



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE INFORMÁTICA

MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Pós-Graduação em Ciência da Computação

**ALGORITMOS DE LOCALIZAÇÃO DE ETIQUETAS RFID EM
BIBLIOTECAS BASEADAS NA INTERNET DAS COISAS**

Rony Joab do Nascimento

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RECIFE

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Rony Joab do Nascimento

**ALGORITMOS DE LOCALIZAÇÃO DE ETIQUETAS RFID EM
BIBLIOTECAS BASEADAS NA INTERNET DAS COISAS**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Doutor Paulo André da Silva Gonçalves

RECIFE

2016

Dedico este trabalho às pessoas que são responsáveis por toda a minha história: Aos meus pais, Severino Francisco do Nascimento e Maria José Neves do Nascimento, que me puseram no mundo e fizeram de mim o homem que sou; e à minha esposa Rosália Maria Augusta de Almeida do Nascimento, que me apoia em tudo e me inspira a tentar ser uma pessoa melhor a cada dia

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por tudo o que ele me concedeu: a vida, a minha fé, minha família e todas as oportunidades maravilhosas com as quais fui abençoado durante toda a minha jornada. E por todas as vezes que o simples fato de confiar nele me deu forças para encarar novos desafios.

Gostaria também de agradecer aos meus pais, Severino Francisco e Maria José Neves, por terem me concebido, me educado e, acima de tudo, por me amarem da forma que eu sinto que me amam. Agradeço, ainda, por serem, para mim e para os que o cercam, exemplos de seres humanos de caráter e por me fazerem, através dos seus exemplos, acreditar que ser justo, honesto e bom sempre valerá a pena, mesmo que toda a sociedade ao redor tente me provar o contrário.

Também gostaria de agradecer a minha melhor amiga e esposa Rosália Maria, por me consolar quando estive preocupado, por me fazer rir quando tive triste, por me motivar quando pensei em desistir, por me dar a honra de passar a vida ao seu lado e poder sonhar com um futuro ainda melhor. Foram dias complicados e difíceis, mas com você ao meu lado tenho a impressão de que tudo é possível, amo você e muito obrigado C.P.M.

Gostaria de agradecer também ao professor Paulo Gonçalves, pela paciência e atenção nas correções, pelos sábios conselhos que me foram dados, enfim por me mostrar o melhor caminho para seguir nesta jornada e também pela confiança em aceitar ser meu orientador.

Agradeço agora a todos os meus familiares e amigos que acreditam em mim e me apoiam, principalmente meu irmão Robson Raabi, que pra mim sempre foi um exemplo, por todas as conversas, conselhos e risadas nos momentos que estivemos juntos, valeu meu irmão. Agradecer a toda turma do MProfRedes2014 por terem dividido comigo esta jornada, principalmente aos “Pôneis”: Danyel, David, Leonardo e Willamys. Aos companheiros de trabalho da FDR, por todo o apoio.

Enfim agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para mais esta conquista na minha vida.

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.

Leonardo da Vinci.

RESUMO

A identificação automática de objetos na Internet das Coisas vem sendo suportada por sistemas RFID (Radio Frequency IDentification) e por redes de sensores. Outra aplicação para RFID na Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) é a localização automática de objetos através de medidas de força de sinal. O desafio está em prover algoritmos que minimizem erros de localização de acordo com o ambiente e objetos de interesse e condições de propagação de sinais. Esta dissertação propõe dois algoritmos de localização para sistemas RFID: VIRE-R e LANDMARC 2. A precisão desses algoritmos é avaliada em cenários de localização de livros com etiquetas passivas em bibliotecas e confrontada com a obtida por outras propostas no estado da arte. Estes cenários estão entre os mais desafiadores para algoritmos de localização interna baseados em força de sinal. Os experimentos foram realizados com o uso de simulação, onde foram modeladas duas bibliotecas pertencentes ao Sistema de Bibliotecas da UFPE e com diferentes configurações de posicionamento de leitores e etiquetas. Este trabalho contribui apresentando avaliações de desempenho em cenários específicos de bibliotecas, indicando um melhor posicionamento da infraestrutura de leitores e etiquetas, e um algoritmo, o LANDMARC 2, que possui desempenho igual ou superior aos outros algoritmos estudados.

Palavras-chave: RFID, Sistema de Localização, Desempenho, IoT.

ABSTRACT

The automatic identification of objects over the Internet of Things has been supported by the use of RFID (Radio Frequency Identification) systems and sensor networks. Another application for RFID over the Internet of Things (IoT) is the automatic location information of the objects through signal strength measurements. The challenge is providing algorithms that minimize location errors in accordance with the environment where objects are placed and signal propagation conditions. In this dissertation we propose two algorithms to support location applications based on RFID: VIRE-R e LANDMARC 2. The precision of these algorithms is evaluated under location library-specific scenarios with passive tags in books and compared to the precision of other algorithms in the literature. These scenarios are very challenging for signal-strength based algorithms. These scenarios are very challenging for signal-strength based algorithms. The experiments were performed with the use of simulation, which were modeled two libraries belonging to the UFPE Library System with different positioning settings for readers and tags. This work contributes by providing a performance evaluation on library-specific scenarios, showing a better positioning for reader and tags in such an environment, and an algorithm, LANDMARC 2, that has performance equal or superior to other approaches studied.

Keywords: RFID, Location System, Performance, IoT.

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 – Motivação.....	1
1.2 – Objetivos	6
1.3 – Contribuições Esperadas	7
1.4 – Organização.....	7
Capítulo 2 – IoT em Bibliotecas	9
2.1 – IoT	9
2.2 – Bibliotecas Inteligentes	17
2.3 – Sistemas de Localização	20
2.3.1 – Triangulação	20
2.3.2 – Proximidade.....	23
2.3.3 – Análise de Cena	25
2.3.4 – Sistemas de Localização em Biblioteca.....	26
2.4 – Resumo do Capítulo	27
Capítulo 3 – Identificação por Radiofrequência	28
3.1 – Tipos de Etiqueta RFID	29
3.2 – Frequências de Operação	30
3.3 – Leitores RFID	30
3.4 – Padrões	32
3.5 – Sistemas de Localização RFID	33
3.5.1 – LANDMARC	33
3.5.2 – LANDMARC-D	36
3.5.3 – VIRE	37
3.5.4 – COCKTAIL	41
3.5.5 – LOCTREC	41
3.6 – Resumo do Capítulo	42

Capítulo 4 – Sistemas de Localização Propostos	45
4.1 – Propagação de Sinal RFID em Ambiente de Biblioteca.....	45
4.2 – Sistemas Propostos.....	48
4.2.1 – LANDMARC 2	48
4.2.2 – VIRE-R.....	52
4.4 – Resumo do Capítulo.....	54
Capítulo 5 – Simulador e Avaliação de Desempenho	56
5.1 – Modelagem do Canal de Propagação.....	57
5.2 – Parâmetros de Simulação	58
5.3 – Validação do Simulador.....	59
5.4 – Cenários e Metodologia de Avaliação	63
5.5 – Avaliação de Desempenho.....	71
5.5.1 – Comparação de Cenários	71
5.5.2 – Comparação dos Algoritmos	74
5.5.2.1 – Resultados das Simulações na BIB CCJ	74
5.5.2.2 – Resultados das Simulações na BIB CCEN	77
5.5.2.3 – Avaliação Geral dos Resultados.....	80
5.6 – Resumo do Capítulo.....	81
Capítulo 6 – Conclusões	82
Referências	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicações RFID em biblioteca.....	4
Figura 2 – Ordem dos livros nas estantes	6
Figura 3 - Camadas da Arquitetura IoT.....	12
Figura 4 - Localização com o Smart Floor.....	24
Figura 5 - Mapa de intensidade de sinal gerado na fase off-line.....	24
Figura 6 - Configuração de um Sistema RFID	28
Figura 7 - Exemplos de Etiquetas RFID.....	29
Figura 8 - Exemplos de Leitores RFID	31
Figura 9 - Grade de 4 etiquetas reais e com $n = 3$	38
Figura 10 - Processo de Montagem dos mapas dos leitores do VIRE.....	39
Figura 11 - Seleção das etiquetas vizinhas do LOCTREC.....	42
Figura 12 - Fenômenos físicos das ondas.....	46
Figura 13 - Ambientes de bibliotecas	47
Figura 14 - Funcionamento do LANDMARC 2.....	51
Figura 15 - Funcionamento do VIRE-R	53
Figura 16 - Configuração do experimento realizado no artigo (YU et al. 2015)	60
Figura 17 - Validação com os resultados da simulação no artigo (YU et al. 2015).....	61
Figura 18 - Resultado da simulação do experimento para diversas variâncias	62
Figura 19 - Validação com os resultados práticos do artigo (YU et al. 2015)	62
Figura 20 - Planta baixa da Biblioteca do CCJ.....	64
Figura 21 - Planta baixa da Biblioteca do CCEN.....	64
Figura 22 - Configuração de Leitores #1 (L1).....	65
Figura 23 - Configuração de Leitores #2 (L2).....	66
Figura 24 - Configuração de Leitores #3 (L3).....	66

Figura 25 - Configuração de Etiquetas #1 (E1).....	67
Figura 26 - Ilustração da colocação das etiquetas em relação à altura	68
Figura 27 - Configuração de Etiquetas #2 (E2).....	68
Figura 28 - Configuração de Etiquetas #3 (E3).....	69
Figura 29 - Gráfico com o erro médio dos algoritmos para os cenários da BIB. CCJ	72
Figura 30 - Gráfico com o erro médio dos algoritmos para os cenários da BIB. CCEN	73
Figura 31 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCJ com Gamma 1,81	75
Figura 32 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCJ com Gamma 3,54	76
Figura 33 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCJ com Gamma 5,22	77
Figura 34 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCEN com Gamma 1,81.....	78
Figura 35 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCEN com Gamma 3,54.....	79
Figura 36 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCEN com Gamma 5,22.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos das Tecnologias dos Elementos da IoT	14
Tabela 2. Características dos algoritmos de localização encontrados na literatura.....	43
Tabela 3. Características dos algoritmos utilizados no trabalho	55
Tabela 4 - Parâmetros do canal utilizados nas simulações.....	59
Tabela 5 - Parâmetros do Canal usados no primeiro conjunto de simulações	70
Tabela 6 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCJ com Gamma 1,81.....	75
Tabela 7 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCJ com Gamma 3,54.....	75
Tabela 8 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCJ com Gamma 5,22.....	76
Tabela 9 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCEN com Gamma 1,81	77
Tabela 10 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCEN com Gamma 3,54.....	78
Tabela 11 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCEN com Gamma 5,22	79

LISTA DE ACRÔNIMOS

- AoA - Angle of Arrival.** 22.
- ASK - Amplitude Shift Keying.** 58.
- EPC - Electronic Product Code.** 14, 32, 61.
- EXI - Efficient XML Interchange.** 14.
- FNR - Forsake Nearest Reader.** 36.
- FNR-NW - Forsake Nearest Reader with Normalized Weights.** 36.
- FTTx - Fiber To The x.** 12.
- GPS - Global Positioning System.** 2, 11.
- GSM - Global System for Mobile communications.** 15
- HF - High Frequency.** 30.
- IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers.** 2, 14, 24-26.
- IoT - Internet of Things.** 1-3, 6-19, 27, 45, 82-83.
- IP - Internet Protocol.** 1, 9, 12.
- IPv6 - Internet Protocol versão 6.** 12, 14.
- ISM - Industrial Scientific Medical.** 30.
- ISO - International Standarts Organizations.** 32.
- KNN - N-Nearest Neighbors.** 34-35.
- LF - Low Frequency.** 30.
- LTE-A - Long-Term Evolution Advanced.** 14.
- M2M - Machine to Machine.** 15.
- MEMS - Micro-Electro-Mechanical Systems.** 2.
- NFC - Near Field Communication.** 14-15.
- NW - Normalized Weighting.** 36.
- OSI - Open Systems Interconnection.** 13.

OWL - *Ontology Web Language.* 14.

RAM - *Random Access Memory.* 29.

RDF - *Resource Description Framework.* 14.

RFID - *Radio Frequency Identification.* 2-7, 9-11, 14, 18-20, 27-33, 41-42, 45-48, 54, 56, 61, 65, 82-84.

ROM - *Read-Only Memory.* 29.

RSS - *Received Signal strength.* 25, 33-41, 43, 55, 83.

TCP - *Transmission Control Protocol.* 1, 9, 12.

TDoA - *Time Difference of Arrival.* 21-23.

ToA - *Time of Arrival.* 21-22.

UHF - *Ultra High Frquency.* 30, 61, 65.

UMTS - *Universal Mobile Telecommunications System.* 12.

WiFi - *Wireless Fidelity.* 3, 12, 14-15, 26-27.

WLANS - *Wireless Local Area Network.* 24.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Segundo Perera e outros (2014), a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) pode ser definida como uma rede mundial de objetos interconectados e exclusivamente endereçáveis, com base em determinados protocolos de comunicação. A IoT se apresenta como um paradigma da computação que utiliza diversos conceitos e características de outras áreas desta ciência e tem como visão permitir que objetos sejam capazes de se comunicar com o mínimo de intervenção humana. As possibilidades de aplicações da IoT são enormes e nos últimos anos têm atraído o interesse dos mais diversos setores da sociedade, como, por exemplo, grupos de proteção ao meio ambiente, o setor industrial, o mercado e a academia.

A partir desse conceito de comunicação independente dos objetos, surge o termo de objetos inteligentes, uma vez que os mesmos são capazes de interagir entre si e com o ambiente de forma autônoma. Assim, estes dispositivos precisam possuir a capacidade de se autoidentificarem na rede e esta característica pode ser explorada para outro tipo de aplicação, que é a autolocalização de objetos. Aplicações com esta finalidade atendem as mais diversas áreas, desde geolocalização até gestão de acervos de bibliotecas, passando por localização de pacientes em ambientes hospitalares e controle de rotas veiculares.

1.1 MOTIVAÇÃO

Segundo Kurose e Ross (2010), o início da comunicação entre dois computadores data do início dos anos 60, juntamente com o crescimento das pesquisas em torno de comutação de pacotes. No início da década de 70, já existiam algumas redes independentes pelo mundo e assim foi percebido o momento ideal para o desenvolvimento de uma tecnologia capaz de interconectar estas redes. Com isso, no final da década de 70 e início dos anos 80, é criada a pilha de protocolos TCP/IP, os principais protocolos desta pilha são: o Protocolo de Controle de Transmissão (*Transmission Control Protocol* - TCP) e o Protocolo de Internet (*Internet Protocol* - IP). Assim, o número de computadores interconectados nesta rede, que representava o começo da Internet, passou de aproximadamente duzentos no final da

década de 70, para mais de cem mil no final da década de 80. No início dos anos 90, surge a *World Wide Web* que populariza a Internet, levando-a para os lares e empresas de milhões de pessoas pelo mundo. A segunda metade da década de 90 foi um período de grande crescimento e inovação para a Internet, fazendo com que a *Web* desse suporte a várias aplicações. Nos anos 2000, continuaram os avanços na área de redes de computadores, como a popularização de redes de alta velocidade, incluindo o acesso sem fio, redes P2P, entre outros.

Com todo esse desenvolvimento, foi possível que os mais diversos dispositivos se conectassem à Internet, criando o que chamamos de IoT (PERERA et al., 2014). O termo IoT foi cunhado em 1998 por Kevin Ashton, quando ele mencionou que: “A Internet das Coisas permite que pessoas e coisas possam estar conectados a qualquer hora, em qualquer lugar, com qualquer coisa e qualquer um, de preferência usando qualquer caminho de rede e qualquer serviço” (KEVIN, 2009; PERERA; LIU; JAYAWARDENA, 2015; VERMESAN et al., 2011).

De forma genérica, pode-se dizer que a IoT é uma rede de redes, onde, normalmente, um grande número de objetos/coisas/sensores/dispositivos está conectado através de uma infraestrutura de comunicação para fornecer serviços de valor agregado. Como destacado na definição, conectividade entre os dispositivos é uma funcionalidade crítica que é necessária para cumprir a visão da IoT. Ela promete criar um mundo onde todos os objetos ao nosso redor estarão ligados à Internet e poderão se comunicar uns com os outros com o mínimo de intervenção humana.

Segundo Dohr e outros (2010), existem três conceitos em tecnologia da informação e comunicação que estão fortemente ligados ao desenvolvimento da IoT:

- Conectividade Ubíqua – representa a possibilidade de se conectar à Internet a qualquer hora e em qualquer lugar;
- Computação Pervasiva – é a ideia de que sempre existirá um dispositivo com capacidade de processamento disponível para que seja realizada alguma atividade;
- Ambiente Inteligente – significa a capacidade de dispositivos perceberem alterações no ambiente e interagirem de forma ativa nesse processo.

As principais tecnologias presentes nos dispositivos que compõe a IoT são: identificação por radiofrequência (*Radio Frequency Identification* – RFID), sistema de posicionamento global (GPS), redes de sensores, sistemas microeletromecânicos (MEMS) e conectividade sem fio através de redes celulares ou dispositivos baseados no padrão IEEE

802.11, conhecidos como dispositivos WiFi (*Wireless Fidelity*). (AL-FUQAHA et al., 2015; DOHR et al., 2010; PERERA et al., 2014).

O domínio das aplicações da IoT pode ser, basicamente, dividido em três focos: indústria, ambiente e sociedade. Como exemplos de aplicações em indústrias temos: dispositivos de automação industrial, controle de estoque inteligente e aviação. No que diz respeito a aplicações com foco na sociedade temos: casas inteligentes, telecomunicações, entretenimento sob demanda e tecnologias médicas. E aplicações no meio ambiente envolvem: reciclagem, distribuição energética inteligente, aplicações na agricultura e pecuária. (AL-FUQAHA et al., 2015; PERERA et al., 2014).

Também podemos observar alguns tipos de serviços que se adequam aos avanços tecnológicos proporcionados pela evolução da IoT como, por exemplo, as bibliotecas, principalmente as universitárias. As bibliotecas têm se modificado e se reinventado para que continuem a cultivar seu *status* de “provedoras do conhecimento” (BEM; COELHO, 2016). Para isso, é cada vez mais comum o uso de tecnologias na facilitação do acesso à informação por parte destas instituições. Para as bibliotecas, além do potencial conectivo que promove entre sujeitos, informações e contextos, a IoT permite também identificar e interpretar as ações dos usuários (MOURA, 2016). Nesse aspecto, a adequação das mesmas ao novo panorama tecnológico se torna necessária. Algumas das tecnologias citadas anteriormente, que compõe a IoT, podem ser utilizadas nas bibliotecas, como os dispositivos de conexão sem fio, que são utilizados para permitirem que os usuários da biblioteca possam se conectar à Internet, ou redes de sensores, que permitem um controle automático de condições físicas do ambiente, como temperatura e iluminação. Uma tecnologia que vem sendo amplamente utilizada em bibliotecas é a RFID (COYLE, 2005; PANDEY; MAHAJAN, 2012), tanto pelo seu baixo custo de implantação quanto por sua aplicabilidade no que diz respeito à identificação do acervo da biblioteca.

