_k(R1) + \left(\frac{x_T - x_{R1}}{x_{R2} - x_{R1}}\right)S_k(R2) \quad , \quad (2.4)$$

enquanto que o valor do RSS das etiquetas virtuais dispostas na vertical pode ser interpolado pela Equação

$$S_k(T) = \left(\frac{y_{R2} - y_T}{y_{R2} - y_{R1}}\right)S_k(R1) + \left(\frac{y_T - y_{R1}}{y_{R2} - y_{R1}}\right)S_k(R2) \quad , \quad (2.5)$$

onde  $S_k(R1)$  e  $S_k(R2)$  correspondem ao valor do RSS das etiquetas com coordenadas  $(x_{R1}, y_{R1})$  e  $(x_{R2}, y_{R2})$  respectivamente, calculadas em um leitor  $k$  e utilizadas na interpolação linear do valor do RSS da etiqueta virtual  $T$  com coordenadas  $(x_T, y_T)$ .

Na segunda etapa, com a grade virtual de referência estabelecida e o valor do RSS de cada etiqueta virtual de referência e da etiqueta alvo calculado para cada leitor, tem início o processo de eliminação de posições da grade que teriam uma influência negativa

na estimativa de localização. Nesta etapa, um mapa de proximidade é definido para cada leitor. Este mapa corresponde a uma mapa 2D onde cada posição do mapa faz referência a uma região do ambiente que está sendo estudado, e o centro de cada região corresponde a uma etiqueta virtual de referência. Cada leitor terá o seu próprio mapa de proximidade, onde o valor do RSS de cada região no mapa foi calculado na primeira etapa e pode ser atualizado caso o valor do RSS das etiquetas reais de referência seja alterado.

Quando o valor do RSS da etiqueta alvo é obtido, cada leitor marcará as regiões do mapa onde a diferença entre o valor do RSS da região e da etiqueta alvo for menor que um *threshold*. Supondo a existência de  $K$  leitores, após obter os  $K$  mapas de proximidade para os  $K$  leitores, uma função de interseção é aplicada a esses mapas. O resultado da interseção é um mapa 2D que indica as regiões que estão mais próximas da etiqueta alvo. O *threshold* é, portanto, um importante parâmetro de projeto. Ao fim desta etapa, o conjunto das possíveis regiões de localização da etiqueta alvo é obtido.

Na última etapa, o conjunto de regiões obtidas na etapa anterior é utilizado para estimar a localização da etiqueta alvo. Neste processo são utilizadas duas funções peso  $w_{1i}$  e  $w_{2i}$ . A função peso  $w_{1i}$  é dada por:

$$w_{1i} = \sum_{k=1}^K \frac{|S_k(T_i) - S_k(R)|}{K \cdot S_k(T_i)} \quad , \quad (2.6)$$

onde  $K$  corresponde ao número de leitores utilizados,  $S_k(T_i)$  ao valor do RSS da etiqueta virtual de referência  $T_i$  no leitor  $k$  e  $S_k(R)$  ao valor do RSS da etiqueta alvo no leitor  $k$ . O peso  $w_{2i}$  é dado por:

$$w_{2i} = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^{n_a} p_i} = \frac{n_{ci}}{\sum_{i=1}^{n_a} n_{ci}} \quad , \quad (2.7)$$

onde  $p_i$  denota o raio de possíveis regiões conjuntas para uma determinada área,  $n_{ci}$  é o número de regiões conjuntas e  $n_a$  é o número total de regiões em uma determinada área. O cálculo das coordenadas da etiqueta alvo é dado por:

$$(x, y) = \sum_{i=1}^{n_a} w_i(x_i, y_i) \quad , \quad (2.8)$$

onde  $w_i = w_{1i} \times w_{2i}$ . O erro médio de localização calculado é a distância entre a posição real do objeto e a posição estimada.

## 2.3 OUTROS TRABALHOS RELACIONADOS

Em [Polito et al. 2007] é feita uma comparação entre o uso do LANDMARC e de um algoritmo denominado RSI (*RSSI Space Interpolation*), o qual emprega o uso de uma função denominada *Spline* utilizada para gerar etiquetas virtuais de referência através da interpolação do vetor de distâncias Euclidianas utilizado no LANDMARC. Segundo [Ni et al. 2004], com o aumento da distância entre as etiquetas de referência, há uma queda na precisão do sistema de localização. Em [Polito et al. 2007], verificou-se que quando há poucas etiquetas reais de referência, o uso de interpolação não reduz a degradação do desempenho do sistema ocasionado pelo aumento da distância entre tais etiquetas. Assim, quando o número de etiquetas reais de referência é pequeno, utilizar etiquetas virtuais de referência não atenua a queda do desempenho do sistema. Os resultados permitiram dizer que as complexas questões de propagação envolvendo ambientes internos não são adequadamente modeladas com funções de interpolação, quando o número de etiquetas reais de referência é pequeno.

Em [Jiang et al. 2009] é apresentada uma abordagem em que a etiqueta que está sendo localizada juntamente com as  $k$  etiquetas de referência mais próximas, calculadas a partir do LANDMARC, são colocadas em um conjunto. Com base nas coordenadas das etiquetas de referência do conjunto e nas coordenadas da etiqueta alvo, estimadas pelo LANDMARC, um processo de calibração é iniciado até que as coordenadas da etiqueta alvo assumam um valor estável. Simulações e comparações experimentais mostraram que a precisão da localização melhora com tal abordagem.

O LANDMARC+ [Silva and Gonçalves 2009a] é um algoritmo que fornece uma segunda estimativa da área na qual um objeto pode estar presente, visando evitar que os usuários realizem buscas cegas, pelo ambiente, de objetos cujas localizações foram erroneamente estimadas. O LANDMARC+ fornece duas estimativas de localização: a primeira proveniente da execução do LANDMARC e uma secundária que considera a distância

média Euclidiana, em RSS (*Received Signal Strength*), entre o objeto  $j$  a ser localizado e as etiquetas de referência em cada sala ou área  $a$  do ambiente. Essa distância Euclidiana média é obtida pela seguinte equação:

$$M(j, a) = \frac{\sum_{t(a)=1}^{\rho} \Phi_{t(a)}^j}{\rho}, \quad (2.9)$$

onde  $\rho$  denota o número de etiquetas de referência em cada área e  $\Phi_{t(a)}^j$  corresponde a distância Euclidiana, em unidades de RSS entre um objeto  $j$  e uma etiqueta de referência  $t(a) \in [1, \rho]$  pertencente à área  $a$ . Sendo  $A$  um ambiente interno dividido em  $q$  áreas, o LANDMARC+ produz um vetor de distâncias Euclidianas médias  $\vec{M}(j, A) = [M(j, a_1), M(j, a_2), \dots, M(j, a_q)]$ . A área  $a$  que produzir a menor distância média Euclidiana,  $M(j, a)$ , será escolhida como a segunda estimativa de localização do objeto  $j$ . Os resultados demonstraram que o LANDMARC+ melhora o desempenho global de localização do LANDMARC em até 96,66%.

Em [Zhu et al. 2009] é realizada uma análise do algoritmo do VIRE, sendo proposta uma melhoria no algoritmo de redução do *threshold* para cada etiqueta alvo, o que fornece uma melhor precisão com relação ao VIRE. Em [Shi et al. 2010] é proposta uma abordagem que reduz a área de interpolação do VIRE por meio de um mecanismo de seleção de subregião. Além disso, um algoritmo de interpolação não linear é utilizado. Nessa abordagem, além da baixa complexidade computacional, foi possível prover uma melhor precisão de localização quando comparado ao VIRE. Em [Zhang et al. 2010] um método baseado na interpolação de *Newton* é utilizado para calcular os valores de RSSI das novas etiquetas virtuais, quando o grid é expandido. Com a utilização do método de interpolação de *Newton* foi possível estimar a localização de mais etiquetas alvo em um menor intervalo de tempo, além de aumentar a precisão dos resultados quando o número de etiquetas virtuais de referência no ambiente aumenta.