RFID é uma tecnologia-chave que impulsiona a evolução na área da IoT. Segundo Silva e Gonçalves (2011), um sistema RFID básico é composto por um leitor, uma ou mais etiquetas que são colocadas em objetos de interesse e um sistema de processamento de dados. As etiquetas armazenam um identificador (ID) único e cada uma delas funciona como um *transponder* que recebe requisições do leitor e, de acordo com o protocolo de comunicação empregado, responde com o seu ID. RFID é uma tecnologia de comunicação sem fio que usa ondas de radiofrequência para transferir informações de identificação entre etiquetas e leitores sem a necessidade de linha de visada direta, ou seja, mesmo que exista algum obstáculo entre eles, fornecendo um meio de identificação automática (SHENG; LI; ZHEADALLY, 2008).

Segundo Bardaki et al. (2010), nos últimos anos, o uso comercial desta tecnologia vem se expandindo e isso deve ser atribuído principalmente à diminuição dos custos de aquisição dos dispositivos desta tecnologia e à disponibilidade de serviços e funcionalidades relacionadas. Atualmente, a RFID está surgindo como uma tecnologia importante para revolucionar uma vasta gama de aplicações, incluindo a gestão de bibliotecas, vendas de varejo, instrumento antipirataria e cuidados de saúde (DOBKIN, 2012).

Em um sistema de gerenciamento de biblioteca com RFID, os livros são marcados individualmente com etiquetas que armazenam um código identificador do exemplar. Segundo Pandey e Mahajan (2012), são várias as aplicações do uso da tecnologia RFID em ambiente de bibliotecas, como ilustradas na Figura 1 e descritas em seguida.

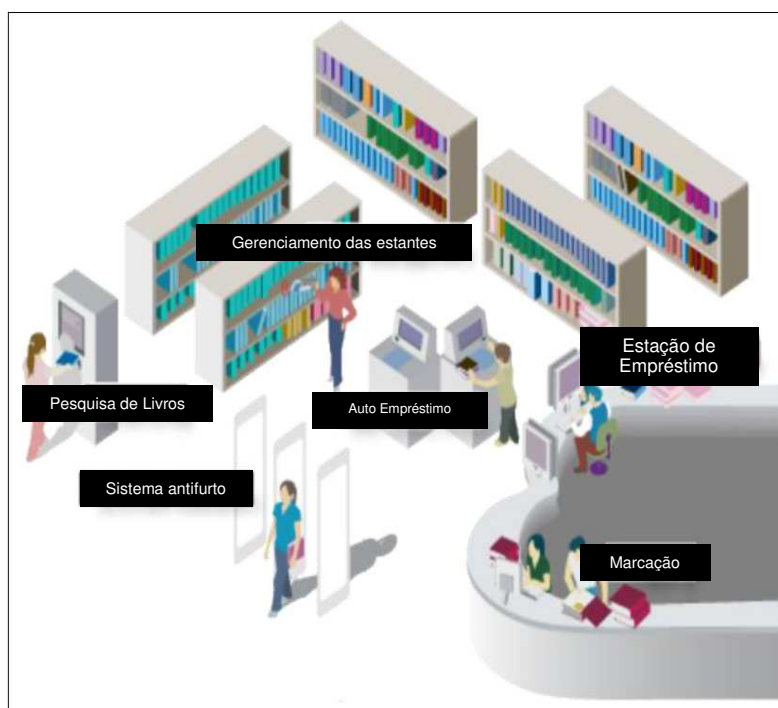


Figura 1 - Aplicações RFID em biblioteca.

Fonte: Pandey e Mahajan (2012).

- RFID melhora o fluxo de trabalho da biblioteca, uma vez que permite o autoatendimento do usuário em serviços como empréstimo e renovação dos livros;
- Reduz os processos de trabalho sem valor agregado, pois, com a autoidentificação dos livros, todo o histórico dos exemplares é registrado de forma automatizada, o que otimiza o armazenamento e recuperação das informações do acervo;

- Melhora a produtividade da equipe à medida que permite que o usuário tenha uma atuação maior na obtenção do serviço e facilita a interação da equipe com os livros;
- Auxilia a verificação de inventário, aumentando a precisão e agilizando o processo, uma vez que leitores RFID podem consultar diversas etiquetas de forma simultânea e conferir a presença, ou não, da mesma no ambiente da biblioteca;
- Auxilia a rastreabilidade de alocação dos livros no momento da guarda, pois facilita para o funcionário consultar a codificação dos diversos exemplares que estão armazenados em uma estante e, assim, verificar se estão no lugar correto;
- A tecnologia RFID pode ser utilizada em dispositivos antifurto, o que resulta na redução de perda de exemplares e conseqüentemente na diminuição de compra de livros;
- Permite uma melhor precisão na gestão dos livros, o que gera melhores dados no momento de se decidir pela compra, ou não, de novos livros;
- A capacidade de localizar itens específicos dentro do acervo através de uso de sistemas de localização *indoor*.

Este último item é de fundamental importância, uma vez que, se não é possível localizar exemplares dentro do acervo de uma biblioteca, toda a sua função é comprometida. Dentro do ambiente de bibliotecas, existe um padrão na organização do acervo, através do qual os livros são ordenados com base no método de organização adotado, visando facilitar o correto armazenamento e a busca por exemplares, como ilustrado na Figura 2. Existem vários métodos de organização de bibliotecas, sendo que cada um deles adota um critério diferente para organizar fisicamente os livros (ou qualquer outro material) no espaço (INSTITUTO BRASILEIRO SOLIDÁRIO, 2011). Porém, por diversos motivos, essa ordem de armazenamento pode não ser obedecida. Isso dificulta que determinado exemplar seja encontrado e até mesmo facilita sua perda. Para exemplificar os fatores que podem contribuir para desorganização do acervo, podemos citar alunos que fazem pesquisas e não devolvem os livros aos mesmos locais onde os encontraram, a falta de atenção no momento da guarda, a grande quantidade de pessoas trabalhando nesse processo, acervo dividido em mais de um ambiente, entre outros.

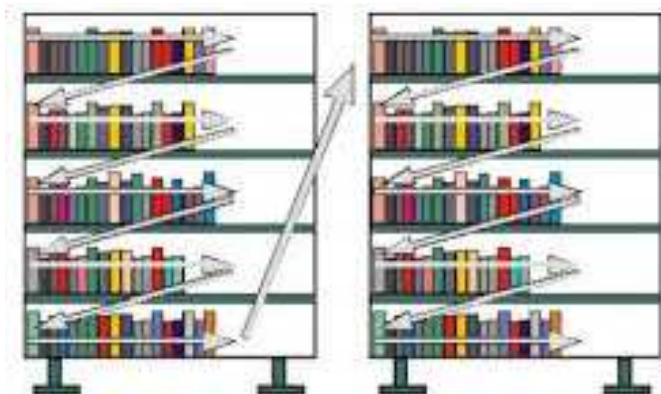


Figura 2 - Ordem dos livros nas estantes.

Fonte: <http://biblioteca.if.ufrj.br/acervo/organizacao>.

Uma aplicação para a RFID na IoT é, justamente, a localização automática de objetos através de medidas de força de sinal. A identificação automática de objetos na IoT é fundamental para as aplicações e vem sendo suportada tanto pelo uso da tecnologia RFID, quanto pelo uso de redes de sensores. São diversas as pesquisas que visam à construção de sistemas com o objetivo de localização de pessoas ou objetos em tempo real (DAO; LE; NGUYEN, 2014; DIAN; KEZHONG; RUI, 2015; WING et al., 2011; SEYYEDI, 2014; YEH; SU, 2013; YU; CHEN; HSIANG, 2015).

O desafio no desenvolvimento desse tipo de sistema está na elaboração de algoritmos que minimizem erros de localização de acordo com o ambiente onde estão localizados os objetos de interesse e de acordo com condições de propagação de sinais. Devido às suas características os cenários de bibliotecas estão entre os mais desafiadores para a localização de objetos com RFID. Nesses cenários, o acervo etiquetado com RFID está localizado numa área com diversas estantes próximas e, geralmente, de metal. Esses fatores são problemáticos, visto que, além do metal atrapalhar a propagação de sinais, erros de localização da ordem de metros, típicos dos algoritmos de localização baseados em força de sinal, dificultam definir a estante e prateleira onde cada livro se encontra (PITUKWERAKUL; SUPANAKOON; PROMWONG, 2010). Além disso, cenários de biblioteca sofrem alterações, de forma muito dinâmica, que interferem nas condições de variabilidade de propagação de sinais no meio de comunicação, que por sua vez possuem impacto no desempenho dos algoritmos de localização baseados em força de sinal (FRANÇA NETO; GONÇALVES, 2012).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é propor algoritmos para melhorar o desempenho de sistemas de localização de etiquetas RFID em bibliotecas baseadas em conceitos de IoT. Um sistema para operar neste tipo de ambiente precisa ser desenvolvido levando em consideração todas as suas especificidades para, assim, adequar-se ao máximo a infraestrutura existente nas bibliotecas atuais. Para atender ao objetivo geral deste trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar a forma de adequação das bibliotecas atuais à IoT, principalmente à tecnologia de identificação por radiofrequência;
- Estudar possíveis cenários de posicionamento de leitores e etiquetas RFID de referência de forma que contribuam com o desempenho de sistemas de localização;
- Analisar o desempenho de algoritmos de localização baseados em RFID encontrados na literatura.

1.3 CONTRIBUÇÕES ESPERADAS

Com este trabalho se espera as seguintes contribuições:

- Apresentar algoritmos de localização baseados em RFID que aumentem a acurácia¹ do sistema, de forma que ele possa ser utilizado para localizar livros em cenários de bibliotecas.
- Apresentar uma avaliação de desempenho de sistemas de localização baseados em RFID em ambientes específicos de biblioteca, indicando um melhor posicionamento para instalação de leitores e etiquetas de referência.

1.4 ORGANIZAÇÃO

A sequência desta dissertação está organizada como indicado a seguir. No Capítulo 2 é feita uma descrição mais aprofundada sobre a IoT e sua aplicabilidade em ambiente de biblioteca, principalmente, no que se refere à autolocalização de exemplares com o uso da tecnologia RFID. No Capítulo 3 são mostrados alguns conceitos da tecnologia RFID, bem como é feito um levantamento do estado da arte no que se refere a sistemas de localização com essa tecnologia. O detalhamento do problema abordado e dos algoritmos propostos nesta pesquisa é encontrado no Capítulo 4. Já no Capítulo 5 é apresentado o detalhamento e a

¹ Acurácia é o quão próximo uma posição estimada está da posição real de um objeto, ou seja, quanto menor a distância entre a posição estimada e a real, maior é a acurácia.

validação das simulações empreendidas neste estudo. Neste mesmo capítulo, são detalhados os parâmetros das simulações e apresentados os resultados dos experimentos, juntamente com a avaliação de desempenho dos algoritmos, comparando o desempenho por cenários e comparando seus desempenhos entre si. E por fim, as conclusões desta dissertação são apresentadas no Capítulo 6.

CAPÍTULO 2

IOT EM BIBLIOTECAS

A pesquisa da qual este trabalho trata está relacionada a sistemas de localização em bibliotecas baseadas em Internet das Coisas. Sendo assim, este capítulo se destina a introduzir conceitos de IoT e de suas aplicações em bibliotecas. Na Seção 2.1 será feita uma explanação mais aprofundada sobre os conceitos, aplicações e as tecnologias relacionadas com o paradigma IoT. Além disso, será apresentado um levantamento sobre as arquiteturas de *software* e *hardware* utilizados. A Seção 2.2 apresenta as aplicações da IoT em ambientes de bibliotecas, além de conceituar a importância da localização de exemplares na prestação de serviços da biblioteca. Para finalizar este capítulo, na Seção 2.3 será feito um levantamento sobre sistemas de localização, com o objetivo de justificar os sistemas escolhidos nesta pesquisa e facilitar a compreensão dos demais capítulos.

2.1 IOT

Muitas foram as formas utilizadas para definir a IoT nos últimos anos. Para Kevin (2009), a Internet das Coisas é definida como um ambiente onde as coisas têm identidades e personalidades virtuais que operam em espaços inteligentes, utilizando interfaces inteligentes para se conectar e se comunicar dentro de contextos sociais, ambientais, e do usuário. Já Bassi e Horn (2008) dizem que a origem semântica da expressão é composta por duas palavras e conceitos: Internet e Coisa, em que a Internet pode ser definida como uma rede mundial que interconecta as mais variadas redes de computadores, com base em um protocolo de comunicação padrão, a pilha de protocolo TCP/IP, enquanto coisa é um objeto não precisamente identificável. Portanto, semanticamente, IoT, é uma rede mundial de objetos interconectados exclusivamente endereçáveis, com base em protocolos de comunicação padrão. A partir daí, pode se concluir que, independente da definição, a ideia da IoT é criar um ambiente onde os objetos sejam capazes de transmitir e receber informações e, dependendo dos dados coletados, possam executar determinadas aplicações.

Perera e outros (2014) elencam as principais características a serem consideradas no momento de se implementar uma aplicação baseada em IoT: inteligência, modo de operação dos dispositivos, complexidade do sistema, tamanho, tempo e espaço. Essas características devem ser consideradas no desenvolvimento de soluções de IoT ao longo de todas as fases do projeto, na concepção, no desenvolvimento, na implementação e na avaliação:

- **Inteligência:** primeiramente, a modelagem do sistema precisa ser feita levando em consideração que tipos de dados serão trabalhados na aplicação. Uma vez que sejam determinados quais os tipos de dados, a implementação das aplicações deve se focar em como transformar esses dados brutos em informações de alto nível, por exemplo, utilizar as informações de velocidade média de um veículo em uma determinada rodovia para gerar estimativas da situação do trânsito de uma região. Uma vez que os sistemas tenham a posse dessas informações, elas podem ser aplicadas para gerar interações e comunicações mais inteligentes.
- **Modo de operação dos dispositivos:** a IoT deve ser facilitada por uma arquitetura híbrida que compreende muitas arquiteturas diferentes. Os dispositivos funcionam, primariamente, com dois modos operacionais de ativação: ativação por evento e ativação por tempo. Alguns dispositivos produzem dados quando ocorre um evento (por exemplo, sensor de porta); os demais dispositivos produzem dados de forma contínua, com base no período de tempo especificado (por exemplo, sensores de temperatura). Na maioria das vezes, aplicações da IoT são acionadas por evento. Sendo assim, essas aplicações são construídas em um modelo com Evento - Condição - Ação, a partir do qual o dispositivo reconhece um evento e, baseado em regras preestabelecidas, uma ação é realizada.
- **Complexidade do Sistema:** a IoT compreende um grande número de dispositivos que interagem de forma autônoma. Todos os dias, novos objetos vão começar a se comunicar e outros se desconectarão das redes. Atualmente, existem milhões de objetos conectados em todo o mundo e as interações podem diferir significativamente, dependendo da capacidade do objeto. Alguns objetos podem ter poucos recursos, e, como tal, apresentar as capacidades de armazenamento de informações e de processamento muito limitadas. Em contraste, alguns objetos podem ter memória e processamento muito maiores, o que os habilita a executar mais atividades e de forma mais eficiente.

- Tamanho: Bardaki et al. (2010) preveem que haverá entre 50 e 100 bilhões de dispositivos conectados à Internet até 2020. A IoT tem de facilitar a interação entre estes objetos. Os números vão crescer continuamente e não demonstram uma possibilidade de redução. Semelhantemente à quantidade de objetos, os números de interações e de aplicações também aumentam significativamente, sendo assim, novas aplicações devem ser desenvolvidas de forma que possuam uma boa elasticidade para que sejam capazes de suportar este crescimento.
- Tempo: a IoT poderia lidar com milhares de milhões de eventos paralelos e simultâneos. Devido ao enorme número de interações, o processamento de dados em tempo real é essencial. Assim soluções IoT devem possuir uma boa disponibilidade.
- Espaço: A localização geográfica precisa de um objeto é fundamental para algumas aplicações IoT. Nessas aplicações, as interações são altamente dependentes de seus locais e das suas proximidades, além da presença de outras entidades (por exemplo, objetos e pessoas).

Para enfrentar os novos desafios encontrados pelo paradigma IoT, é necessário que a arquitetura atual da Internet seja revisada e se adeque melhor às novas demandas. A IoT deve ser capaz de interligar bilhões ou trilhões de objetos heterogêneos através da Internet. Para isso, é necessária uma arquitetura com camadas flexíveis. Krčo, Pokrić e Carrez (2014) fazem um levantamento de várias propostas de arquitetura para IoT com uma visão de montar um modelo de referência para essas arquiteturas. Já Yang et al. (2011) exemplificam um modelo de arquitetura baseado em três camadas: camada de percepção, camada de rede e camada de aplicação, porém é mais comum encontrarmos estudos que fazem referência a modelos arquiteturais de cinco camadas, como os apresentados por Al-fuqaha e outros (2015); Khan e outros (2012); Tan e Wang (2010) e Wu e outros (2010), como ilustrado na Figura 3. As nomenclaturas das camadas diferem de um trabalho para o outro, mas fundamentalmente são: Camada de Percepção, Camada de Transporte, Camada de Processamento, Camada de Aplicação, Camada de Business.

A principal tarefa da Camada de Percepção é perceber as propriedades físicas dos objetos (tais como a temperatura, localização, etc.) através de vários sensores (tais como sensores de infravermelhos, RFID, código de barras etc.), e converter essas informações para sinais digitais que são adequados para a transmissão de rede. As principais tecnologias envolvidas com esta camada são redes de sensores, RFID, GPS. Portanto, a principal função da camada de percepção é recolher informações e transformar em sinais digitais.

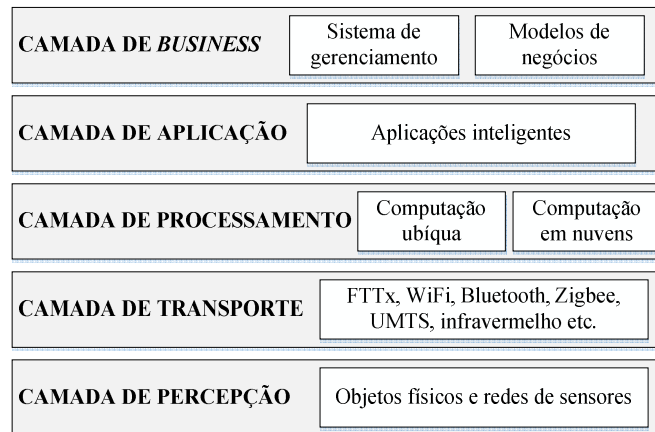


Figura 3 - Camadas da arquitetura IoT.