Nenhum dos trabalhos relacionados ao VIRE, no entanto, levou em consideração as condições de variabilidade do RSS no canal de comunicação ao analisar e avaliar o VIRE em seus estudos. Dessa forma, os estudos anteriores não permitem identificar ineficiências ou características do VIRE quando utilizado em um ambiente mais realístico sujeito a va-



riações na força dos sinais recebidos pelos receptores do sistema. Como pôde ser visto na Seção 2.2, o VIRE possui dois parâmetros de projeto: a densidade de etiquetas virtuais de referência ( $n$ ) e o *threshold*. A escolha adequada de tais parâmetros influencia sua eficiência de localização. Com relação ao parâmetro  $n$ , os estudos realizados em [Zhao et al. 2007] e [Zhu et al. 2009] indicam que com o aumento de seu valor, há um aumento na eficiência de localização do sistema. No entanto, os resultados apresentados aqui neste trabalho, mostram que dependendo das condições de variabilidade do RSS no canal, um aumento no valor de  $n$  pode reduzir a eficiência de localização. E por causa disso, será mostrado que a escolha do valor de  $n$  não é tão simples como indicavam os estudos anteriores. Com relação ao *threshold*, o VIRE adota sempre um valor fixo para esse parâmetro. Com o estudo apresentado neste artigo, é demonstrado que a melhor abordagem para aumentar a eficiência de localização do sistema é utilizar um *threshold* dinâmico.

## 2.4 RESUMO

Este capítulo apresentou os sistemas de localização RFID mais conhecidos. Na Seção 2.1 foi apresentado o LANDMARC, que foi pioneiro na utilização da tecnologia RFID para a localização de objetos em ambientes fechados, introduzindo o conceito de etiquetas de referência para auxiliar o processo de localização. Na Seção 2.2 foi apresentado o VIRE que se propõe a melhorar os resultados de desempenho de localização alcançados pelo LANDMARC sem adicionar novos leitores e novas etiquetas reais de referência, introduzindo o conceito de etiquetas virtuais de referência. Por fim, na Seção 2.3 foram apresentados outros trabalhos relacionados.

## CAPÍTULO 3

# SIMULADOR

A fim de avaliar a eficiência de localização do VIRE, bem como a do LANDMARC para fins de comparação, foi desenvolvido um simulador. Tal simulador modela o ambiente de estudo e o posicionamento das etiquetas e leitores utilizados. Com o simulador também é possível definir novos cenários e toda a infraestrutura de localização, além de permitir a modelagem do canal de comunicação. Desta forma, foi possível avaliar a eficiência de localização do VIRE e do LANDMARC em um ambiente controlado sob várias condições de propagação de sinais.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS

Desenvolvido na linguagem de programação C++, o simulador permite que o ambiente de simulação possa ser facilmente modificado, o que facilita o estudo dos algoritmos. Os experimentos podem ser simulados em um ambiente interno aberto ou dividido em subáreas de mesmo tamanho, que por sua vez pode conter paredes. Uma vez que as dimensões do ambiente tenham sido fornecidas, é possível definir o restante da infraestrutura física de localização, composta de leitores e etiquetas RFID. Desta forma, é possível definir as coordenadas  $(x, y)$  dos leitores e das etiquetas no ambiente.

O simulador conta com a implementação de dois modelos de propagação de sinais, utilizados para modelar as medidas de RSS (*Received Signal Strength*) calculadas nos leitores RFID. Os dois modelos de propagação implementados foram: o *Path Loss* e Desvanecimento. Apesar de contar com os dois modelos implementados, para os resultados apresentados neste trabalho apenas um dos modelos foi utilizado. O modelo escolhido foi o *Path Loss*, por se tratar de um modelo que já vem sendo bastante utilizado na litera-

tura, como exemplo de trabalhos que utilizam tal modelagem [Yihua et al. 2008], [Silva and Gonçalves 2009a], [Yihua et al. 2009], [Hsu et al. 2009] e [Chen and Wang 2010]. Na Seção 4.1 será destacado o modelo de propagação de sinais *Path Loss*.

Além disso, foram implementados os algoritmos de localização RFID LANDMARC e VIRE. O simulador permite que novos algoritmos possam ser adicionados facilmente à ferramenta. O componente do simulador desenvolvido em C++ gera como saída ‘arquivos de texto’ contendo os resultados da simulação. Tais resultados são processados por meio da linguagem *AWK*, uma linguagem de programação para processamento de texto, disponível em ambientes *UNIX*. Os resultados processados são então utilizados na geração de gráficos *GNU-Plot* para que o comportamento dos sistemas RFID possam ser analisados.

## 3.2 ARQUITETURA

O simulador possui uma arquitetura composta por quatro módulos independentes, onde cada módulo possui uma função específica. Nesta seção será destacada a arquitetura do simulador, falando brevemente sobre cada um dos módulos.

A Tabela 3.1 resume os parâmetros de projeto definidos no primeiro módulo.

**Tabela 3.1** Módulo 1: Parâmetros de projeto.

Parâmetros
Comprimento do ambiente em ( <i>metros</i> )
Largura do ambiente em ( <i>metros</i> )
Quantidade de salas no eixo x
Quantidade de salas no eixo y
Indicação da presença de paredes

O primeiro módulo modela o ambiente de simulação em que os algoritmos de localização RFID serão estudados. Neste módulo são definidos os seguintes parâmetros de projeto: as dimensões do ambiente; a quantidade de subáreas no eixo x e no eixo y, caso o ambiente seja dividido em salas; e uma indicação da presença ou ausência de paredes no ambiente

separado por salas. As informações destes parâmetros de projeto são obtidas por meio de um arquivo de entrada.

O segundo módulo modela a infraestrutura de localização utilizada no estudo. Este módulo é responsável pela definição da quantidade de leitores, de etiquetas de referência e de etiquetas alvo que serão distribuídas no ambiente. Além disso, é possível definir as coordenadas  $(x, y)$  de cada um desses elementos. A Tabela 3.2 resume os parâmetros de projeto definidos neste módulo.

**Tabela 3.2** Módulo 2: Parâmetros de projeto.

Parâmetros
Quantidade de Leitores
Quantidade de Etiquetas de Referência
Quantidade de Etiquetas Alvo
Coordenadas $(x, y)$ dos leitores e etiquetas

O terceiro módulo modela o canal de comunicação. Como o simulador apresenta dois modelos de propagação de sinal, este módulo define qual dos modelos implementados será utilizado na simulação, o *Path Loss* ou Desvanecimento. Aqui são definidos ainda os seguintes parâmetros de projeto: a frequência e a potência de transmissão das etiquetas, um fator de atenuação para ambientes abertos e outro para ambientes fechados. A saída deste módulo é, portanto, a potência de recepção, ou seja, o RSS de cada etiqueta calculado em cada leitor. A Tabela 3.3 resume os parâmetros de projeto definidos neste módulo.

O quarto módulo implementa os algoritmos de localização estudados, o LANDMARC e o VIRE. Os algoritmos são independentes, de forma que novos algoritmos podem ser facilmente adicionados ao simulador. Os parâmetros de projeto do LANDMARC e do VIRE são definidos neste módulo. Com relação a implementação do LANDMARC, a definição do parâmetro de projeto ( $k$ ) ocorre neste módulo, tal parâmetro indica a quantidade de etiquetas de referência vizinhas à etiqueta alvo que será utilizada na estimativa de localização. No que diz respeito ao VIRE, a densidade de etiquetas virtuais de re-

**Tabela 3.3** Módulo 3: Parâmetros de projeto.

Parâmetros
Tipo de modelagem ( <i>Path Loss</i> ou Desvanecimento)
Frequência de transmissão em ( <i>MHz</i> )
Potência de transmissão em ( <i>mW</i> )
Fator de atenuação para ambientes abertos em ( <i>dB</i> )
Fator de atenuação para ambientes com paredes em ( <i>dB</i> )

ferência ( $n$ ) também é definida neste módulo. A Tabela 3.4 resume os parâmetros de projeto definidos neste módulo.