Fonte: Adaptado de Khan et al. (2012)

Muitos objetos, entretanto, não podem ser percebidos diretamente e por isso precisamos implantar *microchips* neles. Esses *chips* podem “sentir” a temperatura, velocidade e outras características físicas do ambiente, e até mesmo processar essas informações. Isso envolve a nanotecnologia, que faz com que os *chips* sejam suficientemente pequenos para serem implantados em cada objeto, por menor que ele seja. Portanto, a nanotecnologia e sistemas embarcados inteligentes também são tecnologias chaves na camada de percepção.

A camada de transporte, também chamada de camada de rede, é responsável por transmitir os dados recebidos pela camada de percepção para o centro de processamento através das várias redes, tanto redes sem fio como cabeadas. As principais tecnologias empregadas nessa camada são redes baseadas em fibras óticas (Fiber To The x - FTTx), WiFi, Bluetooth, Zigbee, Sistema Universal de Telecomunicação Móvel (*Universal Mobile Telecommunications System* - UMTS) e infravermelho. Assim, a função principal da camada de transporte é a comunicação. Nessa camada, podemos encontrar muitos protocolos, como os protocolos da pilha TCP/IP e até mesmo o IPv6 (Internet Protocol versão 6), que são necessários para lidar com os bilhões de dispositivos conectados. A IoT pode ser observada como uma rede imensa, que não só conecta bilhões de coisas, mas também englobam grandes quantidades de várias redes, por isso, a comunicação entre diferentes redes e entidades é crucial.

A camada de processamento armazena, analisa e processa as informações dos objetos recebidas a partir da camada de transporte. Devido à grande quantidade de coisas e à enorme quantidade de informações que carregam, é muito importante, e difícil, armazenar e processar essa quantidade de dados. Entre técnicas empregadas nessa camada, estão incluídas banco de

dados, processamento inteligente, computação em nuvens e computação ubíqua. A computação em nuvens e computação ubíqua, atualmente, são as tecnologias principais dessa camada. A camada de processamento também é chamada de camada de *middleware*, pelo fato de que muitas vezes os diferentes tipos de dados são transparentes para camada de aplicação, devido à atuação dos *softwares* dessa camada.

A camada de aplicação tem suas tarefas baseadas nos dados processados na camada de processamento, desenvolve as diversas aplicações da IoT e fornece os serviços solicitados pelos usuários. Por exemplo, a camada de aplicação pode fornecer temperatura e medições de umidade do ar para o cliente. A importância dessa camada para a IoT é que ela tem a capacidade de fornecer serviços inteligentes de alta qualidade para atender às necessidades dos mais diversos setores. A camada de aplicação abrange numerosos mercados verticais, tais como casa inteligente, edifício inteligente, transporte, automação industrial e de assistência médica inteligente.

A camada de *business* é uma camada abstrata superior que gerencia todas as aplicações envolvidas na solução, de forma que certifique o atendimento dos propósitos da solução e cuida da construção de planos de negócios visando um desempenho adequado da solução. Sendo assim a camada possui as seguintes atribuições: a gestão das aplicações, a construção de modelos de negócio relevantes, além de projetar, analisar, implementar, avaliar, monitorar e desenvolver sistema com elementos relacionados à IoT. O sucesso de uma solução não só depende da prioridade na tecnologia, mas também na inovação e no alcance dado a ela. Com base nisso, a IoT não pode ter um desenvolvimento eficaz e de longo prazo sem a elaboração adequada de um modelo de negócio. Essa camada também deve gerenciar a privacidade dos usuários, que é igualmente importante para a IoT.

Esse modelo de arquitetura funciona como um ponto de referência no momento de pensar tecnologias que integrem o paradigma IoT, semelhante ao modelo OSI no que diz respeito a redes de computadores. Porém, a partir dessa arquitetura, é possível identificar alguns elementos que são empregados nas soluções baseadas em IoT atualmente. Segundo Al-fuqaha e outros (2015), estes elementos são: Identificação, Sensoriamento, Comunicação, Computação, Serviços e Semânticas.

A identificação diz respeito a como nomear ou endereçar exclusivamente um dispositivo na rede. É importante destacar a diferença entre identificar o dispositivo e endereçá-lo, uma vez que o dispositivo pode se deslocar e obter um novo endereçamento, mas a sua identificação permanece a mesma. Sensoriamento está relacionado com a forma dos dispositivos interagirem e receberem dados do ambiente. Comunicação está ligada às

tecnologias de troca de informação, sendo capaz de interligar os mais variados e heterogêneos tipos de redes. Computação representa os sistemas de *software* que fazem a manipulação dos dados e permitem que os usuários possam ter acesso às informações produzidas. Serviços em IoT são as funcionalidades disponíveis através do conjunto de aplicações desenvolvidas. E finalmente a Semântica se refere à forma como os dispositivos podem extrair informações dos dados e produzir serviços inteligentes a partir deles. Na Tabela 1, são listadas algumas tecnologias utilizadas nos elementos citados.

Tabela 1. Exemplos das tecnologias dos elementos da IoT.

Elementos IoT		Exemplos
Identificação	Nomeação	EPC, uCode
	Endereçamento	IPv4, IPv6
Sensoriamento		Sensores inteligentes, dispositivos sensores, sensores incorporados, atuadores, etiquetas RFID
Comunicação		RFID, NFC, Bluetooth, IEEE 802.15.4, WiFi, LTE-A
Computação	<i>Hardware</i>	Coisas Inteligentes, Arduino, Phidgets, Intel Galileo, Raspberry Pi, Gadgeter, BeagleBone, Cubieboard, Smartphone
	<i>Software</i>	Sistemas Operacionais (Windows Mobile, Linux, Android), Cloud (Nimbits, Hadoop etc.)
Serviços		casas inteligentes, cidades inteligentes, <i>redes elétricas inteligentes</i> etc.
Semântica		RDF, OWL, EXI

Fonte: AL-FUQAHA e outros (2015).

Além dos elementos citados anteriormente, existem aspectos não funcionais em IoT que são importantes de serem discutidos, tais como: Disponibilidade, Confiabilidade, Mobilidade, Desempenho, Gerenciamento, Escalabilidade, Interoperabilidade, Segurança e Privacidade (AL-FUQAHA et al., 2015).

Disponibilidade em IoT deve ser realizada nos níveis de *hardware* e *software* para fornecer, em qualquer lugar e a qualquer hora, serviços para os clientes. Disponibilidade de *software* se refere à capacidade das aplicações de prestarem serviços para vários lugares diferentes ao mesmo tempo. Já disponibilidade de *hardware* refere-se à existência de dispositivos que sejam compatíveis com as funcionalidades e protocolos de comunicação IoT. Uma solução para obter alta disponibilidade de serviços IoT é o fornecimento de redundância para dispositivos e serviços críticos.

Confiabilidade refere-se ao bom funcionamento de um sistema de acordo com o que ele se propõe. A confiabilidade visa aumentar a taxa de sucesso na prestação de serviços em IoT. Para isso, a rede de comunicação deve ser tolerante a falhas a fim de realizar uma distribuição confiável de informações. Confiabilidade deve ser implementada, tanto em *software* como em *hardware*, em todas as camadas da arquitetura IoT.

Mobilidade é outro requisito para as implementações da IoT, porque a maioria dos serviços é projetada para ser entregue aos usuários móveis. Conectar os usuários com os serviços desejados, de forma contínua, enquanto estiverem em movimento é uma premissa importante da IoT. Interrupção do serviço para dispositivos móveis pode ocorrer quando esses dispositivos se transferem de uma rede de acesso para outra, e este problema deve ser minimizado.

Avaliar o desempenho dos serviços de IoT é um grande desafio, uma vez que depende da avaliação do desempenho de muitos componentes, bem como do desempenho das tecnologias subjacentes. A IoT, como outros sistemas, necessita desenvolver e melhorar os seus serviços para atender às necessidades dos clientes de forma contínua. Sendo assim, é importante que sistemas baseados em IoT sejam continuamente monitorados e avaliados, mediante métricas adequadas às suas funcionalidades.

Gerenciamento de dispositivos e aplicações da IoT pode ser um fator eficaz para o crescimento desse paradigma. Como exemplo de estratégia para atender requisitos de gerenciamento, temos o protocolo de comunicação M2M (*Machine-to-Machine*) que trata da comunicação direta de dispositivo para dispositivo e que gerencia diversos dispositivos ligados a um servidor de forma independente da interação com um ser humano.

A escalabilidade da IoT refere-se à capacidade de adicionar novos dispositivos, serviços e funções para os clientes sem afetar negativamente a qualidade dos serviços existentes. Esta característica é vital para o bom funcionamento de soluções IoT, uma vez que é praticamente impossível prever quantos dispositivos ou usuários serão atendidos de forma simultânea.

Interoperabilidade é importante devido à necessidade de lidar com um grande número de coisas heterogêneas que pertencem a diferentes plataformas. Por exemplo, a maioria dos *smartphones* hoje em dia suporta diversas tecnologias de comunicação, tais como WiFi, NFC (*Near Field Communication*), e GSM (*Global System for Mobile Communications*), para garantir a interoperabilidade independente do cenário em que ele se encontra. Para garantir que as soluções sejam interoperáveis, elas devem ser desenvolvidas

em consonância com os atuais protocolos utilizados nas mais diversas tecnologias, seja de *software* ou de *hardware*.

Em redes heterogêneas, como no caso da IoT, não é fácil garantir a segurança e privacidade dos usuários. Todas as funcionalidades da IoT são baseadas na troca de informações entre os bilhões ou mesmo trilhões de objetos conectados à Internet. O aumento do número de coisas inteligentes em torno de nós com dados sensíveis requer uma gestão transparente e cujo controle de acesso seja fácil, porém os dados precisam trafegar de forma segura, tanto para que não sejam perdidos, quanto para que não sejam copiados ou alterados.

De certa forma, o objetivo final da IoT é criar um mundo melhor para os seres humanos, onde os objetos ao nosso redor saibam do que gostamos, o que queremos e do que precisamos e assim ajam em conformidade, sem instruções explícitas. Para que este objetivo seja alcançado, a IoT possui aplicações nos mais diversificados setores, distribuídos pelos três focos do domínio de aplicações da IoT, citados no capítulo anterior.

Uma aplicação da IoT que merece um destaque especial, no contexto deste trabalho, é a de construções ou ambientes inteligentes. À medida que as tecnologias de comunicação sem fio foram ficando mais baratas e robustas, a gama de suas aplicações, em ambientes inteligentes, se tornou abundante. Por exemplo, essas tecnologias podem combinar sistemas de entretenimento domésticos modernos, que são baseados em plataformas de computação, com um conjunto de sensores e atuadores dentro de um edifício, formando, assim, um ambiente totalmente interligado e inteligente. Sensores de temperatura, umidade e iluminação fornecem os dados necessários para ajustar automaticamente o nível de conforto e otimizar o uso de energia do edifício. Além de ser capaz de monitorar e reagir à atividade humana, de tal forma que situações excepcionais possam ser detectadas e as pessoas podem ser auxiliadas em suas atividades diárias.

Do ponto de vista acadêmico, podem ser apontados alguns dos principais focos de pesquisa para esse tipo de aplicação. Um deles é o da energia inteligente e gestão de recursos, como descritas por Han e Lim (2010), cuja proposta defende um sistema de gerenciamento energético de casas inteligentes baseado na tecnologia ZigBee. Outro foco, que foi explorado por Iglesias e Palensky (2014), apresenta uma central de controle de distribuição de aquecimento de água baseado no monitoramento do perfil de consumo. Também temos a interação humano-sistema, como, por exemplo, o desenvolvimento de aplicações que melhoram a facilidade com que o usuário interage com os recursos de uma construção inteligente, como é feito por Wu e Fu (2012). Há ainda o Gerenciamento de atividades, como é visto no trabalho de Tomic, Ikoivic e Boskovic (2016), que apresenta um gerenciador de

provisionamento de serviços em construções inteligentes baseado em redes definidas por *software*.

Um tipo de ambiente que também passou a utilizar as aplicações disponíveis através da IoT foi a biblioteca, que pode utilizar tanto serviços de construções e ambientes inteligentes, como também aplicações de técnicas IoT praticadas na rede varejista, como gestão de prateleiras inteligentes, verificação automática de entrada e saída de livros, detector antifurto e inventário automático de demanda. A visão da importância da adequação das bibliotecas ao contexto de IoT será melhor discutido na próxima seção.

2.2 BIBLIOTECAS INTELIGENTES

O principal papel de uma biblioteca é propagar conhecimento, tornando-o acessível na forma de documentos. Para continuar desempenhando seu papel, as bibliotecas precisam se adaptar às evoluções culturais, principalmente tecnológicas. Com os novos formatos de documentos e, principalmente, com a ascensão dos documentos digitais, a forma como a gestão do conhecimento é feita precisa passar por algumas alterações para tornar o acesso aos documentos uma atividade mais dinâmica e que ultrapasse o espaço geográfico da biblioteca. Com a facilidade com que informações são trocadas na Internet, e com a grande quantidade de informação que está disponível, as bibliotecas, principalmente as acadêmicas, precisam encontrar formas de se integrarem a este novo espaço de divulgação do saber que é a Internet.

Mittrowann (2009 apud BEM; COELHO, 2016) destaca que a biblioteca do futuro é aquela que vai conseguir se adaptar às mudanças tecnológicas e demográficas, além de atender às necessidades dos usuários. Com base nessa afirmação, ratifica-se a tendência de inovação e adaptabilidade que as bibliotecas precisam desenvolver. Dado o grande avanço das tecnologias de acesso às redes móveis e sem fio, os usuários acabam tendo acesso a uma grande quantidade de informação em qualquer lugar e a qualquer momento. Sendo assim, além de fazer a guarda e disponibilizar o acesso ao seu acervo, as bibliotecas estão a cada dia se modernizando mais e oferecendo outros serviços no seu portfólio, como acesso *on-line* à consulta do acervo, ou até mesmo a alguns itens; espaços de estudo munidos de tecnologias de acesso à Internet; ferramentas de compartilhamento de informação, entre outros. E para disponibilizar esses recursos, as bibliotecas estão cada vez mais adotando soluções de IoT e se tornando bibliotecas inteligentes.

Porém, mesmo com todo o avanço tecnológico e com o crescimento da quantidade de informação disponível na Internet, a demanda por acesso a documentos impressos,

principalmente livros, ainda é muito grande, seja por questão de adaptação dos usuários ou por que muitos documentos ainda não estão disponíveis em formato digital. Assim a principal atividade das bibliotecas ainda é a gestão do acervo, e a automatização desta gestão é o fator mais diferenciado das bibliotecas em relação a outros ambientes inteligentes.

Este trabalho trata de uma aplicação do paradigma IoT em bibliotecas inteligentes. Sendo assim, foi feita uma apuração do estado da arte, em relação às pesquisas que tratam da integração das bibliotecas com a IoT, e foi percebido que dois temas se destacam em pesquisas mais específicas acerca de bibliotecas inteligentes, e portanto se relacionam com este trabalho: sistemas de gerenciamento de bibliotecas e estantes inteligentes.

As funções centrais de um sistema de gestão de informação da biblioteca são a aquisição e catalogação dos livros, gestão de movimentação dos livros, inventário do acervo e biblioteca digital. Através da identificação do usuário é possível um controle de acesso, de forma que eles possam utilizar os diversos ambientes e serviços da biblioteca. Em casos de bibliotecas acadêmicas é importante que os dados dos usuários da biblioteca sejam integrados com os dados dos membros do centro universitário como um todo. Entre as pesquisas que abordam sistemas de gerenciamento de bibliotecas estão as seguintes. Peng (2009) apresenta uma interface para integrar o sistema de controle de acesso de um *campus* universitário como o sistema de gerenciamento da biblioteca. Já Iyappan et al. (2014) apresentam um sistema baseado em arquitetura que gerencia a disponibilização de livros da biblioteca para os usuários, baseando-se em políticas e perfis de acesso. Polycarpou, Samaras e Sahalos (2014) apresentam um projeto-piloto de um sistema de gerenciamento de biblioteca, com suporte na tecnologia RFID para atender a todas as necessidades de uma biblioteca inteligente.

Entre as tecnologias que estão relacionadas com a IoT a que é mais empregada, e já é uma realidade no uso, em bibliotecas inteligentes é a RFID (DE CARVALHO e LIMA SOUZA, 2015). Na implantação dessa tecnologia em uma biblioteca, cada livro é etiquetado com uma etiqueta RFID, e assim é identificado de forma única, e todas as suas informações podem ser facilmente recuperadas. Com todos os exemplares da biblioteca identificados e com capacidade de comunicação algumas aplicações tornam-se possíveis, como por exemplo:

- O acervo pode ser consultado de forma remota para que seja checada a presença, ou não, de um determinado exemplar;
- O exemplar pode emitir sinal que facilite a sua localização;
- É possível determinar se livros de determinadas classificações estão armazenados na estante correta;

- É possível acompanhar o histórico do exemplar de forma automática;
- Suporte a sistemas antifurtos.

Sendo assim, a tecnologia RFID pode ser utilizada em bibliotecas para resolver problemas que envolvem três questões: segurança, inventário e autoatendimento (DE CARVALHO e LIMA SOUZA, 2015).

Neste contexto, pesquisas acadêmicas sobre a utilização de RFID em ambientes de bibliotecas também estão relacionadas com este trabalho. Por exemplo, Coyle (2005) faz um estudo sobre o gerenciamento de RFID em bibliotecas, abordando as aplicações que utilizam a tecnologia, vantagens do seu uso e até um análise sobre custo de implantação. Uma abordagem semelhante é feita por Pandey e Mahajan (2012), porém com uma explanação mais técnica sobre a tecnologia e as possibilidades de aplicação. Já Golding e Tennant (2007) observam uma necessidade de maiores pesquisas sobre o desempenho de sistemas RFID em bibliotecas e assim desenvolvem um estudo sobre o alcance e desempenho desse tipo de sistema, levando em consideração todas as particularidades dos sistemas de biblioteca. Pitukwerakul, Supanakoon e Promwong (2010) propõem um modelo matemático para simular a propagação de sinal RFID em ambiente de biblioteca, levando em consideração o material do qual são feitas as estantes utilizadas. O objetivo desse modelo é auxiliar em pesquisas teóricas de aplicações RFID em bibliotecas.

Com o uso extensivo da tecnologia RFID em bibliotecas, as estantes inteligentes surgem como uma aplicação muito atrativa para o mercado e para pesquisadores. As estantes inteligentes são aplicações que permitem o inventário em tempo real da situação do acervo, além do gerenciamento do acervo e a localização de exemplares. Para que se implemente essa aplicação, cada exemplar é identificado com uma etiqueta RFID e o ambiente é coberto com leitores de forma que todo o acervo possa ser mapeado, e, finalmente, esses equipamentos são ligados a um sistema de *software* que gerencia as informações recebidas. Lau, Yung e Yung (2008) propõem uma configuração para implantação de um sistema de estantes inteligentes. Já Markakis et al. (2013) avaliam diferentes aspectos de radiação de sinal RFID, por diferentes antenas, e seus impactos na montagem de um sistema de estantes inteligentes.