**Tabela 3.4** Módulo 4: Parâmetros de projeto.

Parâmetros
$k$ (no caso do LANDMARC)
$n$ (no caso do VIRE)

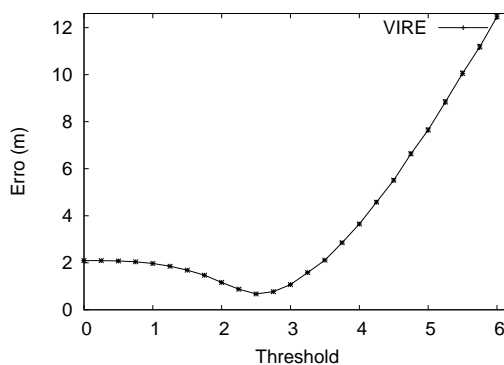
### 3.3 GRÁFICOS PARA ANÁLISES

Como foi apresentado na Seção 3.1, o componente do simulador desenvolvido em C++, composto pelos quatro módulos descritos na Seção 3.2, gera como saída ‘arquivos de texto’ contendo os resultados da simulação. Tais resultados passam por um processamento para que seja possível gerar os gráficos que serão utilizados na análise dos algoritmos. Nesta seção serão apresentados os gráficos que podem ser gerados em nosso simulador.

#### 3.3.1 Gráfico do Threshold

O *Gráfico do Threshold* é utilizado para avaliar o erro médio de localização do VIRE quando o *threshold* varia. A partir deste gráfico é possível visualizar o erro médio de localização do VIRE, em *metros*, calculado para uma ou mais etiquetas alvo, quando o *threshold* varia sob determinadas condições de propagação do sinal. A Figura 3.1

apresenta um exemplo de *Gráfico do Threshold*, onde o eixo x corresponde ao *threshold*, que neste caso varia no intervalo de  $[0, 6]$  e o eixo y ao erro médio de localização. Os limites inferior e superior do eixo x são configurados pelo usuário. Para cada valor de *threshold* foram realizadas 2000 simulações.



**Figura 3.1** Gráfico do *Threshold*.

Este gráfico permite analisar o comportamento do *threshold* para uma ou mais etiquetas. Desta forma, é possível determinar o melhor *threshold* para um determinado conjunto de etiquetas, em determinadas condições de propagação do sinal. No caso da Figura 3.1  $\sigma^2$  igual a 0 e  $n$  igual a 9 são utilizados.

### 3.3.2 Mapas de Calor

Os Mapas de Calor (*Heat Maps*) permitem que o comportamento do *threshold* no ambiente possa ser analisado, quando determinado valor de  $n$  é escolhido e sob diferentes condições de variabilidade do RSS no canal. A Figura 3.2 apresenta um exemplo de mapa de calor quando  $n$  igual a 9 e  $\sigma^2$  igual a 0. O eixo x e o eixo y do mapa representam as dimensões do ambiente. Para cada posição no ambiente, nas condições de variabilidade estabelecidas, o *threshold* ótimo é calculado e representado no mapa por meio de uma cor. A escala localizada na parte direita da Figura 3.2 indica a correspondência entre o valor do *threshold* e a cor apresentada no mapa.

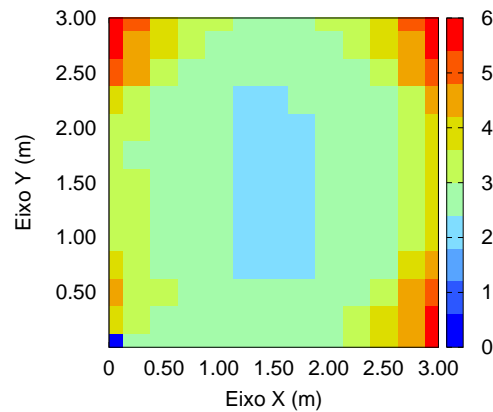


Figura 3.2 Mapa de Calor (em cores).

### 3.3.3 Gráfico para Comparação de Algoritmos

A partir do *Gráfico para Comparação de Algoritmos* é possível realizar uma comparação da eficiência dos algoritmos de localização. Na Figura 3.3(a), por exemplo, a eficiência de localização do VIRE é comparada a eficiência de localização do LANDMARC para nove objetos alvo dispostos no ambiente de simulação, quando  $\sigma^2$  igual a 0.

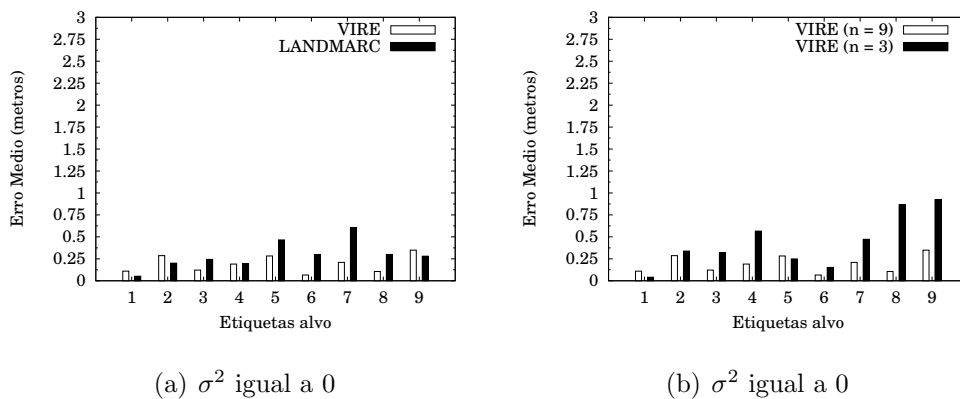


Figura 3.3 Gráfico para Comparação.

Também é possível analisar um dado algoritmo quando diferentes parâmetros de projeto são escolhidos. Na Figura 3.3(b), por exemplo, a eficiência de localização do VIRE pode ser avaliada em duas situações distintas: quando  $n$  igual a 9 e quando  $n$  igual a 3.

### 3.4 RESUMO

Neste capítulo foi apresentado o simulador, utilizado para avaliar a eficiência de localização do VIRE e do LANDMARC. Na Seção 3.1 foram apresentadas as características do simulador. O simulador foi desenvolvido em C++, e implementa dois modelos de propagação de sinal, o *Path Loss* e Desvanecimento. Dentre os algoritmos de localização RFID, foram implementados o LANDMARC e o VIRE. Na Seção 3.2 foi apresentada a arquitetura do simulador, composta por quatro módulos. Por fim, na Seção 3.3, são apresentados os gráficos que podem ser gerados a partir do simulador.



## CAPÍTULO 4

# AVALIAÇÕES DE DESEMPENHO

Este capítulo apresenta um estudo detalhado do desempenho do VIRE considerando diversas condições de propagação de sinais no ambiente interno. O estudo foi realizado no simulador apresentado no Capítulo 3, o qual modela o ambiente de simulação, as etiquetas e leitores utilizados no estudo. Nele, também é possível definir diferentes condições de propagação do sinal. A seguir, serão apresentados o modelo de propagação considerado neste artigo, o cenário e os parâmetros de simulação utilizados e, por fim, os resultados obtidos.