Na execução de um sistema de estantes inteligentes, uma das tarefas mais desafiadoras está justamente em estimar, de forma acurada, a localização de um determinado item dentro de um acervo. Segundo Dos Santos Silva e Da Silva (2012), para que uma biblioteca atinja seu objetivo, ela deve facilitar o acesso dos itens do seu acervo ao público-alvo, ou seja, dentro do gerenciamento de uma biblioteca é primordial que se disponha de artifícios para facilitar a localização de exemplares específicos dentro do acervo. Mesmo com

os diversos métodos de catalogação de acervo que são estudados na biblioteconomia, por diversos motivos, principalmente por falha humana, os exemplares podem ser guardados em lugares inadequados, e localizar um exemplar específico dentro de um acervo com mais 20.000 exemplares, por exemplo, pode ser uma tarefa praticamente impossível para um ser humano. Assim a localização automática de livros dentro de um ambiente de biblioteca é uma aplicação de grande impacto e utilidade do paradigma IoT em bibliotecas inteligentes.

2.3 SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO

A demanda por aplicações que utilizam sistemas de localização é cada vez maior. Sistemas com este propósito são utilizados em vários setores, inclusive em bibliotecas inteligentes. Com esta crescente demanda, são apresentadas várias soluções de sistemas de localização, utilizando as mais diversas tecnologias. Para selecionar a solução que mais se adequa a um determinado projeto é importante conhecer as técnicas utilizadas e algumas tecnologias aplicadas na maioria dos sistemas de localização atuais.

Nesta seção, iremos apresentar resumidamente algumas características importantes de sistemas de localização automática. Existem alguns trabalhos na literatura que propõem taxonomias para classificação desse tipo de sistema, como, por exemplo, os trabalhos de Silva (2008) e Sana (2013). Ambos demonstram taxonomias que levam em consideração vários aspectos da construção de um sistema de localização, porém, como o intuito desta dissertação é esclarecer melhor o porquê do uso de sistemas baseados em tecnologia RFID em ambientes de biblioteca, nesta seção, vamos discutir, apenas, as principais técnicas utilizadas na elaboração de sistemas de localização e exemplificar alguns sistemas utilizados.

As três principais técnicas utilizadas para implementar um sistema automático de localização são: Triangulação, Análise de Cena e Proximidade (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001).

2.3.1 TRIANGULAÇÃO

A triangulação se baseia em propriedades geométricas de triângulos e pode ser subdividida em duas categorias: lateração e angulação. A lateração calcula a posição de um objeto usando medidas de distância e a angulação utiliza principalmente o ângulo de propagação do sinal.

As técnicas de tempo de chegada (*Time of Arrival* – ToA) e diferença de tempo de chegada (*Time Difference of Arrival* – TDoA) são exemplos de lateração.

Na ToA, entende-se que a distância entre um ponto de referência e um alvo é proporcional ao tempo de propagação do sinal. Para a localização de um objeto considerando duas dimensões são necessários ao menos três pontos de referência. Além disso, os dispositivos precisam estar precisamente sincronizados e o sinal deve incluir um marcador de tempo (BOUET; DOS SANTOS, 2008). De modo simples, algoritmos baseados nesse tipo de sistema levam em consideração a velocidade do sinal e o tempo de deslocamento do mesmo para obterem a distância entre o ponto de referência e o alvo. Com as distâncias obtidas é montada a Equação (1) para que sejam descobertas as coordenadas do alvo (LI et al., 2012).

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} = R_1 \\ \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} = R_2 \\ \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2} = R_3 \end{array} \right\}, \quad (1)$$

onde (X,Y) representam as coordenadas do Alvo, (X_i, Y_i) representam as coordenadas do ponto de referência $i \in [1,2,3]$ e R_i representa a distância entre o alvo e o ponto de referência $i \in [1,2,3]$.

Em relação à TDoA, nesse tipo de sistema, o objetivo é determinar a localização do alvo com base na diferença entre o tempo de resposta para pontos de referência diferentes. Para isso, calcula-se o tempo que um emissor leva para responder a múltiplos receptores, assim todos os receptores têm que estar sincronizados e o sinal precisa possuir um marcador de tempo (LI et al., 2012). Segue o mesmo princípio matemático utilizado no sistema ToA, gerando a Equação (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} = R_2 - R_1 \\ \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} = R_3 - R_1 \\ \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2} - \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} = R_3 - R_2 \end{array} \right\}, \quad (2)$$

onde (X,Y) representam as coordenadas do Alvo, (X_i, Y_i) representam as coordenadas do ponto de referência $i \in [1,2,3]$ e R_i representa a distância entre o alvo e o ponto de referência $i \in [1,2,3]$.

A técnica Ângulo de Chegada (*Angle of Arrival* – AoA) é baseada em angulação. A AoA consiste em calcular a intersecção de várias linhas de direção, provenientes de cada ponto de referência ou a partir do alvo, para que seja determinada a localização o alvo. Em coordenadas de duas dimensões, são necessários ao menos dois pontos de referência, para que, assim, seja possível fazer uma triangulação dos sinais.

Os sistemas de localização podem usar mais de uma técnica para prover uma melhor acurácia. Sistemas que aplicam mais de uma técnica, tais como os híbridos ToA/AoA e TDoA/AoA, são exemplos de mistura de técnicas que podem aumentar a acurácia de uma estimativa de localização em diversos cenários. Alguns destes sistemas de localização são explorados por Venkatraman e Caffery Jr. (2004) e Thomas, Cruickshank e Laurenson (2001). Como exemplos de sistemas que utilizam triangulação temos o *Active Bat* (WARD; JONES; HOPPER, 1997) e *Cricket* (PRIYANTHA CHAKRABORTY; BALAKRISHNAN, 2000).

O objetivo de desenvolvimento do *Active Bat* é a localização de pessoas em ambientes como hospitais e grandes empresas. Ele foi desenvolvido como uma forma de otimizar o sistema proposto por Want et al. (1992). Neste sistema, são utilizados conjuntos de dispositivos ultrassônicos que permitem às pessoas portarem dispositivos capazes de se comunicarem com um conjunto de sensores espalhados pelo ambiente. Esse sistema também precisa de um radiocontrolador, além dos receptores de sinal que ficam dispostos pelo teto do ambiente. Tais receptores ficam instalados com a topologia de grade. O processo de localização se inicia com o radiocontrolador, que envia um sinal de forma serial para todos os receptores e depois envia a solicitação para o dispositivo a ser localizado. Quando recebe esta solicitação, o dispositivo envia um sinal em *broadcast* para todos os receptores e, dependendo do tempo entre a recepção do sinal enviado pelo controlador e pelo dispositivo, as distâncias são calculadas. O sistema *Active Bat* utiliza ToA como técnica de localização e pode ser utilizado para obter espaço, posição e orientação do objeto.

O *Cricket* tem uma concepção muito semelhante ao *Active Bat*. Ele também utiliza dispositivos capazes de receber sinais ultrassônicos e um conjunto de sensores. Os objetivos desse sistema incluem a privacidade do usuário, a administração descentralizada e a heterogeneidade da rede. Na infraestrutura do sistema, temos diversos sensores fixos em alguns lugares espalhados pelo edifício. Tais sensores são capazes de enviar uma sequência de *bits* que representa sua localização de forma única. E os dispositivos portados pelas pessoas ou objetos são capazes de calcular a sua própria localização e são chamados de *Listens*. Estes dispositivos recebem o sinal enviado pelos sensores. Se o *Listen* receber a informação de

apenas um sensor, ele calcula sua localização por proximidade, porém se a informação for recebida por vários receptores, ele utiliza a técnica TDoA para realizar os cálculos.

2.3.2 PROXIMIDADE

Segundo Hightower e Borriello (2001), existem três técnicas de proximidade: detecção de contato físico, monitoramento de pontos de acesso por células e sistemas automáticos de identificação. A detecção de contato físico inclui sensores de pressão, sensores de toque e detectores de campo capacitivo. O monitoramento de pontos físicos de acesso se baseia na implantação de diversos sensores. Quando o alvo entra no alcance de leitura de um único sensor, a sua localização é assumida como sendo a mesma que a dele. Quando mais de um sensor detecta o objeto, o alvo é assumido para ser colocado com o aquele que recebe o sinal mais forte. Essa abordagem é muito simples e fácil de implementar, no entanto, a precisão é da ordem do tamanho das células formadas pelo alcance dos leitores (LI et al., 2012). Em sistemas automáticos de identificação, a localização pode ser inferida quando o dispositivo que faz a estimativa de localização interroga um dispositivo alvo ou monitora uma transação. Como exemplo de sistemas de proximidade temos *Smart Floor* (ORR; ABOWD, 2000) e Horus (YOUSSEF; AGRAWALA, 2005). Além dos sistemas citados, Han e outros (2015) testaram alguns sistemas de localização, baseados em proximidade, que utilizam a tecnologia Bluetooth de baixa energia.

O *Smart Floor* foi um sistema criado para validar usuários por identificação biométrica baseando-se nas características da pisada. Nesse sistema, é instalado um conjunto de sensores de força pelo piso do ambiente para identificar os perfis de pisadas das pessoas. Os autores relatam uma precisão de até 93% na identificação dos usuários em um grupo de 15 pessoas. Nesse sistema, são utilizados três componentes: os sensores de pressão, uma placa de aço e um *hardware* de aquisição de dados. Com estes componentes, cada usuário caminha pela placa de aço que fica sobre os sensores e o sistema armazena sete características da pisada para montagem do perfil. Assim, a localização é determinada dependendo da região do piso que estiver sendo pressionada, como ilustrado na Figura 4.

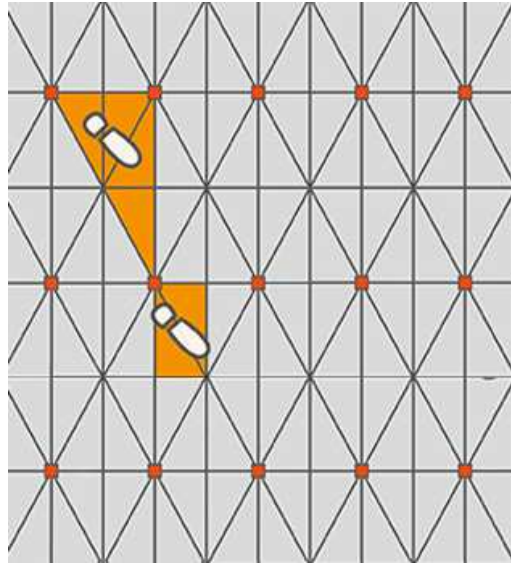


Figura 4 - Localização com o *Smart Floor*.

Fonte: <http://toniq.squarespace.com/blips/2014/3/11/sensfloor-a-truly-smart-floor.html>.

Horus é um sistema implementado no contexto de WLANs (*Wireless Local Area Network*) IEEE 802.11. O sistema utiliza a intensidade do sinal, observada em alguns quadros transmitidos pelos pontos de acesso, para deduzir a localização do usuário. O sistema trabalha em duas fases: uma fase de treinamento *off-line* e uma fase de determinação de localização *on-line*. Durante a fase *off-line*, o sistema constrói uma tábua de intensidade do sinal recebido a partir dos pontos de acesso da região dos locais de interesse, resultando em um mapa de força de sinal rádio, como ilustrado na Figura 5. Durante a fase de determinação de localização, o sistema utiliza do mapa gerado na fase anterior com as amostras de intensidade do sinal recebido a partir dos pontos de acesso e "pesquisa" a localização do usuário no mapa.

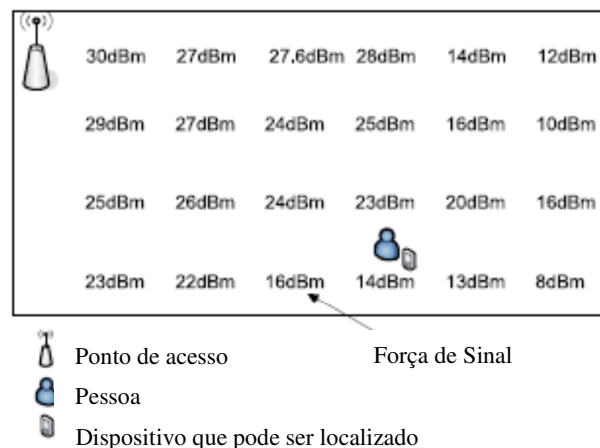


Figura 5 - Mapa de intensidade de sinal gerado na fase *off-line*.

Fonte: Silva (2008).

Segundo Han e outros (2015), um sistema de localização baseado em proximidade com a tecnologia Bluetooth possui três componentes os dispositivos alvos, as âncoras e o motor de localização. Os alvos são dispositivos pequenos, transportáveis e capazes de enviar e receber sinais de forma periódica. As âncoras são dispositivos estacionários que recebem sinais dos alvos. O motor de localização é onde os dados recebidos pelas âncoras são processados e as localizações dos alvos são calculadas. Estes sistemas funcionam da seguinte forma, os alvos enviam sinais de forma periódica para as âncoras, cada âncora cobre a área de um cômodo do ambiente e, dependendo da localização das âncoras que receberem o sinal por um determinado período de tempo, o motor de localização determina onde o alvo está localizado. Han e outros (2015) avaliam o desempenho de um sistema de localização baseado em proximidade com três equipamentos Bluetooth disponíveis no mercado e com duas configurações diferentes de colocação da âncora em uma sala, o objetivo do experimento é avaliar um sistema de localização, relativamente barato, para localização de pessoas em ambientes hospitalares.

2.3.3 ANÁLISE DE CENA

Esta técnica usa características de uma cena observada, a partir de um ponto em particular, para a localização do objeto na cena. A cena pode consistir em imagens visuais ou outro fenômeno físico, como características eletromagnéticas (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001). Segundo Bouet e Dos Santos (2008), em sistemas que utilizam características eletromagnéticas, há divisão em duas fases. Primeiramente, são coletadas informações referentes ao ambiente (*fingerprints*). Em seguida, a localização do alvo é estimada por medições e comparações *on-line* com o conjunto apropriado de *fingerprints*. Geralmente, são usados *fingerprints* baseados em força de sinal recebido (*Received Signal Strength - RSS*), esta força de sinal é a medida de potência do sinal que é recebido pelo leitor. Algoritmos que utilizam RSS fazem a estimativa da localização dependendo da intensidade do sinal que um dispositivo receptor recebe do dispositivo a ser localizado e das características físicas do canal de propagação. Entre os sistemas que utilizam a técnica de análise de cena, temos *Easy Living* (KRUMM et al., 2000), RADAR (BAHL; PADMANABHAN, 2000) e o RAVEL (PAPAIIOANNOU et al., 2014).

O *Easy Living* é utilizado para encontrar, ou identificar, uma pessoa ou objeto no interior de uma sala. Para isso, são instaladas duas câmeras no ambiente e, utilizando-se o

registro de cores e profundidade da imagem, subtraem-se os fundos do ambiente da imagem, restando só a pessoa a ser localizada. Para fazer esta separação, o programa inicialmente registra as imagens da pessoa e do ambiente, obtidas através da composição das imagens das duas câmeras. Depois são buscadas manchas de imagem no registro da sala. Essas manchas de imagem representam o que seria a pessoa a ser encontrada. Após detectar a forma que foi buscada, o programa faz uma análise heurística do movimento da pessoa para a identificação.

O RADAR utiliza duas técnicas para os cálculos de localização. São elas a de análise de cena por *fingerprints* e a de proximidade. Esse sistema faz localização de dispositivos que utilizam a tecnologia IEEE 802.11. No sistema, são utilizados dispositivos da WLAN como estações de recepção de sinal. Inicialmente é criado um mapa de força de sinal nos diversos espaços do ambiente, como é feito no Horus. Depois disso, é obtida a força de sinal do dispositivo a ser detectado e o ruído do canal para que estes sejam enviados para o algoritmo de localização.

O RAVEL é um sistema concebido para auxiliar a localização de alguém em um ambiente, baseado em imagens obtidas através de câmeras de segurança. Diferentemente do *Easy Living*, o RAVEL não tem uma criação prévia de um banco de imagens para futuras comparações, sendo assim ele pode ser utilizado para localizar pessoas anônimas no ambiente. O sistema utiliza duas tecnologias conjuntas para sua execução, a detecção de imagens e localização por radiofrequência. Para a aplicação deste sistema é utilizado um *software* de reconhecimento facial que é aplicado nas imagens obtidas pelas câmeras e alguns rádios WiFi. Este sistema parte do princípio que a maioria das pessoas que frequentam o ambiente se conectam a rede WiFi do local, e uma vez que uma determinada pessoa precisa ser localizada, o sistema utiliza a informação vinda do rádio WiFi que a pessoa está conectada, para saber em que ambiente ela está, e com o as imagens e o reconhecimento facial a posição atual dela é determinada.

2.3.4 SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO EM BIBLIOTECAS

As simulações realizadas nesta dissertação são concebidas visando um cenário muito específico, que é a localização de livros em ambientes de biblioteca. Por isso, nem todos os sistemas que foram tratados até o momento se encaixam neste estudo, uma vez que nestes cenários o sistema precisa atender algumas necessidades: precisa ser um sistema de localização *indoor*, ou seja que se adapte a ambientes fechados e tenham acurácia alta; não necessite de contato e que permita marcação individualizada dos alvos. Assim sendo, sistemas

que localizam dispositivos remotos como o RADAR e o Horus são tecnicamente aplicáveis, porém o custo de implantação tornaria o projeto inviável, já que precisaria necessário implantar dispositivos *WiFi* em todos os livros.

A tecnologia RFID prover uma plataforma favorável para o desenvolvimento de sistemas de localização indoor, por causa das seguintes vantagens: tecnologia madura, baixo custo das etiquetas e fácil implantação (WING et al., 2011). Assim sendo, A tecnologia RFID atende todas as necessidades para a implantação de um sistema de localização de livros em uma biblioteca. Além disso, o fato de que esta tecnologia já vem sendo utilizada em ambientes de biblioteca, em diferentes aplicações, como tratado na Seção 2.2, fez com que sistemas de localização RFID fossem escolhidos como o principal alvo deste trabalho. Os sistemas RFID são compatíveis com as várias técnicas de localização, permitindo, por exemplo, o uso de técnicas de proximidade por célula e análise de cena em um mesmo sistema. Mais detalhes desta tecnologia e de sistemas de localização que a utilizam serão vistos no Capítulo 3.