### 4.1 MODELO DE PROPAGAÇÃO DE SINAIS

Para avaliar o desempenho de sistemas de localização baseados em medidas de RSS através de simulações é preciso definir o modelo de propagação de sinais que será utilizado. Neste trabalho, o modelo de propagação de sinais utilizado é o *Path Loss* (PL) proposto em [Seidel and Rappaport 1992]. Trata-se de um modelo empírico para ambientes internos 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  $PL$  denota a atenuação (em  $dB$ ) sofrida pelo sinal no caminho do transmissor ao receptor;  $PL(d_0)$  é a atenuação sofrida pelo sinal a uma distância de referência  $d_0$  do transmissor. Em ambientes internos o valor típico de  $d_0$  é igual a  $1\text{ m}$  e a atenuação sofrida pelo sinal de um transmissor a uma distância de referência de  $1\text{ m}$  é dada por

$$PL(1\text{metro})\text{ dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi}{\lambda} \right) \text{ dB} \quad , \quad (4.2)$$

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

O parâmetro  $d$  representa a distância, em metros, entre o transmissor e o receptor;  $\gamma$  é o expoente de atenuação e indica o aumento da atenuação em relação à distância. Tipicamente o expoente de atenuação varia entre 2,0 e 4,0.  $FAF(q)$  representa o fator de atenuação devido ao piso  $q$ , localizado entre o transmissor e o receptor, e  $Q$  representa o número de pisos que o sinal atravessa entre o transmissor e receptor.  $WAF(p)$  indica o fator de atenuação devido à parede  $p$  localizada entre o receptor e transmissor, e  $P$  denota o número de paredes entre o transmissor e o receptor.

O desempenho de qualquer sistema de localização baseado em medidas de força de sinal depende da estabilidade dos valores de RSS coletados durante o processo de localização. A Equação (4.1), para um mesmo par transmissor-receptor estático, fornecerá apenas um valor fixo de RSS. No entanto, em ambientes reais, mesmo para pares transmissores-receptores estáticos, os valores de RSS variam ao longo do tempo. Isso se deve a vários efeitos, aos quais os sinais eletromagnéticos estão sujeitos, como mutipath, shadowing, propagação sem linha de visada direta e interferência com outros dispositivos RF. Portanto, na prática, é importante considerar variações nos valores de RSS, afim de tornar as simulações mais realísticas. O trabalho utiliza, portanto, um modelo de propagação de *Path Loss* estendido, definido por

$$PL^* = \Gamma \quad , \quad (4.3)$$

onde  $\Gamma$  denota uma variável randômica Gaussiana com variância  $\sigma^2$  e média  $PL$ . A média  $PL$  é a atenuação obtida através da Equação (4.1).

## 4.2 CENÁRIO E PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

Na Figura 4.1 é apresentado o *layout* do ambiente interno e a configuração de posicionamento de leitores e etiquetas utilizados para avaliar o desempenho do VIRE e do LANDMARC. O ambiente consiste em uma sala 5 m x 3 m, livre de paredes. Logo,  $\sum_{p=1}^P WAF(p)$  na Equação (4.1) é igual a zero. A sala possui 4 leitores, cada qual em uma das quinas da sala, e 16 etiquetas reais de referência separadas entre si por uma

distância de 1  $m$ . A distância entre cada leitor e a etiqueta real de referência mais próxima é de 1 metro.

Todas as etiquetas e leitores estão no mesmo andar, portanto,  $\sum_{q=1}^Q FAF(q)$  na Equação (4.1) é igual a zero. As etiquetas operam na frequência de 433 MHz com potência de transmissão de sinais de 100mW,  $\gamma$  é igual a 2,4. Esse *layout* é similar ao *layout* estudado em [Zhao et al. 2007]. Existem 9 objetos (1, 2, ..., 9) a serem localizados e suas coordenadas reais são, respectivamente,  $(1, 4; 1, 4)m$ ,  $(0, 8; 1, 5)m$ ,  $(1, 8; 2, 3)m$ ,  $(1, 8; 0, 8)m$ ,  $(2, 4; 2, 0)m$ ,  $(0, 4; 0, 6)m$ ,  $(0, 4; 1, 4)m$ ,  $(2, 6; 0, 6)m$ ,  $(0, 1; 2, 3)m$ .

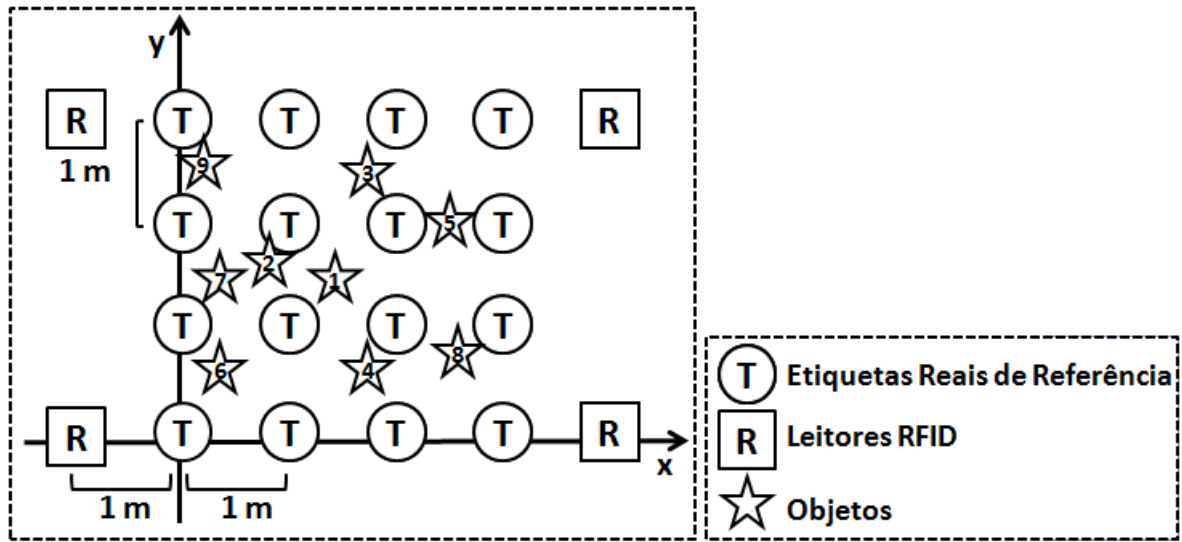
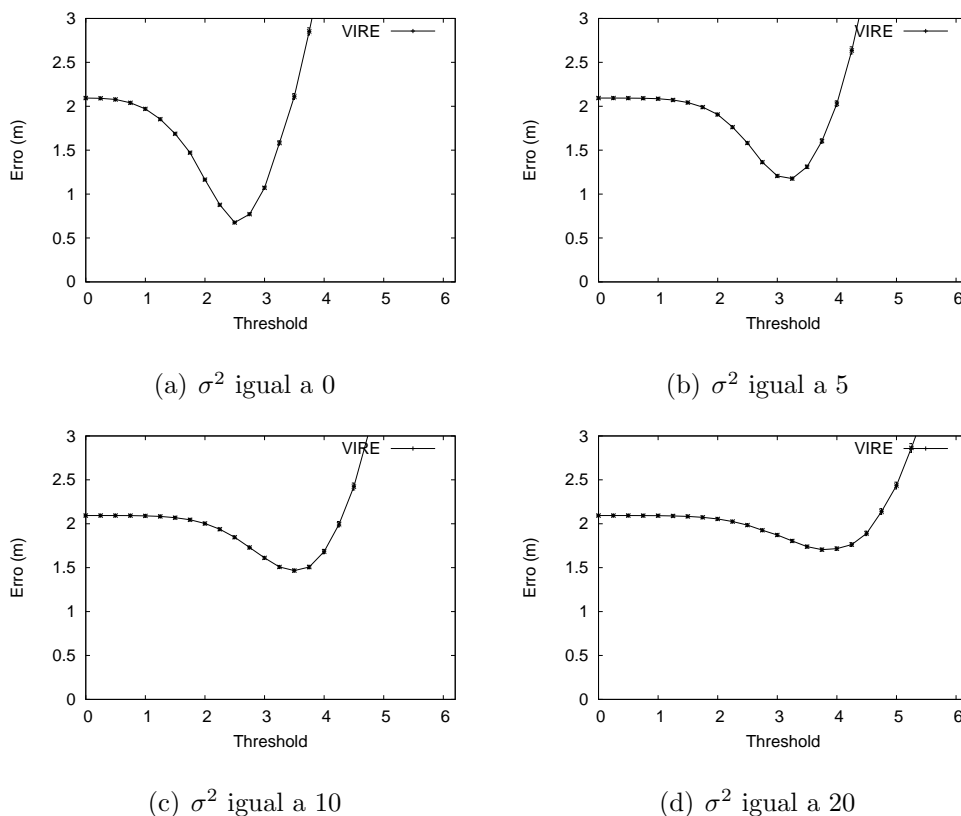


Figura 4.1 *Layout* do ambiente interno estudado.