2.4 RESUMO DO CAPÍTULO

O problema de pesquisa de que este documento trata é como melhorar a acurácia na localização de livros em ambientes de biblioteca. Dessa forma, é importante definir a viabilidade e importância de tratar este problema. Assim, neste capítulo, foi feita uma apresentação mais aprofundada do paradigma IoT, na qual foram definidos alguns conceitos importantes do paradigma, exibindo propostas de arquiteturas, elementos de implementação, requisitos não funcionais de soluções IoT e tecnologias envolvidas. Também foi feito um levantamento de pesquisas acerca do uso da IoT em construções inteligentes, pois as tecnologias envolvidas com este paradigma são de grande valia no momento de tratarmos o problema de pesquisa. Também foi feita uma análise da importância do uso da IoT em ambientes de bibliotecas e como esta integração vem sendo feita, mostrando quais tipos de aplicações são utilizadas e quais os principais interesses de pesquisa nesta área. Finalmente foram analisados tipos de sistemas de localização e visto por que sistemas de localização baseados na tecnologia RFID são os mais adequados para tratar o problema de localização de livros em bibliotecas.

CAPÍTULO 3

IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFRQUÊNCIA

Neste capítulo, serão apresentadas, inicialmente, algumas características importantes da tecnologia RFID, como frequências de operação, etiquetas, leitores e o sistema de *software*, de acordo com a seguinte ordem: na Seção 3.1 serão apresentados os tipos de etiquetas RFID, a Seção 3.2 apresenta as frequências de operação dos dispositivos RFID e qual o uso mais comum para cada faixa de frequência, na Seção 3.3 serão descritas as principais características dos leitores RFID e na Seção 3.4 serão apresentados alguns padrões de comunicação que são utilizados pela tecnologia RFID. Após estas seções iniciais, a Seção 3.5 detalhará os tipos de algoritmos utilizados por sistemas de localização RFID.

RFID é uma tecnologia de identificação automática sem fio e alcança alvos (etiquetas eletrônicas) através de sinais de radiofrequência (LI et al., 2012). As etiquetas RFID funcionam como um *transponder* que recebe sinal de um leitor e responde enviando um número de série. Esta tecnologia vem sendo muito utilizada para substituir os códigos de barra, pois não precisa de visada direta dos leitores para que a leitura das informações seja feita (CHAUHAN et al., 2014).

Algumas pesquisas avançam em relação ao uso da tecnologia RFID para localização em ambientes internos. Basicamente, um sistema com este propósito é composto pelos seguintes componentes: leitores RFID, etiquetas RFID e um sistema de processamento de dados, como ilustrado na Figura 6. Neste sistema, os leitores consultam as etiquetas, e, a partir das respostas, o sistema de processamento de dados aplica algoritmos específicos para estimar a posição do elemento buscado.

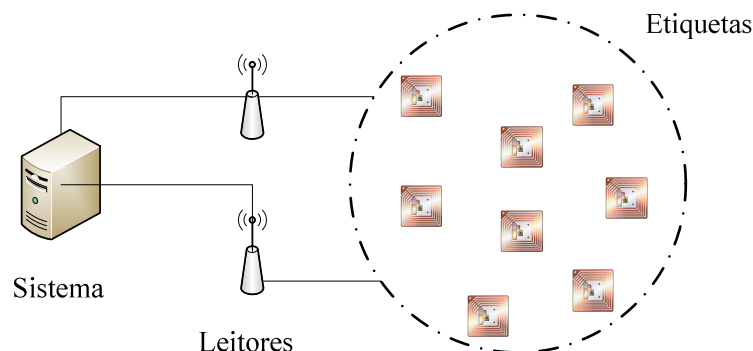


Figura 6 - Configuração de um Sistema RFID.

3.1 TIPOS DE ETIQUETAS RFID

As etiquetas RFID são compostas por um *microchip* com uma memória RAM/ROM (dependendo do tipo de etiqueta), circuito interno e uma antena. As etiquetas são divididas em três tipos, segundo a alimentação energética:

- Etiquetas Passivas - Não possuem fonte de energia interna, portanto têm vida útil ilimitada e dependem da energia induzida pelo leitor. Segundo Lucena Filho (2015), este tipo de etiqueta possui uma bobina ligada ao seu *microchip* que é alimentada a partir da onda eletromagnética recebida pelo leitor e, assim, gera energia para que a resposta possa ser enviada (*backscatter*). É o tipo menor e mais barato de etiqueta;
- Etiquetas Semipassivas - Possuem uma bateria que alimenta o circuito interno da etiqueta para permitir que ela faça processamento de dados. Porém continuam a utilizar a potência refletida pela etiqueta para fazer a comunicação com o leitor, que seria o *backscatter* já citado;
- Etiquetas Ativas - Possuem uma bateria interna que permite que, além do processamento de dados, as etiquetas enviem sinais, mesmo que não tenham recebido nenhum sinal de consulta.

Na Figura 7 são ilustradas algumas etiquetas RFID.



Figura 7 - Exemplos de Etiquetas RFID.

Fonte: Imagens da Internet.

Segundo Chauhan e outros (2014), conforme o processo de alimentação, as etiquetas RFID são divididas nas seguintes classes:

- Classe 0: Etiqueta passiva simples, somente leitura, contém um número de identificação que é escrito apenas uma vez durante a fabricação.
- Classe 1: Etiqueta passiva simples, são fabricadas sem dados na memória. O código de identificação pode ser gravado uma única vez, ou pelo fabricante ou pelo usuário.
- Classe 2: Etiqueta passiva de leitura e escrita. É um tipo de etiqueta mais flexível, o usuário pode acessar a sua memória e alterar os dados que estiverem gravados.
- Classe 3: Etiqueta semipassiva de leitura e escrita com sensores. Este tipo de etiqueta, além do código de identificação, podem armazenar parâmetros como temperatura, pressão, movimento.
- Classe 4: Etiquetas Ativas de leitura e escrita, com transmissores integrados. São como dispositivos de rádio em miniatura que podem se comunicar com leitores ou com outras etiquetas.

3.2 FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO

Segundo Chauhan e outros (2014), os sistemas RFID operam nos seguintes espectros de frequência:

- Micro-ondas: Opera na faixa de frequência de 2,45 GHz e são indicadas para leituras feitas de distâncias de até 1 metro;
- *Ultra High Frequency* (UHF): Opera nas faixas de frequência de 815 a 950 MHz, 2,4 a 2,5 GHz e 5,8 GHz. Com o uso de etiquetas passivas, tem a capacidade de leitura de 3 a 6 metros e atinge mais de 30 metros de alcance com etiquetas ativas;
- *High Frequency* (HF): Opera na faixa de 10 a 15 MHz e é utilizada, geralmente, para controle de acesso e identificação de objetos.
- *Low Frequency* (LF): Opera na faixa de 30 a 500 KHz e tem um alcance de leitura de 0,5 metros.

Como os sistemas RFID transmitem ondas eletromagnéticas, eles são regulamentados como dispositivos de rádio. Estes sistemas não devem interferir no funcionamento de outros dispositivos como rádio e televisão. Por isso, eles devem operar em faixas não licenciadas pela *Industrial Scientific Medical* (ISM) (LUCENA FILHO, 2015).

3.3 LEITORES RFID

Os leitores RFID são dispositivos eletrônicos que são utilizados para transmitir e receber sinais de rádio. Eles têm um lugar central no sistema RFID, pois verificam (ou leem) as etiquetas através das antenas que operam em uma determinada frequência. Os leitores possuem as suas próprias antenas, através das quais transmitem os sinais de rádio e recebem respostas de acordo com a capacidade das etiquetas. Leitores também possuem um algoritmo anticolisão² para gerenciar os diversos sinais recebidos e podem operar em frequências diferentes. Como resultado, os leitores têm de recolher os dados (ou gravar dados em etiquetas) e transferi-los para o sistema de processamento de dados (LUCENA FILHO, 2015). Os leitores RFID podem ser dos mais variados formatos e tamanhos, como ilustrado na Figura 8.

Um leitor RFID é, no fundo, um transmissor e receptor de rádio que funciona em conjunto com a etiqueta. Como tal, ele enfrenta os mesmos desafios de todos os rádios, além de alguns problemas especializados incomuns em comunicações sem fio.



Figura 8 - Exemplos de Leitores RFID.

Fonte: Imagens da Intenet.

Segundo Dobkin (2012), um transmissor de rádio deve disponibilizar:

- Precisão: o transmissor deve modular com precisão a frequência portadora do sinal;
- Eficiência: o transmissor deve entregar o sinal sem distorções na potência absoluta desejada, sem perder muita energia;

² Quando um leitor precisa interagir com mais de uma etiqueta ao mesmo tempo, os leitores RFID utilizam os algoritmos anticolisão, que são técnicas utilizadas para lidar com os múltiplos acessos, uma vez que as etiquetas respondem ao mesmo tempo às requisições dos leitores (DOBKIN, 2012).

- Radiação espúria baixa: a distorção do sinal transmitido pode levar à radiação em frequências fora das faixas autorizadas, que potencialmente podem interferir com usuários licenciados;
- Flexibilidade: o transmissor deve desligar quando não estiver em uso para economizar energia e evitar a criação de um grande sinal de interferência, além de retomar as atividades rapidamente.

E, por sua vez, qualquer receptor de rádio precisa fornecer:

- Sensibilidade: um bom receptor de rádio deve receber e interpretar sinais muito pequenos com sucesso;
- Seletividade: um rádio RFID necessita detectar o sinal da etiqueta na presença de ondas interferentes, muitas vezes, com maior intensidade de sinal;
- Gama dinâmica: o mesmo leitor deve receber e interpretar sinais, por exemplo, de uma etiqueta a três metros da antena e de uma etiqueta a 30 cm de distância.
- Flexibilidade: o receptor deve se recuperar rapidamente de qualquer perturbação resultante da parte do sinal modulado que vaza para ele, a fim de ouvir as respostas das etiquetas.

3.4 PADRÕES

A *Electronic Product Code (EPC)* e a *International Standards Organizations (ISO)* são as duas principais organizações que tratam da padronização no desenvolvimento da tecnologia RFID. Esses padrões são importantes para que os dispositivos possam se comunicar entre si e com outros sistemas computacionais. O padrão de comunicação mais comum utilizado pela tecnologia RFID para se comunicar com um computador, através de uma infraestrutura de rede, é o padrão da *EPC Savant* (FLOERKEMEIER; LAMPE, 2005). Programas baseados no *Savant* funcionam como um *middleware* que coleta os dados recebidos pelo leitor, filtra e padroniza estes dados para que eles possam ser utilizados pelas aplicações (CHAWATHE et al., 2004).

Uma vez que estes dados são passados para um sistema computacional, eles podem ser utilizados nos mais variados tipos de aplicações, como, por exemplo: aplicações na área de saúde, segurança e patrulhamento. Um estudo mais abrangente sobre o gerenciamento de dados em sistemas RFID é apresentado por Xie e outros (2014).

3.5 SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO RFID

Nesta seção, será apresentada uma revisão do estado da arte em relação às pesquisas realizadas sobre sistemas de localização baseados em RFID.

3.5.1 LANDMARC

O LANDMARC (NI et al., 2004) é um algoritmo baseado em RSS e utiliza uma abordagem baseada em etiquetas de referência. Nesse tipo de algoritmo, primeiramente são mapeadas etiquetas de referência com coordenadas conhecidas, e formando assim um mapa de *fingerprints*. Uma vez que esse processo esteja concluído, é possível comparar as forças de sinal das etiquetas de referência com a força de sinal do alvo para determinar as coordenadas do alvo através de um esquema de triangulação. O LANDMARC foi um dos algoritmos pioneiros no uso dessa técnica, que traz algumas vantagens para localização de objetos em ambientes *indoor*, como, por exemplo: a redução do número de leitores necessários em um sistema, o que torna a solução mais barata, e a redução da influência do ambiente na precisão do algoritmo. (FRANÇA NETO; GONCALVES, 2012).

O LANDMARC possui duas etapas de implementação. Na primeira, são coletadas as medidas de RSS das etiquetas alvos e das etiquetas de referência de tal forma que sejam gerados vetores com essas informações. O vetor $\vec{S}(j) = (S_1^j, S_2^j, \dots, S_n^j)$ representa os valores de RSS da etiqueta alvo $j \in [1, u]$ medido pelo leitor $i \in [1, n]$ onde n representa a quantidade de leitores. Para cada uma das m etiquetas de referência existentes, são gerados os vetores $\vec{\theta}(r) = (\theta_1^r, \theta_2^r, \dots, \theta_n^r)$, onde θ_i^r é o valor de RSS da etiqueta $r \in [1, m]$ medido pelo leitor $i \in [1, n]$. Após isso, é criado outro vetor que armazena as distâncias euclidianas entre a etiqueta alvo e cada uma das etiquetas de referência, este vetor é o $\vec{E}(j) = (E_1^j, E_2^j, \dots, E_m^j)$, onde E_r^j é a distância euclidiana entre o alvo $j \in [1, u]$ e a etiqueta de referência $r \in [1, m]$; ele é obtido através da Equação (3).

$$E_r^j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i^r - S_i^j)^2} . \quad (3)$$

Após a obtenção do vetor $\vec{E}(j)$, inicia-se a segunda etapa de execução do LANDMARC. O vetor calculado é utilizado como entrada para o algoritmo KNN (*K-Nearest Neighbors*) (BAHL; PADMANABHAN, 2000) que determina as k etiquetas de referência com a menor diferença entre os valores de RSS dela e do alvo, ou seja, os k menores elementos do vetor $\vec{E}(j)$. É importante dizer que o valor de k é um parâmetro de projeto, porém Ni e outros (2004) afirmam que o valor de k que gera melhores resultados é k=4.

Uma vez que foram selecionadas as etiquetas de referência mais próximas do alvo, é aplicado um peso para cada uma delas e é calculada a estimativa das coordenadas do alvo a partir das coordenadas das etiquetas de referência vizinhas. O peso para cada uma das etiquetas é calculado segundo a Equação (4).

$$W_l^j = \frac{1/(E_l^j)^2}{\sum_{l=1}^k (1/(E_l^j)^2)}, \quad (4)$$

onde w_l^j é o peso da l-ésima etiqueta e, assim, quanto menor a distância entre o RSS do alvo e da etiqueta de referência, maior será o peso destinado para ela. Após isso, é calculado o valor das coordenadas do alvo com base nas coordenadas destas k etiquetas de referência de acordo com a Equação (5).

$$(x_j, y_j) = \sum_{l=1}^k W_l^j \times (x_l, y_l), \quad (5)$$

onde (x_l, y_l) representam as coordenadas da l-ésima etiqueta mais próxima do alvo e (x_j, y_j) representam as coordenadas da etiqueta alvo.

Com isso, Ni e outros (2004) concluem que o LANDMARC é um sistema eficiente para localização em ambientes dinâmicos, pois a sua abordagem avalia o comportamento do mesmo através das etiquetas de referência. Ni e outros (2004) também realizam um experimento com quatro leitores e dezesseis etiquetas de referência em uma área de vinte metros quadrados, que o erro médio de estimativa gira em torno de 1,81 metros no seu melhor caso, quando n=4. Na época em que o LANDMARC foi proposto, ele apresentou uma acurácia maior que outros sistemas que utilizavam de estruturas semelhantes, como por exemplo, o RADAR que tem um erro médio acima de 2,65 metros (NI et al., 2004). Depois da proposta do LANDMARC outros sistemas com uma acurácia maior foram propostos, porém o LANDMARC ainda é importante como sistema de referência e é utilizado por pesquisadores como instrumento de comparação e base para outros sistemas (DAO; LE; NGUYEN, 2014;

DIAN; YEH; SU, 2007; FRANÇA NETO; GONÇALVES, 2012; HAN; CHO, 2010; SEYYEDI et al., 2014; SILVA, 2008; SILVA; GONÇALVES, 2011; YU; CHEN; HSIANG, 2015; ZEZHONG; RUI, 2015; ZHAO; LIU; NI, 2007; ZHU et al., 2009).

Han e Cho (2010) propõem um algoritmo que adapta o valor de k , dependendo do ambiente, através de execuções do KNN para o conjunto de etiquetas de referência conhecidas. Nesse algoritmo, antes de executar a segunda etapa do LANDMARC para a etiqueta alvo, é realizado um teste de ambiente baseado na etiqueta de referência com menor distância euclidiana para o alvo. Assim, é selecionada a etiqueta alvo com menor valor no vetor $\vec{E}(j)$, que será chamada de etiqueta chave, e é executado o LANDMARC novamente para esta etiqueta chave em relação às outras etiquetas de referência; as medições da força de sinal não são refeitas, são utilizados os valores dos vetores $\vec{\theta}(r)$. Porém, o algoritmo é executado várias vezes para $1 < k < 10$, retornando, assim, às estimativas de posição para a etiqueta chave. Após isso, é selecionado o k que gera a menor estimativa de erro para que ele seja utilizado na segunda etapa do LANDMARC com o alvo. Nos experimentos realizados, os autores demonstram que essa abordagem teve uma melhora de 7,19% no desempenho em relação ao LANDMARC com $k=4$.

Já Seyyedi e outros (2014) apresentam uma nova forma de selecionar as etiquetas mais próximas a serem utilizadas para a estimativa do alvo. Eles propõem o uso de etiquetas virtuais, da forma como será apresentado na Seção 3.5.3, para subdividir regiões formadas por quatro etiquetas próximas. No momento de estimar a posição do alvo, ao invés de utilizar o KNN para localizar as etiquetas mais próximas, se escolhe uma das sub-regiões com a menor diferença entre a sua força de sinal e a força de sinal do alvo. Cada sub-região é formada por quatro etiquetas, podendo ser todas virtuais ou virtuais e reais, e a força de sinal da região é calculada conforme a Equação (6).

$$C_s^j = \sum_{k=1}^4 E'_k, \quad (6)$$

onde E' é um vetor que armazena o E_r^j das quatro etiquetas que formam a sub-região C_s , e C_s^j é a diferença entre a força de sinal da sub-região C_s e a força de sinal do alvo j . Após escolher esta sub-região com menor diferença de sinal, são aplicadas as Equações (4) e (5) para estimar as coordenadas do alvo, porém, na Equação (4), utiliza-se o vetor E' para substituir os valores de E_r^j e o valor de $k=4$. Os autores relatam um ganho de acurácia de até 50% em relação ao LANDMARC original.

3.5.2 LANDMARC-D

Yeh e Su (2013) propõem quatro métodos de atualizações do LANDMARC:

- **Normalized Weighting (NW)** – Leva em consideração a proximidade do leitor com as etiquetas mensuradas, pois, quanto mais próximas duas etiquetas estão de um leitor, a diferença entre suas medidas de RSS torna-se maior. Para isso, o método NW sugere que seja atribuído um peso menor para medições mais próximas ao leitor.
- **Forsake Nearest Reader (FNR)** – Adapta o LANDMARC a partir de observações empíricas, pois foi observado que, quando as etiquetas estão próximas ao leitor, a relação entre o valor de RSS e a distância do leitor passa a ser não linear. Assim, propõe-se que se exclua o valor da medida de RSS da etiqueta mais próxima do leitor no cálculo da medida de distância. Essa abordagem tem como objetivo reduzir grandes erros de estimativa. Nesse caso, o valor máximo do vetor de medição do RSS é excluído da equação de estimativa.
- **Forsake Nearest Reader with Normalized Weights (FNR-NW)** – É uma combinação dos dois métodos anteriormente citados. Ele reduz grandes erros na estimativa através do método FNR e melhora a precisão com o uso do NW. Para isso, adapta o LANDMARC substituindo a equação de estimativa e ignora o valor máximo do vetor de medição de RSS.
- **LANDMARC Baseado em distância (LANDMARC-D)** – Utiliza os valores da distância entre as etiquetas para fazer a estimativa da posição do alvo, ao invés de utilizar apenas a força de sinal como ocorre no algoritmo tradicional. Entre os quatro métodos apresentados no trabalho, o LANDMARC-D é o que demonstra melhores resultados.