### 4.3 AVALIAÇÕES E ANÁLISES

Esta seção apresenta os resultados do estudo realizado com o VIRE no cenário descrito na Seção 4.2. O VIRE considera a utilização de um *threshold* fixo para obter as coordenadas de um objeto alvo, sem considerar as condições de variabilidade do RSS no canal e a localização do objeto. A Figura 4.2 apresenta o erro médio para os 9 objetos dispostos no ambiente quando o valor do *threshold* varia, sob diferentes condições de variabilidade de RSS. O valor de  $n$  igual a 9 foi utilizado [Zhao et al. 2007]. Nas Figuras 4.2(a), 4.2(b), 4.2(c) e 4.2(d) quando  $\sigma^2$  é igual a 0, 5, 10 e 20, respectivamente, é possível

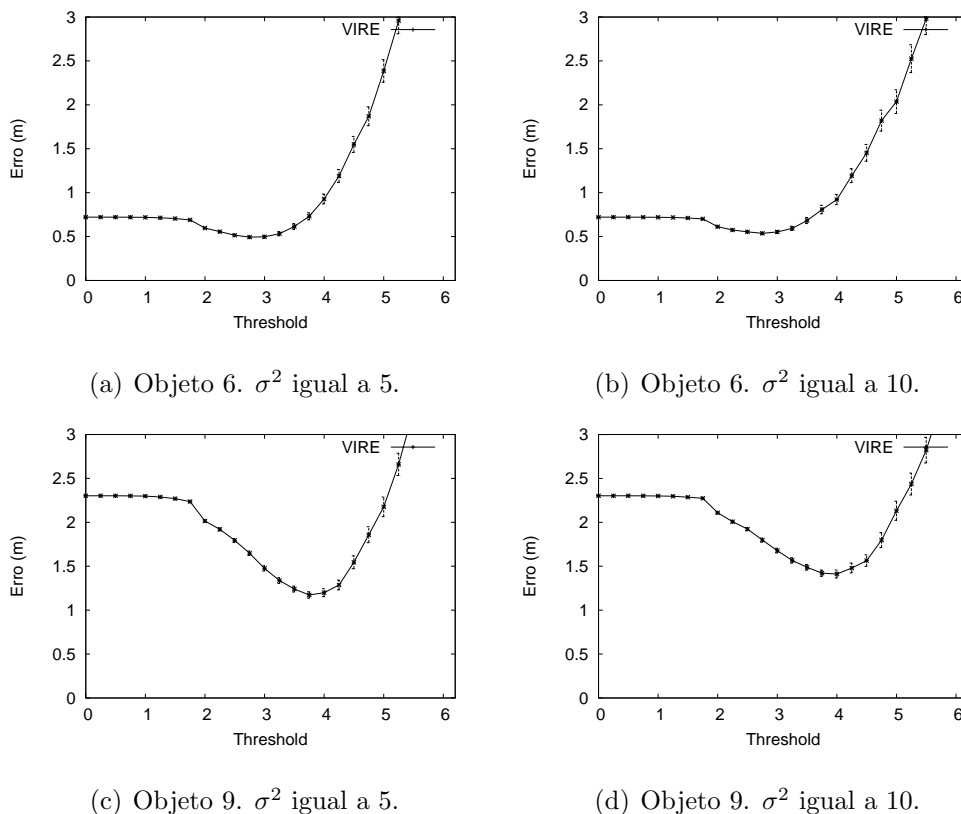
notar que o melhor resultado médio do VIRE em cada condição de variabilidade de RSS, é alcançado com valores de *threshold* diferentes, (2,75), (3,25), (3,75) e (4,0) respectivamente. Portanto, o valor do *threshold* ótimo, ou seja, aquele que fornece o menor erro médio, depende das condições de variabilidade do RSS no canal, que não foi considerada no artigo original.



**Figura 4.2** *Threshold* vs. Erro Médio do VIRE.

Analisando o comportamento do *threshold* para cada um dos 9 objetos foi possível perceber que, além da variabilidade do RSS no canal, a localização do objeto no ambiente determina o valor do *threshold* ótimo. Nas Figuras 4.3(a) e 4.3(c), por exemplo, quando  $\sigma^2$  igual a 5 para os objetos 6 e 9, o valor do *threshold* ótimo seria (2,75) e (3,75), respectivamente. Nas Figuras 4.3(b) e 4.3(d), quando  $\sigma^2$  igual a 10, o valor do *threshold* ótimo para estes objetos seria (2,75) e (4,00), respectivamente. O *threshold* ótimo, portanto, depende da relação de distância que o objeto alvo possui para cada um dos leitores do ambiente, o que sugere que a utilização de um *threshold* fixo não é a melhor alternativa,

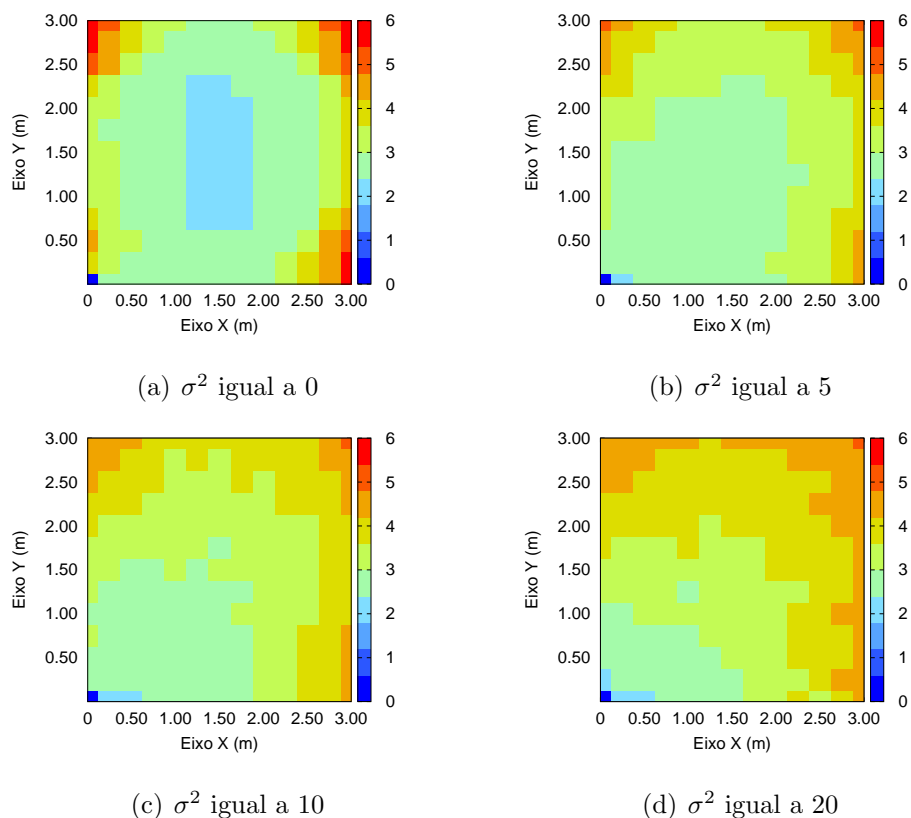
pois o *threshold* ótimo para determinado objeto alvo pode não ser apropriado para outro objeto localizado em uma região diferente no ambiente.