O LANDMARC-D propõe uma modificação feita no cálculo do vetor $\vec{E}(j)$. Nesse caso, ao invés de calcular a diferença entre a força de sinal das etiquetas medida pelos leitores, ele utiliza a distância entre as etiquetas e os leitores, como é mostrado na Equação (7).

$$E_r^j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (d\theta_i^r - dS_i^j)^2}, \quad (7)$$

onde $d\theta_i^r$ é a distância entre a etiqueta $r \in [1, m]$ e o leitor $i \in [1, n]$ e ficará armazenada no vetor $\vec{d\theta}(r) = (d\theta_1^r, d\theta_2^r, \dots, d\theta_n^r)$; e dS_i^j é a distância estimada entre a etiqueta alvo $j \in [1, u]$ e o leitor $i \in [1, n]$ que será salva no vetor $\vec{dS}(j) = (dS_1^j, dS_2^j, \dots, dS_n^j)$. Como as distâncias entre a etiqueta alvo e os leitores não são conhecidas, utiliza-se uma distância estimada. Assim o dS_i^j é calculado pela Equação (8). É importante dizer que os vetores $\vec{S}(j)$ e $\vec{\theta}(r)$ que são gerados no LANDMARC continuem a ser gerados nesta otimização, uma vez que são utilizados para a estimativa da distância entre alvo e leitores.

$$dS_i^j = d\theta_i^r \times 10^{\frac{\theta_i^r - S_i^j}{20}}. \quad (8)$$

Com todos estes valores determinados, basta gerar o novo vetor $\vec{E}(j)$, como mostrado na Equação (7), e seguir com a escolha dos elementos mais próximos para calcular os pesos para estimar as coordenadas do alvo. A estimativa é feita da mesma forma que no LANDMARC, com o uso das Equações (4) e (5), respectivamente.

Essa abordagem baseada em distâncias gera melhores resultados do que a abordagem tradicional, pois, para gerar o vetor de proximidade entre as etiquetas, são utilizados um parâmetro conhecido e um parâmetro estimado. Diferentemente do que ocorre no LANDMARC, cujos dois parâmetros utilizados sofrem com a aleatoriedade do canal e acabam por serem estimativas. O parâmetro conhecido no LANDMARC-D é a distância entre as etiquetas de referência e os leitores, e o estimado é a distância entre o alvo e os leitores.

3.5.3 VIRE

O VIRE (ZHAO; LIU; NI, 2007) se baseia na ideia do LANDMARC de utilizar um algoritmo de localização por RSS com o auxílio de etiquetas de referência, porém ele insere um conceito de etiquetas virtuais. Essas etiquetas servem para aumentar a quantidade de pontos de referência sem aumentar o custo do projeto.

Esse algoritmo possui três etapas de implementação. Na primeira etapa, é criada uma grade de etiquetas virtuais, de forma que, para cada região formada por quatro etiquetas reais é gerada uma grade virtual de $n \times n$ células de igual tamanho, onde n é um valor atribuído pelo desenvolvedor do sistema e cada célula é limitada por quatro etiquetas que podem ser todas

virtuais ou por algumas reais. Sendo assim, para cada grade, teremos 4 etiquetas reais e $(n+1)^2 - 4$ etiquetas virtuais, como exemplificado na Figura 9.

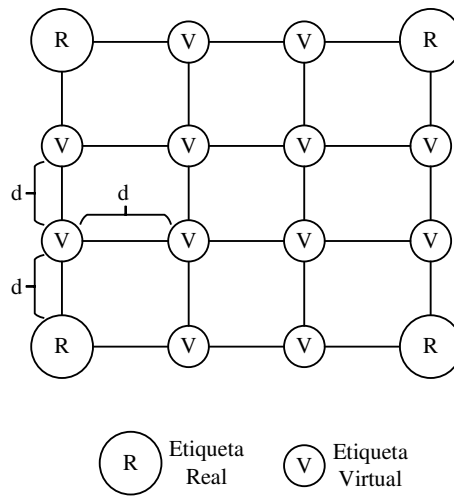


Figura 9 - Grade de 4 etiquetas reais e com $n = 3$.

Fonte: Adaptado de Zhao, Liu e Ni (2007).

Após montada a grade, as coordenadas e os valores de RSS das etiquetas virtuais são determinados. Para determinar as coordenadas, é preciso dividir a distância entre as etiquetas reais e adicionar as etiquetas virtuais de forma que fiquem equidistantes, como ilustrado na Figura 9. O cálculo do RSS é feito através de interpolação linear, de acordo com as Equações (9) e (10), para etiquetas que ficam entre etiquetas na horizontal e na vertical, respectivamente.

$$S_k(T) = \left(\frac{x_{R2} - x_T}{x_{R2} - x_{R1}} \right) \times S_k(R1) + \left(\frac{x_T - x_{R1}}{x_{R2} - x_{R1}} \right) \times S_k(R2), \quad (9)$$

$$S_k(T) = \left(\frac{y_{R2} - y_T}{y_{R2} - y_{R1}} \right) \times S_k(R1) + \left(\frac{y_T - y_{R1}}{y_{R2} - y_{R1}} \right) \times S_k(R2), \quad (10)$$

Onde $R1$ e $R2$ são as etiquetas reais utilizadas para interpolação, $S_k(T)$ e (x_T, y_T) são, respectivamente, o RSS e as coordenadas da etiqueta virtual T, bem como $S_k(R1)$ e (x_{R1}, y_{R1}) representa a força de sinal e as coordenadas da etiqueta real $R1$ e $S_k(R2)$ e (x_{R2}, y_{R2}) representa a força de sinal e as coordenadas da etiqueta real $R2$.

Na segunda etapa do algoritmo, é estabelecido um mapa de proximidade para cada leitor. Nesse mapa, cada posição faz referência a uma região do ambiente estudado e o centro da região é representado por uma etiqueta virtual de referência. Quando o valor do RSS do

alvo é definido, o leitor marcará as regiões em que o RSS da etiqueta virtual de referência e o valor do RSS do alvo tiverem uma diferença menor do que um *threshold*. Após isso, é gerado um mapa global, que é uma intersecção entre os mapas de todos os leitores que têm as suas regiões marcadas, mostrando as que estão mais próximas da etiqueta alvo, como ilustrado na Figura 10.

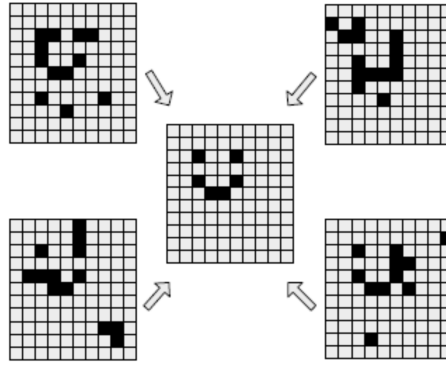


Figura 10 - Processo de Montagem dos mapas dos leitores e do mapa unificado.

Fonte: Zhao, Liu e Ni (2007).

Na última etapa, o mapa de regiões, obtido na etapa anterior, é utilizado para estimar a localização da etiqueta alvo. Nesse processo, são utilizadas duas funções de peso: w_{1i} e w_{2i} . As funções peso w_{1i} e w_{2i} são dadas respectivamente pelas Equações (11) e (12).

$$w_{1i} = \sum_{k=1}^K \frac{|S_k(T_i) - S_k(J)|}{K \times S_k(T_i)}, \quad (11)$$

$$w_{2i} = \frac{n_{ci}}{\sum_{i=1}^{n_a} n_{ci}} = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^{n_a} p_i}, \quad (12)$$

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 $S_k(J)$ ao valor do RSS da etiqueta alvo no leitor $k \in [1, K]$. p_i representa 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:

$$(x, y) = \sum_{i=1}^{n_a} w_i \times (x_i, y_i), \quad (13)$$

onde:

$$w_i = w_{1i} \times w_{2i}. \quad (14)$$

Zhao, Liu e Ni (2007) realiza um experimento comparativo entre VIRE e LANDMARC em três ambientes diferentes e com quantidades diferentes de alvos buscados, de forma simultânea, no mesmo ambiente. Através destes experimentos os autores apontam que o VIRE tem uma acurácia maior do que LANDMARC, com redução de erro médio de 28% a 72% no ambiente 1, de 17% a 69% no ambiente 2 e 27% a 73% no ambiente 3.

Existem algumas pesquisas na literatura que analisam formas de melhorar a acurácia do VIRE, por exemplo, Zhang, Peng e Cao (2010) sugerem que o uso de interpolação linear para determinar o RSS das etiquetas virtuais pode causar grandes erros de estimativa, já que, em um ambiente real, a relação entre a distância do leitor para a etiqueta consultada e a força de sinal não é representada por uma função linear.

Sendo assim Zhang, Peng e Cao (2010) propõem dois tipos alternativos de interpolação, a interpolação de Lagrange e a interpolação de Newton, para estimar o RSS das etiquetas virtuais, ambas utilizam de várias etiquetas reais do sistema nessa estimativa. Eles mostram que a interpolação de Newton apresenta melhores resultados em redes dinâmicas, ou seja, quando a quantidade de etiquetas é dinamicamente alterada. Já a interpolação de Lagrange costuma ser utilizada em redes fechadas, com uma quantidade fixa de etiquetas. Para calcular as medidas de RSS das etiquetas virtuais com o método de Lagrange, é feito o seguinte: inicialmente ordenamos os vetores $\vec{S}_k = (S_1^k, S_2^k, \dots, S_n^k)$ de forma ascendente de acordo com as distâncias $d_k = (d_1^k, d_2^k, \dots, d_n^k)$ entre as etiquetas reais e os leitores, onde S_n^k é a força de sinal da etiqueta $n \in [1, N]$ medida pelo leitor $k \in [1, K]$ e d_n^k é a distância entre o etiqueta n e leitor k . Considerando esse ordenamento feito, aplicamos a Equação (15) para obtermos a força de sinal de cada uma das etiquetas virtuais $x(S_x^k)$ medidas pelo leitor k , para cada um dos leitores.

$$S_x^k = \sum_{n=0}^N S_n^k \times l_n^k(x), \quad (15)$$

onde:

$$l_n^k(x) = \frac{(d_x^k - d_0^k) \times \dots \times (d_x^k - d_{n-1}^k) \times (d_x^k - d_{n+1}^k) \times \dots \times (d_x^k - d_N^k)}{(d_n^k - d_0^k) \times \dots \times (d_n^k - d_{n-1}^k) \times (d_n^k - d_{n+1}^k) \times \dots \times (d_n^k - d_N^k)}. \quad (16)$$

A interpolação de Lagrange gera uma função polinomial de grau $N-1$. Sendo assim, o ideal é utilizar na interpolação uma quantidade de etiquetas que gere um polinômio cuja curva mais se aproxime da curva das medidas de RSS coletadas. Quando são utilizadas apenas duas etiquetas para a interpolação, é gerada uma interpolação linear.

França Neto e Goncalves (2012) demonstram que os parâmetros n e $threshold$ são fundamentais para o desempenho do sistema e que, dependendo da variação do canal e da disposição das etiquetas do sistema, diferentes valores de n e $threshold$ obtêm diferentes acurácias. Nesse trabalho, é apresentado o termo VIRE ótimo, que é a execução do sistema utilizando o $threshold$ que gera a melhor acurácia para um determinado cenário, levando em consideração a variabilidade do canal.

3.5.4 COCKTAIL

O COCKTAIL (DIAN; KEZHONG; RUI, 2015) é um algoritmo que utiliza recursos diferentes dos algoritmos apresentados até agora, pois além dos leitores RFID, ele usa etiquetas ativas e redes de sensores. Esses sensores servem para mapear regiões de subáreas do mapa monitorado, da seguinte forma: eles trocam informações de força de sinal entre si e podem detectar se um determinado alvo está em uma região compreendida entre algum grupo de sensores. Uma vez que esse mapa de subregiões é criado, começa a segunda fase do algoritmo COCKTAIL, quando são utilizadas medidas de distâncias euclidianas, o que também é feito no LANDMARC. A diferença é que o COCKTAIL utiliza um vetor de regressão de apoio com informações também colhidas da rede de sensores para selecionar quais etiquetas de referência serão utilizadas no processo comparativo. Essa seleção depende do mapeamento de força de sinal contínuo que é feito pelo sistema. Assim, os quatro sensores com as medidas de RSS mais próximas da medida de RSS do alvo são utilizados nesse vetor de regressão. O COCKTAIL é utilizado em aplicações para descoberta de localização em tempo real para sistemas baseados em etiquetas ativas, além disso, ele se utiliza de medição dinâmica de RSS. Os autores mostram que o algoritmo tem um erro médio de acurácia em torno de quarenta e cinco centímetros, porém tem um custo elevado pelo uso de redes de sensores e pelo fato de requerer o uso de etiquetas ativas acaba não sendo indicado para o uso deste projeto. O COCKTAIL foi desenvolvido com o intuito principal de facilitar a monitoração de pacientes em ambientes hospitalares.

3.5.5 LOCTREC

O LOCTREC (YU; CHEN; HSIANG, 2015) utiliza a ideia de subdivisão que podemos observar no VIRE e no COCKTAIL, porém a formação do mapa de subregiões do LOCTREC é baseada na capacidade de leitura dos leitores. O mesmo leva em consideração,

na montagem do sistema, que os leitores têm potências de leitura ajustáveis, sendo assim, é capaz aumentar ou reduzir o seu alcance. No momento da busca por um alvo, os leitores interrogam as etiquetas e, com base nas respostas e na configuração de alcance, é montado um mapa de etiquetas vizinhas ao alvo. Na Figura 11, é ilustrada uma sequência de mapeamentos feitos por um leitor.

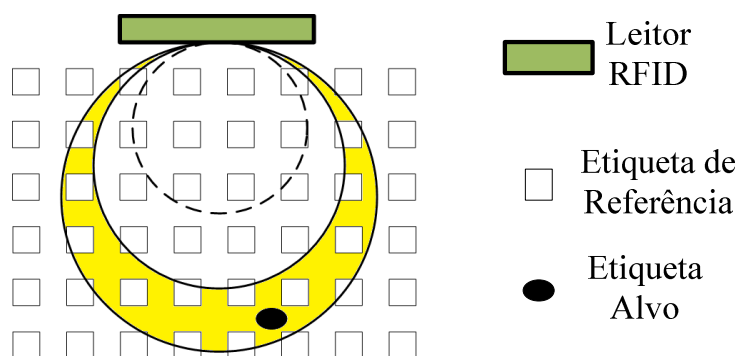


Figura 11 - Seleção das etiquetas vizinhas do LOCTREC.

Fonte: Baseado em Yu, Chen e Hsiang (2015).

Na Figura 11, cada círculo representa uma área detectável, dependendo da calibragem do leitor. Nesse caso, as etiquetas consideradas vizinhas do alvo são as que estão pertencentes à área destacada.

Esta triagem é feita para cada um dos leitores da configuração e após isso é construído um mapa de etiquetas vizinhas baseado na intersecção dos leitores. Uma vez selecionadas as etiquetas vizinhas, as coordenadas do alvo são estimadas com o uso do LANDMARC. Segundo os autores, com o LANDMARC sendo aplicado com uma quantidade menor de etiquetas de referência, ele gera erros menores na estimativa, o que aumenta a acurácia do sistema.

3.6 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram elencadas as principais características da tecnologia RFID, mostrando os principais elementos, forma de operação e componentes utilizados. Também foi mostrado um levantamento do estado da arte em relação a sistemas de localização que utilizam desta tecnologia. Os dois principais sistemas são o LANDMARC e o VIRE, que aparecem na maioria dos artigos sobre o tema. Também é visto LANDMARC-D, que é uma otimização do LANDMARC e foram apresentados dois sistemas mais recentes, que são o

COCKTAIL e o LOCTREC. A Tabela 2 apresenta algumas características dos sistemas citados, destacando as suas vantagens e desvantagens.

Tabela 2. Características dos algoritmos de localização encontrados na literatura.

Algoritmo	Características	Prós	Contras
LANDMARC	<ul style="list-style-type: none"> - Baseado em etiquetas de referência; - Parâmetros de estimativas baseados em medidas de RSS. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bem estabelecido na Literatura; - Fácil implementação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desempenho muito afetado pelas variações do ambiente; - Desempenho proporcional à quantidade de etiquetas de referência e da distância entre elas.
LANDMARC-D	<ul style="list-style-type: none"> - Otimização do LANDMARC; - Parâmetros de estimativas baseados em medidas de distância. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil implementação; - Estimativa baseada em dois parâmetros onde um deles é conhecido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Determinação do segundo parâmetro de estimativa muito afetada pelas variações do ambiente; - Desempenho proporcional à quantidade de etiquetas de referência e da distância entre elas.
VIRE	<ul style="list-style-type: none"> - Baseado em etiquetas de referências virtuais; - Parâmetros de estimativas baseados em medidas de RSS; - Divide a área consultada em sub-regiões 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução de custo do projeto devido ao uso de etiquetas virtuais; - Possibilidade de adequação estática ao ambiente com o uso dos parâmetros n e <i>threshold</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade de adequação dinâmica ao ambiente; - Implementação mais complexa; - Desempenho afetado pela forma de distribuição das etiquetas de referência.
COCKTAIL	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza etiquetas ativas e redes de sensores; - Divide a área consultada em sub-regiões; 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta acurácia, o erro médio de estimativa é na casa dos centímetros; - Mapeamento de localização em tempo real, se adaptando facilmente as variações do ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto custo de implantação; - Implementação complexa; - Restrição de <i>hardware</i> (uso de etiquetas ativas e sensores).
LOCTREC	<ul style="list-style-type: none"> - Divide o espaço em sub-regiões, baseado em configurações do leitor; - Estimativa final feita com o uso do LANDMARC. 	<ul style="list-style-type: none"> - Acurácia alta; - Utiliza técnicas para analisar o ambiente de propagação, com a regulação dos leitores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Implementação com restrição de <i>hardware</i> (uso de leitores com capacidade de leitura regulável); - Aplicação de outro algoritmo na estimativa final.

Os algoritmos propostos neste trabalho, que serão apresentados no Capítulo 4, são otimizações do LANDMARC e do VIRE, levando em consideração algumas características dos próprios algoritmos e do ambiente de propagação. Para o desenvolvimento da avaliação de desempenho feita, foram utilizados como referência o LANDMARC, o VIRE e o LANDMARC-d. Os desempenhos do COCKTAIL e do LOCTREC pois ambos possuem sua implementação restrita a configurações de *hardware*

CAPÍTULO 4

SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO PROPOSTOS

Nos capítulos anteriores, foram vistos fundamentos da IoT e suas relações com sistemas de localização em biblioteca, além de um aprofundamento sobre a tecnologia RFID e sistemas de localização que a utilizam. Neste capítulo, serão propostos dois algoritmos de localização baseados em RFID que objetivam atingir uma acurácia superior à dos algoritmos já citados, quando aplicados em ambientes de biblioteca.

Como já foi dito, o ambiente de biblioteca possui algumas particularidades que precisam estar claras no momento de propor um algoritmo de localização que seja utilizado nesse tipo de ambiente. Sendo assim, é importante entender quais os fatores que influenciam na acurácia desse sistema. Basicamente, tais algoritmos tratam de uma característica das ondas eletromagnéticas que é a intensidade de sinal; então, na Seção 4.1 será apresentado um resumo dos fatores que podem interferir na força de sinal trocado por dois dispositivos e quais destes fatores estão presentes em ambientes de bibliotecas, para justificar a forma de como os algoritmos propostos são desenvolvidos; A Seção 4.2 apresenta os dois algoritmos propostos por este trabalho.

4.1 PROPAGAÇÃO DE SINAL RFID EM AMBIENTE DE BIBLIOTECA

A transmissão de sinais RFID se dá por meio de envio de ondas eletromagnéticas por um meio não guiado, que é o ar. Sendo assim, o sinal viaja livremente pelo espaço e pode sofrer diversos tipos de interferências. Em ambientes *indoor*, existem vários obstáculos para a propagação do sinal que muitas vezes impossibilitam que os dispositivos tenham visada direta entre eles, fazendo com que a onda sofra com alguns fenômenos físicos que atenuam a sua potência. Entre os fenômenos que causam interferência estão: reflexão, refração, absorção e difração.

A reflexão ocorre quando a onda encontra determinado obstáculo reflexivo e altera a sua direção, de forma que o ângulo formado pela onda refletida e o obstáculo seja o mesmo do ângulo de incidência. Já a refração ocorre quando a onda troca de meio de propagação e

ela sofre um desvio na sua direção, como se o sinal passasse por ambientes com umidades relativas do ar diferentes, por exemplo, o que influencia as características de propagação do meio. A absorção se dá quando uma onda atravessa um obstáculo e este absorve um pouco da sua energia. O fenômeno difração ocorre quando uma onda passa por um determinado obstáculo e se divide em outras ondas secundárias que por vezes seguem caminhos diversos.

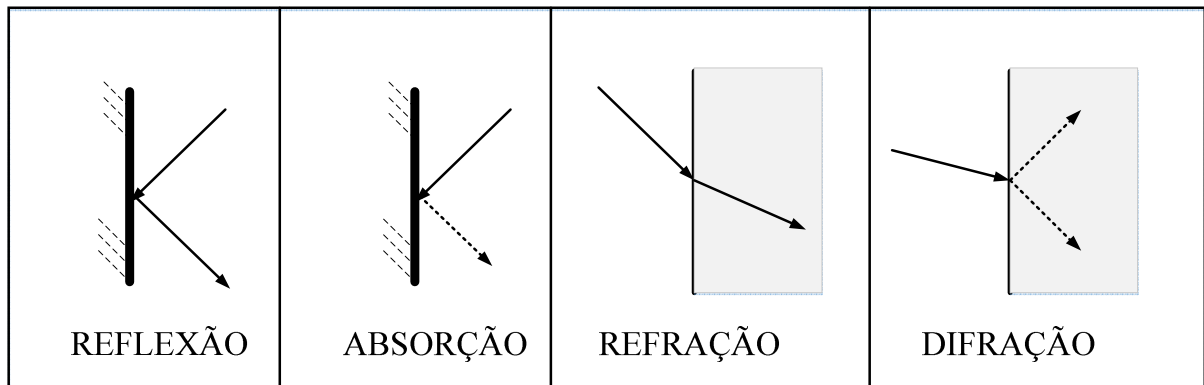


Figura 12 - Fenômenos físicos das ondas.

Todos os fenômenos citados no parágrafo anterior alteram de alguma forma a intensidade do sinal propagado, pois a absorção consome energia do sinal e os demais alteram o caminho percorrido pela onda, e uma vez que o sinal gasta energia para se propagar, a alteração da distância percorrida pelo mesmo acarreta diretamente uma alteração na potência do sinal.

Além dos fatores já citados, existem outras características que influenciam a intensidade da propagação de uma onda, como a própria frequência da onda, e características do canal de propagação em si, além da presença de vários dispositivos que possam estar transmitindo sinal no mesmo ambiente, o que pode causar uma interferência de sinal. Assim sendo, existem várias formas de modelar um canal de propagação de sinal sem fio, como é apresentado por Sarkar e outros (2003), porém, para que estes modelos sejam compatíveis com a realidade, eles devem incluir um elemento de aleatoriedade do canal, dada a imprevisibilidade dos fatores que irão influenciar na propagação do sinal.

Tendo em vista as características da propagação de ondas eletromagnéticas citadas, pode-se estudar melhor como é um ambiente de biblioteca, para entender como ocorre a propagação de sinais eletromagnéticos neste tipo de ambiente. Segundo De Almeida (2000) no momento de instalação de uma biblioteca é necessário prever o espaço necessário para instalação do mobiliário e equipamentos e circulação de usuários e funcionários, além de

considerar o crescimento progressivo do acervo e da grade de serviços prestados no local. Inicialmente, para fins dos estudos realizado neste trabalho três fatores precisam ser levados em consideração: a circulação de usuários, disposição do acervo da biblioteca e a forma de identificação dos exemplares. Na Figura 13 são ilustrados alguns ambientes de bibliotecas.



Figura 13 - Ambientes de bibliotecas.

Fonte: Imagens da Internet

A quantidade de pessoas circulando pelo ambiente da biblioteca é imprevisível, mesmo que exista alguma estatística de quantidade usuários atendidos diariamente pela biblioteca e se saiba a exatamente a quantidade de funcionários e colaboradores que estejam presentes no ambiente, não há como prever a localização destes usuários no espaço do acervo. Assim, uma ou mais pessoas podem servir de obstáculo na propagação do sinal transmitido. Além disso, muitas pessoas utilizam equipamentos que transmitem ondas eletromagnéticas, como aparelhos celulares, que podem causar interferência na propagação dos sinais RFID.

O acervo da biblioteca, geralmente, fica armazenado em estantes, que podem ser de metal ou de madeira. As estantes ficam muito próximas umas das outras, para que o espaço da biblioteca seja utilizado da forma mais racional possível, e a necessidade de reserva de espaço para crescimento do acervo seja atendida. Tanto as estantes como os livros do acervo funcionam como obstáculos para a propagação do sinal, e devido à proximidade das estantes e, conseqüentemente, dos livros do acervo, um sistema de localização de exemplares precisa ter uma acurácia compatível com as regiões ocupadas pelas estantes.

A identificação de um acervo através de etiquetas RFID é feita de forma individualizada para cada exemplar, ou seja, cada livro do acervo recebe uma etiqueta RFID. Assim sendo, existe vários dispositivos RFID transmitindo sinal de forma simultânea, o que

acarreta em uma interferência no sinal da etiqueta que está sendo consultada. A quantidade de livros que está presente na biblioteca no momento de uma consulta também é muito variável.

Assim, em um ambiente como uma biblioteca é impossível precisar a força do sinal recebido, visto que há considerável quantidade de obstáculos presentes, fluxo de usuários, que por sua vez pode aumentar ou diminuir a quantidade de obstáculos, e um incontável número de dispositivos que estão transmitindo sinais de forma simultânea.

4.2 SISTEMAS PROPOSTOS

Este trabalho propõe dois algoritmos para sistemas de localização *indoor* baseados em sistemas RFID. Os algoritmos propostos são o LANDMARC 2 e o VIRE Recursivo (VIRE-R), que são otimizações, respectivamente, dos algoritmos LANDMARC e VIRE. Tanto o LANDMARC quanto o VIRE são algoritmos que possuem uma acurácia relevante, porém têm características que prejudicam o seu desempenho quando aplicados em cenários reais.

O LANDMARC, por exemplo, não se adequa muito bem à dinâmica do ambiente, uma vez que não leva em consideração a aleatoriedade do canal de propagação e faz as suas estimativas de localização baseadas exclusivamente na força de sinal recebido, que são parâmetros muito suscetíveis às variações do ambiente. O LANDMARC-D, ao incluir em sua equação de estimativa um parâmetro conhecido, demonstra um ganho de acurácia de até 30% em relação ao LANDMARC, segundo resultados obtidos por Yu, Chen e Hsiang (2015). Já em relação ao VIRE, ele demonstra uma acurácia superior ao LANDMARC em diversos estudos, porém esta acurácia é muito dependente da adequação do parâmetro *threshold*, e em ambientes que tenham suas características alteradas constantemente, como é o ambiente de biblioteca, fica muito complicado de parametrizar o sistema para o seu valor ótimo. Pensando nestes aspectos é que os algoritmos propostos foram desenvolvidos, considerando principalmente a aleatoriedade a qual está exposta o ambiente estudado.

4.2.1 LANDMARC 2

Um dos algoritmos propostos neste trabalho é o LANDMARC 2. A otimização que é feita neste algoritmo acontece no cálculo do vetor $\vec{E}(j)$ e fica com o mesmo formato que no LANDMARC-D, como é expresso na Equação (7). A diferença está na forma de calcular os

valores do vetor $\vec{dS}(j)$, que representa a distância entre o alvo e os leitores. É importante dizer que os vetores de força de sinal das etiquetas alvo e das etiquetas de referência ($\vec{S}(j)$ e $\vec{\theta}(r)$), bem como o vetor de distância entre os leitores e as etiquetas de referência ($\vec{d\theta}(r)$) que são gerados no LANDMARC-D continuam a serem gerados nesta otimização, uma vez que são utilizados para a estimativa da distância entre o alvo e os leitores.

O diferencial do LANDMARC 2 está no fato de que a estimativa da distância entre o alvo e os leitores é calculada através de um método de análise estatística do ambiente. Esta análise estatística é feita através do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). O MMQ é um método numérico em que, a partir de dados obtidos de forma numérica ou experimental, gera-se uma função que melhor ajusta os seus pontos obtidos a uma determinada curva (HELENE, 2006). Neste caso, o MMQ funcionará como um filtro estatístico para minimizar as interferências que o canal de propagação impõe, pois o MMQ é geralmente utilizado para fazer complemento de curvas onde um determinado ponto não tenha sido medido ou até mesmo tenha sido perdido, como por exemplo: em análises de latência de rede. Na aplicação deste método, as medições de força de sinal são organizadas e alinhadas a uma curva e assim o problema da aleatoriedade do canal é diminuído, uma vez que, para cada execução do programa, será gerada uma nova função de aproximação da curva mediante a variação do canal.

No momento de calcular a distância entre o alvo e os leitores, é feita linearização da seguinte função $\text{Log}_{10}(RSS) = A_1 \times d + A_0$, onde RSS representa a força de sinal da etiqueta medida pelo leitor; d representa a distância entre a etiqueta e o leitor e A_1 e A_0 são constantes que podem ser calculadas através do MMQ. Sendo assim, para determinar o valor de $\vec{dS}(j)$ é necessário determinar quais serão as constantes de linearização utilizadas (A_1 e A_0). Para isso, o MMQ analisa o conjunto dos valores de distâncias e de forças de sinal coletados a partir das etiquetas de referência ($d\theta_i^r$ e θ_i^r), que são conhecidos, para determinar os valores de A_1 e A_0 para cada leitor, de acordo com as Equações (17) e (18).

$$A_0(i) = \frac{\sum_{r=1}^m (d\theta_i^r)^2 \times \sum_{r=1}^m \text{Log}_{10}(\theta_i^r) - \sum_{r=1}^m d\theta_i^r \times \sum_{r=1}^m (d\theta_i^r \times \text{Log}_{10} \theta_i^r)}{m \times \sum_{r=1}^m (d\theta_i^r)^2 - (\sum_{r=1}^m d\theta_i^r)^2}, \quad (17)$$

$$A_1(i) = \frac{m \times \sum_{r=1}^m (d\theta_i^r \times \text{Log}_{10}(\theta_i^r)) - \sum_{r=1}^m d\theta_i^r \times \sum_{r=1}^m \text{Log}_{10}(\theta_i^r)}{m \times \sum_{r=1}^m (d\theta_i^r)^2 - (\sum_{r=1}^m d\theta_i^r)^2}, \quad (18)$$

onde $A_1(i)$ e $A_0(i)$ são as constantes de ajuste da função para os leitores $i \in [1, n]$ e m é o número de etiquetas de referência que o sistema possui. Uma vez que os valores das constantes estão determinados e os valores do vetor $\vec{S}(j)$ já foram gerados, o sistema pode calcular os valores do vetor $\vec{dS}(j)$ através da Equação (19).

$$dS_i^j = \frac{\text{Log}_{10}(S_i^j) - A_0(i)}{A_1(i)}. \quad (19)$$

Com todos estes valores determinados, basta gerar o novo vetor $\vec{E}(j)$, como mostrado na Equação (7), e seguir com a escolha dos elementos mais próximos para se calcular os pesos e estimar as coordenadas do alvo. A estimativa é feita da mesma forma que no LANDMARC, com o uso das Equações (4) e (5), respectivamente.

O funcionamento do algoritmo é ilustrado na Figura 14. No segundo bloco de instruções exposto na figura, o MMQ é aplicado através do uso das equações (17) e (18). Não é adicionada uma instrução no pseudocódigo para a medição da distância entre as etiquetas de referência e os leitores, pois esta informação é passada para o sistema pelo responsável pela colocação das etiquetas. No quinto bloco de instruções, onde é feita a seleção das quatro etiquetas de referência mais próximas, esta escolha é baseada nos menores valores do vetor de distâncias euclidianas, que é gerado no quarto bloco de instruções.

A vantagem do LANDMARC 2 em relação ao LANDMARC-D está no fato de que, apesar de utilizar a mesma equação para formação do vetor de distâncias euclidianas entre as etiquetas e também utilizar um parâmetro conhecido, o parâmetro estimado é obtido através de técnicas de análises estatísticas. Uma vez que a distância entre o alvo e os leitores, utilizada na estimativa do LANDMARC 2 passa por um filtro estatístico, que é feito pela linearização do MMQ, e que de certa maneira já analisa e trata da variabilidade do canal, o que torna o valor obtido mais próximo do valor real. E não foram encontrados na literatura outros sistemas que fizessem este tipo de análise de ambiente no momento de gerar a estimativa de coordenadas do alvo.

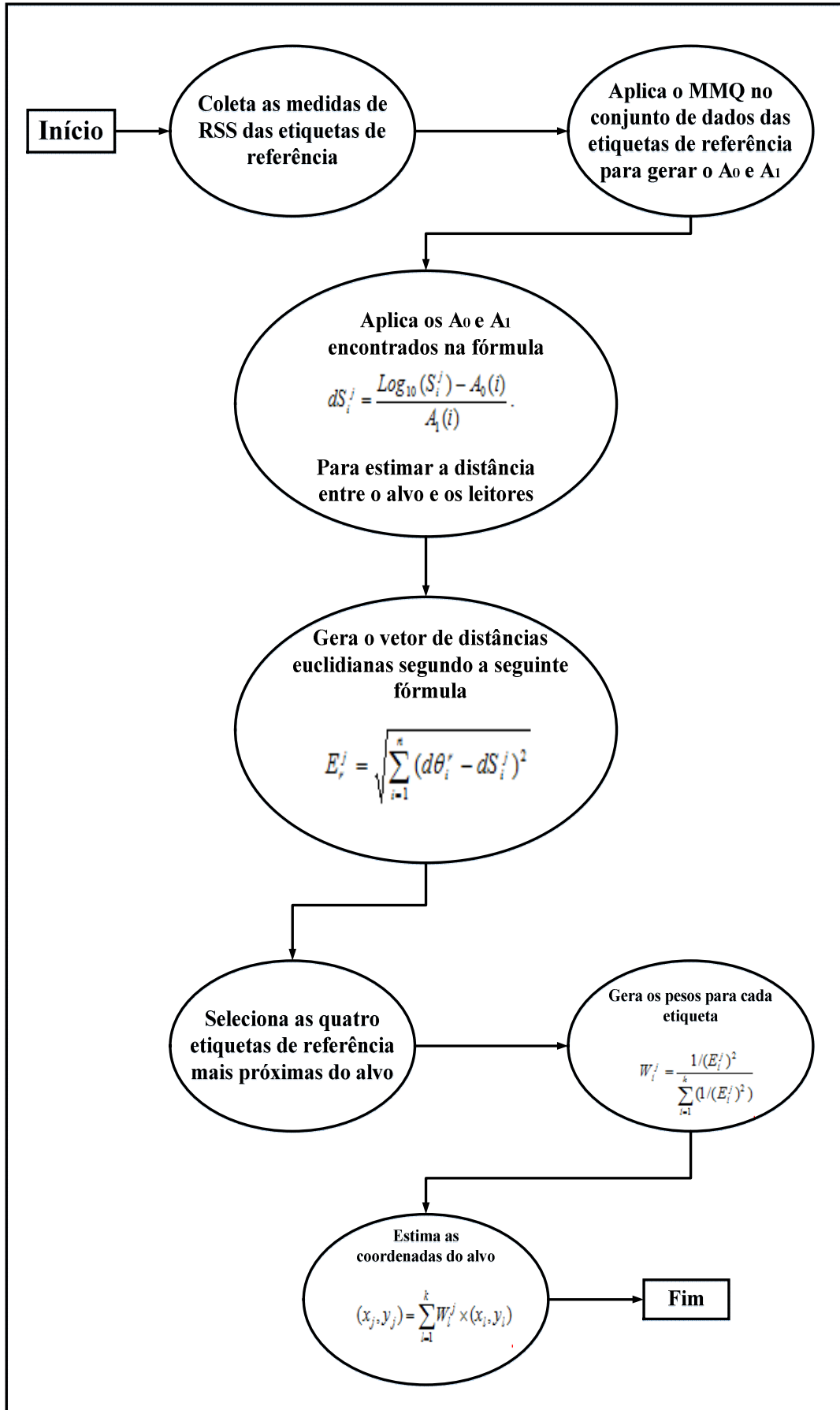


Figura 14 - Funcionamento do LANDMARC 2.

4.2.2 VIRE-R

Como foi visto anteriormente, o *threshold* se constitui como um importante parâmetro de projeto na implementação do VIRE, pois, se ele for muito pequeno, o mapa de regiões pode não ter posições suficientes para gerar uma boa estimativa e se ele for muito grande, pode acontecer do mapa de regiões ficar muito grande e aumentar o erro da estimativa. Então, por isso, a otimização proposta, que será chamada de VIRE recursivo ou VIRE-R.