**Figura 4.3** *Threshold* vs. Erro Médio para os objetos 6 e 9.

A Figura 4.4 mostra um *heat map* onde é possível analisar o comportamento do *threshold* no ambiente em diferentes condições de variabilidade do RSS no canal de comunicação. Na Figura 4.4(a), quando  $\sigma^2$  igual a 0, o valor do RSS é fixo para um mesmo par transmissor-receptor estático e a atenuação sofrida pelo sinal depende unicamente da relação logarítmica com a distância entre o transmissor e o receptor. Portanto, o valor do *threshold* ótimo nas regiões centrais do ambiente é menor que o valor do mesmo nas extremidades. Analisando o comportamento do sinal nesse cenário para um dado leitor, é possível perceber que a diferença do valor do RSS entre duas etiquetas, separadas por uma distância  $d$  entre si, é maior quando essas etiquetas estão mais próximas do leitor. Desta forma, o valor do *threshold* ótimo é maior para um objeto localizado próximo a um leitor do que para um objeto distante do mesmo. Como se utiliza um mesmo *th-*

*reshold* para todos os leitores, o valor do *threshold* ótimo para objetos localizados em regiões próximas as extremidades do ambiente é um valor alto, pois na extremidade do ambiente há um leitor posicionado. Nas regiões centrais, como os objetos estão distantes dos leitores das extremidades o valor do *threshold* ótimo para essas regiões é menor.

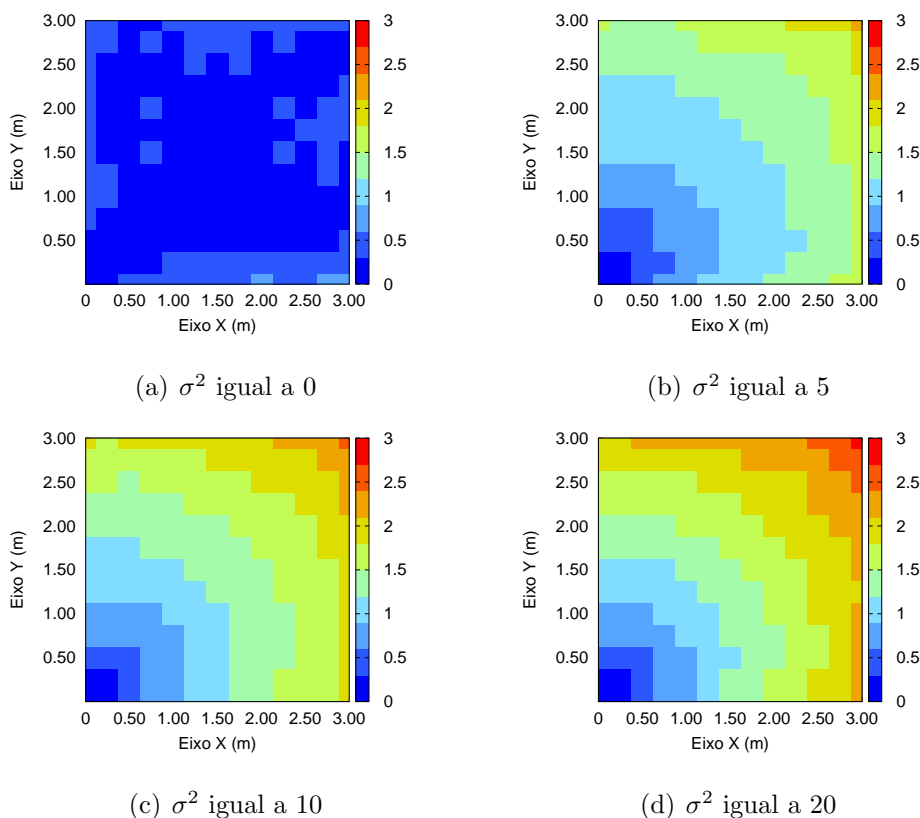


**Figura 4.4** Comportamento do *Threshold* (em cores).

Nas Figuras 4.4(b), 4.4(c) e 4.4(d) quando  $\sigma^2$  é diferente de 0, é possível observar que o valor do *threshold* ótimo é maior à medida que a variabilidade do RSS no canal aumenta, ou seja, quando  $\sigma^2$  aumenta. A existência de mais ruído no ambiente exige um *threshold* maior, que permita acomodar a diferença do valor do RSS entre etiquetas localizadas em regiões próximas no ambiente. Outro fato que pode ser observado é que o valor do *threshold* ótimo é menor para regiões localizadas próximas à origem. Este fato ainda precisa ser melhor analisado em estudos futuros.

A Figura 4.5 mostra um *heat map* onde é possível observar o erro médio de localização do algoritmo do VIRE no ambiente estudado, sob diferentes condições de variabilidade do

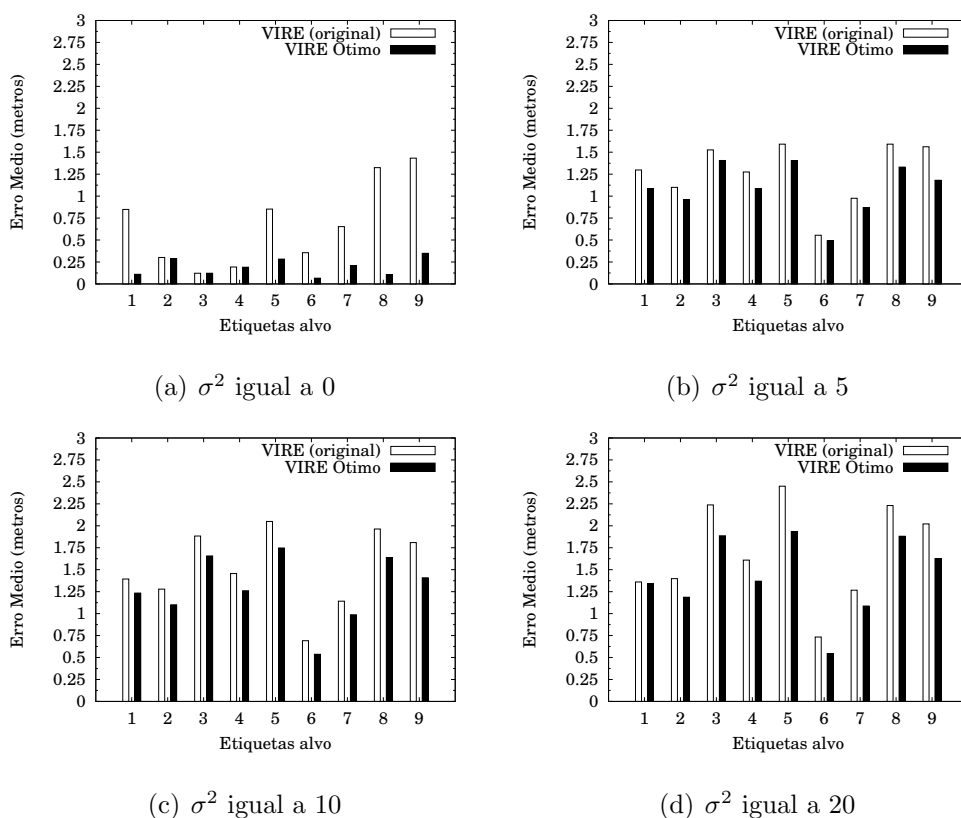
RSS no canal de comunicação. Os resultados apresentados na Figura 4.5 foram alcançados com o uso do threshold ótimo e do parâmetro  $n$  igual a 9. Na Figura 4.5(a), quando  $\sigma^2$  igual a 0, é possível observar que o erro médio de localização do VIRE é inferior a 70 cm, independente de onde o objeto alvo esteja localizado.



**Figura 4.5** Erro médio no ambiente (em cores).

Quando  $\sigma^2$  igual a 5, 10 e 20 e o objeto alvo possui coordenadas  $(x; y)$  igual a  $(0, 25; 0, 50)m$ , por exemplo, o erro médio de localização do VIRE é de  $(0,39)m$ ,  $(0,42)m$  e  $(0,44)m$ , respectivamente. No entanto, ainda considerando  $\sigma^2$  igual a 5, 10 e 20, caso o objeto alvo seja posicionado nas coordenadas  $(3; 2, 75)m$ , por exemplo, o erro médio de localização do VIRE será de  $(1,95)m$ ,  $(2,34)m$  e  $(2,55)m$ , respectivamente. Desta forma, a partir das Figuras 4.5(b), 4.5(c) e 4.5(d) quando  $\sigma^2$  é diferente de 0, é possível observar que à medida em que o objeto alvo se afasta da origem, o erro médio de localização do VIRE aumenta. Se faz necessário um estudo mais detalhado para analisar este fato, considerando outros cenários e outros valores de  $n$ .

A Figura 4.6 apresenta uma comparação da eficiência de localização do VIRE, para os 9 objetos do nosso cenário, quando é utilizado um *threshold* fixo (VIRE (original)), ou seja, o mesmo *threshold* é utilizado para todos os objetos, e quando é utilizado um *threshold* ótimo para cada objeto (VIRE Ótimo), informação obtida a partir da Figura 4.4. Nas Figuras 4.6(a), 4.6(b), 4.6(c) e 4.6(d), por exemplo, é possível notar que para o objeto 8 o fato de não utilizar um *threshold* fixo melhorou a eficiência do VIRE em 92%, 16,5%, 17% e 16%, respectivamente. Portanto, encontrar uma forma de descobrir automaticamente o melhor *threshold* para cada objeto localizado no ambiente é um ponto a ser melhorado no VIRE.

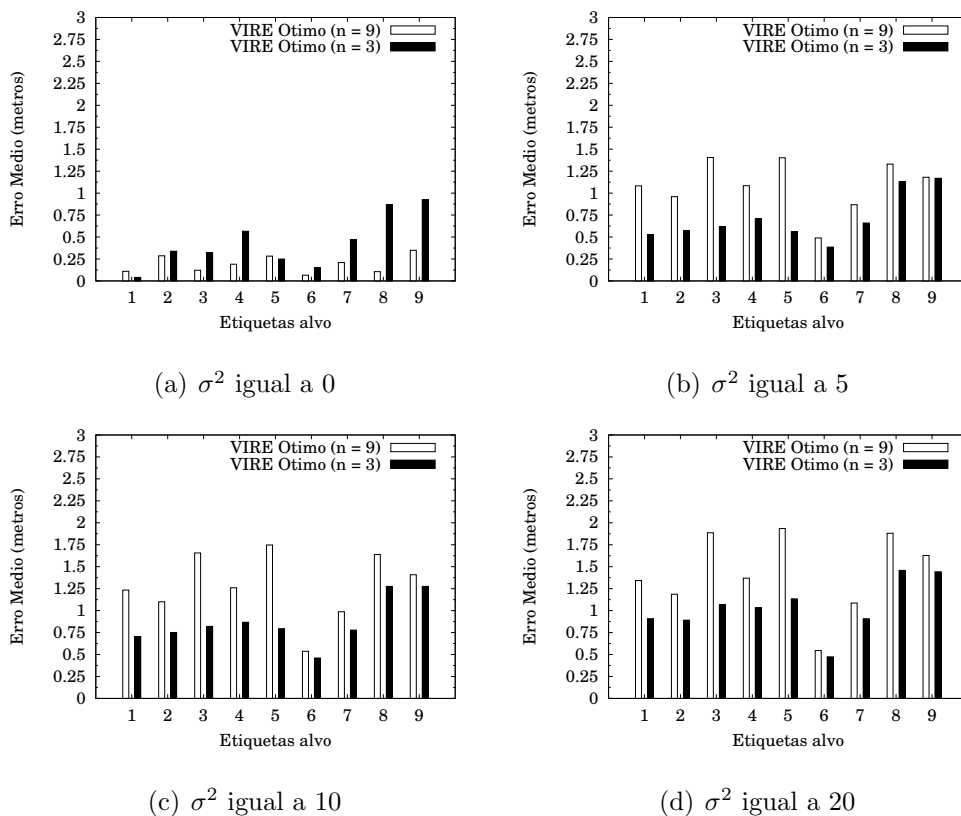


**Figura 4.6** Comparação do VIRE quando o *threshold* é fixo e quando é o ótimo.

Nos resultados observados nas Figuras 4.7 e 4.8, para cada objeto foi utilizado o *threshold* ótimo, ao invés de se utilizar o *threshold* fixo. Com relação a densidade das etiquetas virtuais de referência ( $n$ ), a partir da Figura 4.7(a), quando  $\sigma^2$  igual a 0, é possível perceber que o erro médio de localização para maioria dos objetos é menor



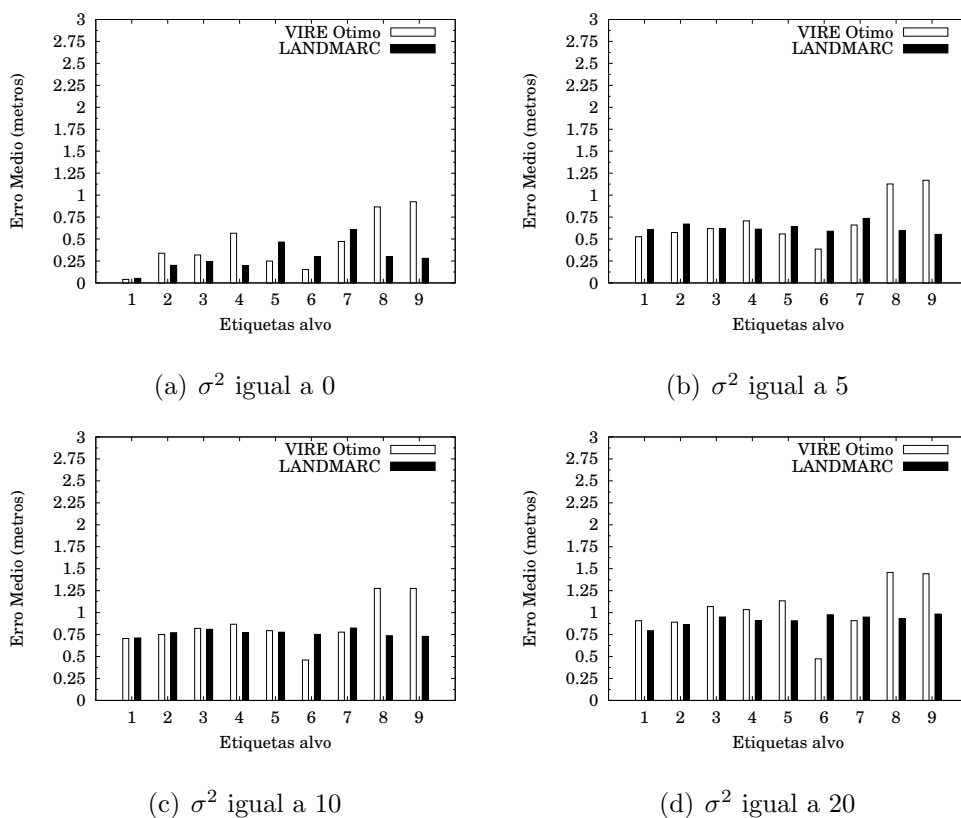
quando  $n$  igual a 9. Para o objeto 4, por exemplo, o erro médio quando  $n$  igual 9 é 66% menor que o erro médio quando  $n$  igual a 3. Nas Figuras 4.7(b), 4.7(c) e 4.7(d), à medida que a variabilidade do RSS no canal aumenta, é possível notar que a melhor escolha seria de  $n$  igual a 3. Ainda considerando o objeto 4, é possível notar que quando  $\sigma^2$  igual a 5, 10 e 20 o erro médio quando  $n$  igual 3 é, respectivamente, 34%, 31% e 24,5% menor que o erro médio quando  $n$  igual a 9. Portanto, o aumento do valor de  $n$  não implica em um aumento na precisão do sistema, como se acreditava. A escolha de um valor apropriado para  $n$  depende das condições de variabilidade do RSS no canal. Portanto, encontrar uma forma de descobrir automaticamente o valor apropriado de  $n$ , em determinadas condições é um ponto a ser melhorado no VIRE.



**Figura 4.7** Comparação do VIRE Ótimo quando  $n = 9$  e  $n = 3$ .

Na Figura 4.8, é feita uma comparação da eficiência do LANDMARC com a eficiência do VIRE quando  $n$  igual a 3, em diferentes condições de variabilidade do RSS no canal. Na Figura 4.8(a), quando  $\sigma^2$  igual a 0, o VIRE apresenta melhor desempenho que o

LANDMARC para os objetos 1, 5, 6 e 7. Na Figura 4.8(b), quando  $\sigma^2$  igual a 5, o VIRE apresenta melhor desempenho que o LANDMARC para os objetos 1, 2, 5, 6 e 7. Na Figura 4.8(c), quando  $\sigma^2$  igual a 10, o VIRE apresenta melhor desempenho que o LANDMARC para os objetos 1, 2, 6 e 7. Na Figura 4.8(d), quando  $\sigma^2$  igual a 20, o VIRE apresenta melhor desempenho que o LANDMARC para os objetos 6 e 7. Como pode ser observado, em alguns cenários a eficiência de localização do VIRE Ótimo é inferior a eficiência de localização do LANDMARC, pois o algoritmo do VIRE depende das condições de variabilidade do RSS no canal e da localização do objeto no ambiente de estudo. Portanto, é necessária a realização de estudos mais detalhados em outros cenários para analisar este fato.



**Figura 4.8** Comparação do VIRE Ótimo ( $n = 3$ ) com o LANDMARC.

#### 4.4 RESUMO

Na Seção 4.1 foi apresentado o modelo empírico de propagação de sinais para ambientes internos *Path Loss* (PL). Na Seção 4.2 foi apresentado o *layout* do ambiente interno estudado, a configuração de posicionamento de leitores e etiquetas e os demais parâmetros de simulação utilizados. Na Seção 4.3 são apresentados os resultados do estudo realizado com o VIRE no cenário descrito na Seção 4.2.

# CONCLUSÕES

Este trabalho realizou uma avaliação de desempenho e análise do sistema de localização RFID VIRE sob diferentes condições de propagação de sinais. O estudo mostrou que a escolha do *threshold* ótimo deve levar em consideração as condições de variabilidade do RSS no ambiente que está sendo estudado. Além disso, utilizar um *threshold* fixo, ou seja, utilizar o mesmo *threshold* para todos os objetos não é a melhor escolha, pois o *threshold* ótimo para determinado objeto alvo pode não ser apropriado para outro objeto localizado em uma região diferente no ambiente. Com relação ao parâmetro  $n$ , o estudo mostrou que um aumento do valor de tal parâmetro não implica em um aumento na precisão do sistema, como se acreditava. A escolha de um valor apropriado para  $n$  depende das condições de variabilidade do RSS no canal, não sendo tão simples como indicavam os estudos anteriores.

Portanto, foi possível identificar que a eficiência de localização do VIRE está intimamente ligada ao posicionamento real do objeto a ser localizado e às condições de variabilidade do RSS. Além disso, foi demonstrado que a melhor abordagem para aumentar a eficiência de localização do sistema VIRE é utilizar um *threshold* dinâmico. Portanto, um dos desafios do VIRE está no desenvolvimento de um método capaz de obter automaticamente o melhor *threshold*, independente do cenário estudado. Além disso, entender a relação existente entre o *threshold* e o  $n$  também representa um importante desafio que será analisado em estudos futuros. Por fim, quando o VIRE Ótimo foi comparado ao LANDMARC, foi possível observar que em alguns cenários a eficiência de localização do VIRE Ótimo foi inferior a eficiência de localização do LANDMARC. Portanto, em estudos futuros serão considerados mais cenários, com diferentes configurações de posicionamento dos leitores e das etiquetas, a fim de investigar esta observação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Bahl and Padmanabhan 2000] Bahl, P. and Padmanabhan, V. (2000). RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System. In *Proc. of IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, volume 2, pages 775–784.
- [Chen and Wang 2010] Chen, X. and Wang, Z. J. (2010). Reliable indoor location sensing technique using active rfid. In *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Mechatronics and Automation (ICIMA)*, pages 160–163.
- [Hsu et al. 2009] Hsu, P.-W., Lin, T., H.H.Chang, Chen, Y., Yen, C., Tseng, Y., Chang, C., Chiu, H., Hsiao, C., Chen, P., Lin, L., Yuan, H., and Chu, W. (2009). Practicality study on the improvement of the indoor location tracking accuracy with active rfid. In *Proceedings of IEEE International Conference on Communications and Mobile Computing (CMC)*, pages 165–169.
- [Jiang et al. 2009] Jiang, X., Liu, Y., and Wang, X. (2009). An Enhanced Approach of Indoor Location Sensing Using Active RFID. In *Proc. of International Conference on Information Engineering (ICIE)*, pages 169–172.
- [Liu et al. 2007] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., and Liu, J. (2007). Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. In *Proceedings of IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, pages 1067–1080.
- [Ng et al. 2011] Ng, W., Ding, H.-L., Chan, P., and Yeung, D. (2011). Efficiency of applying virtual reference tag to neural network based RFID indoor positioning method. In *Proc. of IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, pages 447–453.

- [Ni et al. 2004] Ni, L., Liu, Y., Lau, Y., and Patil, A. (2004). LANDMARC: Indoor Location Sensing using Active RFID. *Wireless Networks*, 10(6):701–710.
- [Polito et al. 2007] Polito, S., D.Biondo, Iera, A., Mattei, M., and Molinaro, A. (2007). Performance Evaluation of Active RFID Location Systems Based on RF Power Measures. In *Proc. of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pages 1–5.
- [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.
- [Shi et al. 2010] Shi, W., Liu, K., Ju, Y., and Yan, G. (2010). An Efficient Indoor Location Algorithm based on RFID Technology. In *Proc. of International 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 *Proc. 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.
- [Tanenbaum and Wetherall 2011] Tanenbaum, A. S. and Wetherall, D. J. (2011). *Redes de Computadores*. Pearson, 5nd edition.
- [Want 2004] Want, R. (2004). The Magic of RFID. *Queue*, *portal.acm.org*, 2:40–49.
- [Yihua et al. 2009] Yihua, H., Shilei, L., Zongyuan, L., Wang, J., and Shi, J. (2009). The topology analysis of reference tags of rfid indoor location system. In *Proceedings*

- of *IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST)*, pages 313–317.
- [Yihua et al. 2008] Yihua, H., Zongyuan, L., and Guojun, L. (2008). An improved bayesian-based rfid indoor location algorithm. In *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Science and Software Engineering*, pages 511–514.
- [Zhang et al. 2010] Zhang, X., Peng, J., and Cao, X. (2010). RFID Indoor Localization Algorithm Based on Dynamic Netting. In *Proc. of International Conference on Computational and Information Sciences (ICCIS)*, pages 428–431.
- [Zhao et al. 2007] Zhao, Y., Liu, Y., and Ni, L. (2007). VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination. In *Proc. 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 *Proc. of International Conference on Wireless Communications, Networking, and Mobile Computing (WiCOM)*, pages 1–4.