Tanto Zhu e outros (2009) quanto França Neto e Gonçalves (2012), mostram que o *threshold* pode alterar significativamente o grau de acurácia de um sistema VIRE e sugerem que existe um valor ótimo para este parâmetro que possibilita que o sistema retorne seu melhor resultado. Porém este valor de *threshold* ótimo é muito variável, pois dependente muito das condições do canal. Sendo assim, a solução apresentada no VIRE-R é a criação de um mecanismo que possa fazer com que *threshold* seja variável de forma que se adeque automaticamente ao ambiente e possa retornar valores próximos ao VIRE ótimo.

O funcionamento deste algoritmo é o seguinte: as etapas 1 e 3 serão idênticas às do VIRE, porém, na etapa de montagem do mapa, o *threshold* vai iniciar com o valor de 0.5, e

enquanto $\sum_{i=1}^{n_a} n_{ci} < Q$, a segunda etapa será executada com o valor do *threshold* acrescido de

0.5 para cada execução. Quando $\sum_{i=1}^{n_a} n_{ci} \geq Q$, o VIRE-R entra na sua terceira etapa quando as

coordenadas do alvo são estimadas, onde Q é uma quantidade de áreas predeterminada, n_{ci} é o número de regiões conjuntas, e n_a é o número total de regiões em uma determinada área. O funcionamento do algoritmo é detalhado na Figura 15.

Na Figura 15 os blocos destacados representam os blocos que são alterados com a implementação do VIRE-R em relação à implementação do VIRE tradicional. A adaptação do algoritmo ao ambiente é realizada no terceiro bloco destacado, quando a quantidade de regiões marcadas é comparada ao valor de Q . O custo computacional³ deste algoritmo se torna maior que o do VIRE, uma vez que existe uma estrutura de repetição em sua implementação. Porém, o VIRE-R possibilita que o sistema responda de forma automática as alterações no canal de propagação.

³ O custo computacional está ligado a quantidade de tempo e de recursos computacionais que um algoritmo leva para resolver um problema.

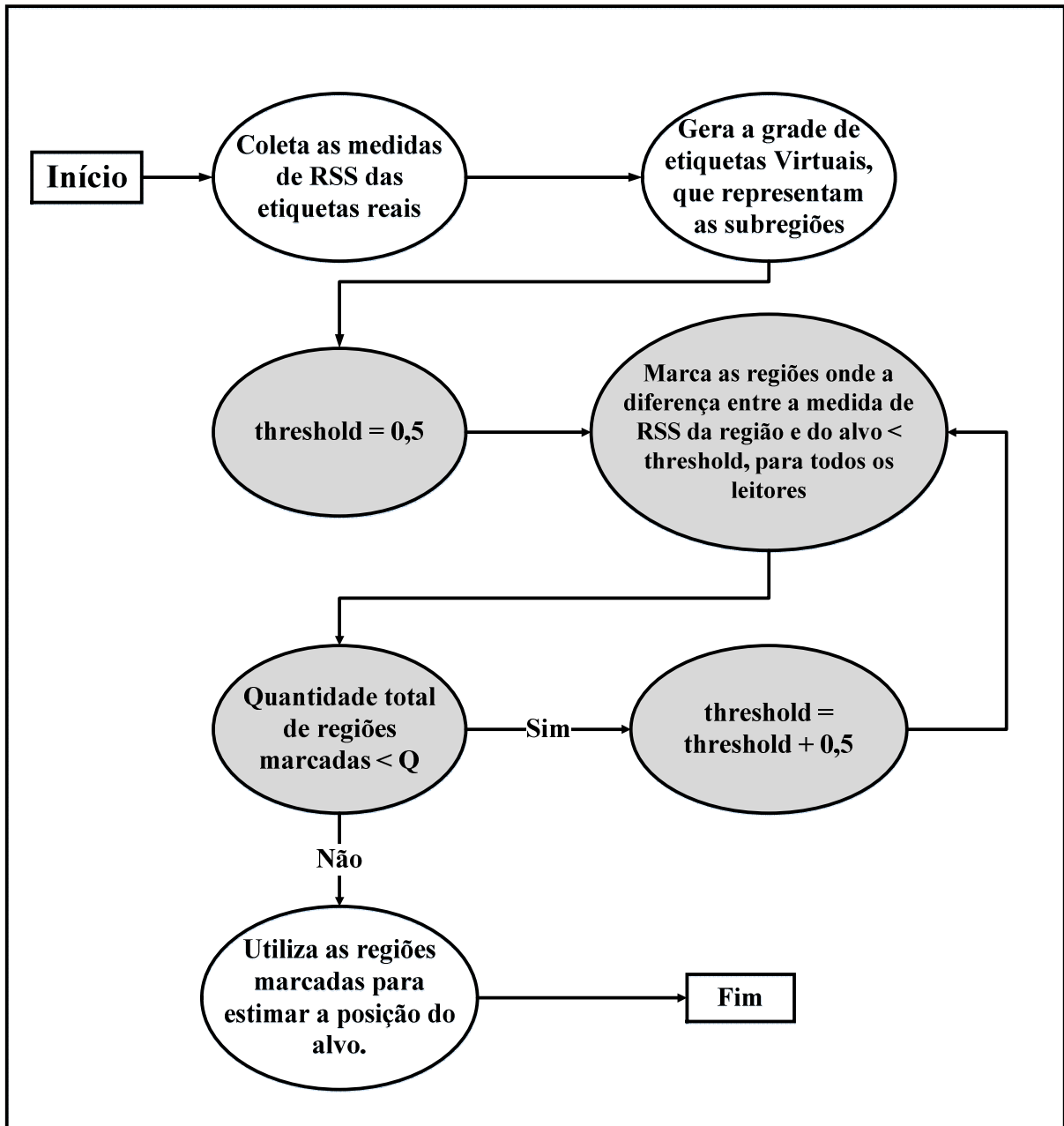


Figura 15 - Funcionamento do VIRE-R.

O valor de 0,5 é escolhido como *threshold* inicial, e também como *step* para cada nova execução, por ser um valor pequeno, sendo que, quanto menor a diferença entre a força de sinal das duas etiquetas, mais próxima a etiqueta de referência deve estar do alvo e para determinados cenários o aumento de *threshold* em uma unidade pode crescer demais o mapa de regiões. Quanto ao valor de Q , foram avaliados diversos valores para este parâmetro em todos os cenários que serão descritos na próxima seção. O que retornou melhores resultados foi $Q = \text{Total de Regiões no mapa} / n^2$. Exemplo: se o mapa tem 165 regiões e o $n = 3$, então $Q = 165 / 9 = 18,33 \cong 18$; o valor utilizado para Q é 18.

A vantagem desta otimização está no fato de facilitar a obtenção da melhor acurácia do sistema, uma vez que é muito trabalhoso adequar o *threshold* de maneira que o sistema retorne o seu resultado ótimo, levando em consideração o fato de que o canal de propagação está sujeito a grande variabilidade.

4.4 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram propostos dois algoritmos que visam aumentar a acurácia de sistemas de localização baseados em sistemas RFID. Antes que a proposta seja detalhada, é feito um resumo sobre algumas características do ambiente que podem influenciar a propagação de uma onda eletromagnética, focando nas características de ambientes de bibliotecas. A importância de abordar essas características reside no fato de as propostas tratarem justamente de problemas encontrados em sistemas atuais devido às particularidades das ondas eletromagnéticas.

O problema que é observado nas abordagens tradicionais de sistemas de localização é a falta de tratamento para imprevisibilidade das atenuações que um sinal sofrerá ao se propagar por um ambiente, uma vez que, como foi visto, as ondas sofrem atenuações por fatores aleatórios e imprevisíveis. Sendo assim, os dois algoritmos propostos possuem mecanismos para se adaptarem dinamicamente ao ambiente e dessa forma melhorar a sua precisão. Os dois algoritmos propostos são o LANDMARC 2 e o VIRE-R, que funcionam como otimização do LANDMARC e do VIRE, respectivamente.

No LANDMARC 2, é proposta uma alteração na medição de distâncias euclidianas entre o alvo e as etiquetas de referência, de forma que esta nova medição utiliza parâmetros conhecidos unidos a um parâmetro que é obtido estatisticamente através de uma observação empírica e automatizada do ambiente.

No VIRE-R, é proposto um mecanismo de atualização do parâmetro *threshold*, de forma que ele se adapte automaticamente ao ambiente para procurar o resultado ótimo para suas estimativas. Este mecanismo automático é desenvolvido de modo recursivo.

Tabela 3. Características dos algoritmos utilizados no trabalho.

Algoritmo	Características	Prós	Contras
LANDMARC	<ul style="list-style-type: none"> - Baseado em etiquetas de referência; - Parâmetros de estimativas baseados em medidas de RSS. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bem estabelecido na Literatura; - Fácil implementação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desempenho muito afetado pelas variações do ambiente; - Desempenho proporcional à quantidade de etiquetas de referência e da distância entre elas.
LANDMARC-D	<ul style="list-style-type: none"> - Otimização do LANDMARC; - Parâmetros de estimativas baseados em medidas de distância. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil implementação; - Estimativa baseada em dois parâmetros onde um deles é conhecido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Determinação do segundo parâmetro de estimativa muito afetada pelas variações do ambiente; - Desempenho proporcional à quantidade de etiquetas de referência e da distância entre elas.
VIRE	<ul style="list-style-type: none"> - Baseado em etiquetas de referências virtuais; - Parâmetros de estimativas baseados em medidas de RSS; - Divide da área consultada em sub-regiões 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução de custo do projeto devido ao uso de etiquetas virtuais; - Possibilidade de adequação estática ao ambiente com o uso dos parâmetros n e $threshold$. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade de adequação dinâmica ao ambiente; - Implementação mais complexa; - Desempenho afetado pela forma de distribuição das etiquetas de referência.
LANDMARC 2	<ul style="list-style-type: none"> - Otimização do LANDMARC; - Parâmetros de estimativas baseados em medidas de distância; - Utilização de método estatístico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil implementação; - Estimativa baseada em dois parâmetros onde um deles é conhecido. - Análise estatística do ambiente de forma dinâmica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desempenho afetado pela quantidade de etiquetas de referência e sua distribuição.
VIRE-R	<ul style="list-style-type: none"> - Otimização do VIRE; - Uso de $threshold$ variável. 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução de custo do projeto devido ao uso de etiquetas virtuais; - Possibilidade de adequação dinâmica ao ambiente com o uso de um $threshold$ adaptável. 	<ul style="list-style-type: none"> - Implementação mais complexa; - Desempenho afetado pela forma de distribuição das etiquetas de referência.

CAPÍTULO 5

SIMULADOR E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

As avaliações dos sistemas propostos nesta dissertação foram feitas através de simulação. O simulador utilizado foi desenvolvido na linguagem JAVA. Foi feita a opção pela implementação de um simulador, tendo em vista a especificidade dos cenários modelados e a possibilidade de simular diferentes condições para o canal de propagação. A estrutura do simulador necessita das seguintes informações: as coordenadas dos leitores e das etiquetas de referência, alguns parâmetros do canal de propagação e as coordenadas do alvo.

Uma vez que estas informações são adicionadas ao simulador, ele gera estimativas de posicionamento para o alvo baseados nos algoritmos LANDMARC, VIRE, LANDMARC-D, LANDMARC 2 e VIRE-R. Para simular sistemas de localização de livros em ambientes de biblioteca, utilizamos os cenários descritos na Seção 5.4 para determinar as coordenadas dos leitores e das etiquetas de referência. A implementação do VIRE estudada é a do “VIRE ótimo”, e tanto no VIRE-R quanto no VIRE ótimo serão utilizados $n=3$.

O LOCTREC e o COCKTAIL não foram utilizados nas simulações, pois a implementação desses algoritmos pressupõe algumas restrições de *hardware*. No caso do COCKTAIL, é necessário o uso de etiquetas RFID ativas. Esse tipo de etiqueta não é utilizado em bibliotecas atuais, uma vez que aumentaria muito o custo do projeto, e assim este algoritmo não se adequa ao projeto. Já o LOCTREC possui restrições em relação aos tipos de leitores utilizados, pois precisa de leitores com regulação na capacidade de leitura, e em relação ao algoritmo de localização em si, o sistema LOCTREC tem sua estimativa baseada no LANDMARC.

O objetivo maior deste capítulo é apresentar os resultados obtidos através das simulações. Esta apresentação será feita da seguinte forma: inicialmente, a Seção 5.1 detalha o modelo do canal de propagação utilizado neste trabalho; a Seção 5.2 apresenta os parâmetros utilizados nas simulações deste projeto; a Seção 5.3 apresenta a validação dos resultados do simulador, reproduzindo os experimentos realizados por Yu, Chen e Hsiang (2015) e fazendo uma comparação com os resultados obtidos no trabalho citado; a Seção 5.4 detalha alguns cenários de bibliotecas, utilizados neste trabalho, para realizar avaliações dos

sistemas e explica a metodologia dos experimentos realizados e, finalmente, na Seção 5.5 é exibida a avaliação dos resultados obtidos.

5.1 MODELAGEM DO CANAL DE PROPAGAÇÃO

Foi utilizado o modelo de propagação *Path Loss* (SARKAR et al., 2003) para simular o canal de propagação do sinal. Este é um modelo empírico, representado pela Equação (20), que mede a atenuação sofrida pelo sinal, quando se desloca por uma determinada distância.

$$PL(d) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_t}{P_r(d)} \right), \quad (20)$$

onde $PL(d)$ representa a perda de intensidade quando percorre uma distância d , em decibéis (dB); P_t representa a potência transmitida e $P_r(d)$ representa a potência recebida após percorrer uma distância d em metros. Para calcular o valor de $P_r(d)$ no espaço livre, é utilizado a Equação Friis (SARKAR et al., 2003), demonstrada abaixo:

$$P_r(d) = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \left(\frac{G_t G_r}{L} \right), \quad (21)$$

onde λ é o comprimento de onda em metros; G_t representa o ganho de potência da antena do transmissor; G_r representa o ganho de potência da antena do receptor; e L representa o fator de atenuação do canal que independe do deslocamento do sinal. Um modelo geral de *Path Loss*, que descreve a relação entre a potência recebida e a distância entre as antenas, utiliza o parâmetro γ , este parâmetro é de fundamental importância para a modelagem do canal de propagação, uma vez, que ele pode assumir valores diferentes dependendo do ambiente onde o sinal está se propagando, por exemplo, ambientes com mais de um piso ou com grandes quantidades de obstáculos. Este modelo geral expressa $PL(d)$, em dB, de acordo com a Equação (22).

$$PL(d) = PL(d_0) + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma, \quad (22)$$

onde $d_0 = 1$ metro e X_σ é uma variável aleatória gaussiana com média 0 e desvio padrão σ , que representa a forma em decibel de L .

Porém, neste trabalho, as etiquetas que serão modeladas são passivas e, como foi visto na Seção 3.2, etiquetas deste tipo enviam sinais dependendo do sinal recebido pelo leitor. Esta resposta da etiqueta para o leitor é chamada de *backscatter*. Griffin e Durgin (2009) mostram que a potência recebida por um leitor monoestático, que utiliza uma única

antena para receber e enviar sinais, em uma comunicação com *backscatter*, é representada na Equação (23).

$$\Pr(d) = Pt \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^4 \left(\frac{G_t G_r}{L} \right)^2 \left(\frac{X^2 M}{\Theta^2 F_2} \right), \quad (23)$$

onde X representa a diferenciação de polarização entre o leitor e a etiqueta, o seu valor varia entre 0 e 1; M representa o fator de modulação, dependente do tipo de modulação de sinal utilizado e do material que envolve a antena; Θ representa a atenuação sofrida pelo sinal devido ao material no qual a etiqueta está acoplada; e F_2 representa a margem de perda energética para um dado percurso, que é um valor aleatório, dependendo da existência ou não de visada direta entre etiqueta e leitor.

Passando a Equação (23) para escala de decibel, temos a Equação (24).

$$10\text{Log}_{10}(\Pr) = 10\text{Log}_{10}(Pt) + 20\text{Log}_{10}(G_t G_r) + 10\text{Log}_{10}\left(\frac{X^2 M}{\Theta^2}\right) - 2PL(d) - 2\omega, \quad (24)$$

onde, ω representa o valor em decibel da fadiga em um dos trechos do percurso. Sendo assim, a potência recebida pelo leitor depois do *backscatter* é representada na Equação (25).

$$\Pr(d) = Pt(G_t G_r)^2 \left(\frac{X^2 M}{\Theta^2} \right) \left(10^{\frac{-2(PL(d)+\omega)}{10}} \right). \quad (25)$$

5.2 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas utilizando cenários onde os leitores e as etiquetas possuem as mesmas especificações técnicas. Os leitores modelados nos testes têm as seguintes configurações: leitor monoestático com potência de transmissão de 30 dBm, frequência de 914 MHz, dimensões de 50 cm x 50 cm x 8 cm. As etiquetas, por sua vez, são consideradas como passivas, com frequência de 914 MHz. Consideramos que a modulação utilizada na troca de sinal é a ASK. A diferenciação de polarização (X) será assumida como 0,5; o fator de modulação (M) para etiquetas em papel com modulação ASK é assumido como 0,25, bem como a atenuação sofrida pelo sinal devido ao papel (Θ) é 1,2. Para simular canais com desvanecimento de sinal, pode-se utilizar a distribuição de probabilidade de Rayleigh (COGLIATTI, 2013). Sendo assim, para fins das simulações, ω será uma variável aleatória de Rayleigh. Todos os valores expressos neste parágrafo foram apresentados por Griffin e Durgin (2009).

Uma variável aleatória de Rayleigh (ω) é gerada pela Equação (26).

$$(26)$$

$$\omega = \sqrt{Y1 + Y2},$$

onde $Y1$ e $Y2$, são variáveis gaussianas mutuamente independentes, com média nula e variância igual. Sendo assim, será utilizada a variância do ambiente (σ^2) para gerar ω .

Assim, os parâmetros utilizados nas simulações deste projeto para gerar a potência recebida pelos leitores, a partir de etiquetas que estão a uma distância d deles, assumem os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros do canal utilizados nas simulações.

P_t	G_t	G_r	X	M	Θ
1000 mW	1	1	0,5	0,25	1,2

5.3 VALIDAÇÃO DO SIMULADOR

Antes de iniciar a avaliação dos resultados obtidos neste trabalho, foi realizada uma validação dos valores gerados pelo simulador desenvolvido. Para fazer a validação do simulador, foi replicado o experimento realizado por Yu, Chen e Hsiang (2015) e depois comparados os resultados obtidos com os resultados apresentados por eles. A escolha deste artigo especificamente deve-se ao fato de ele utilizar os algoritmos que servem de base para as propostas deste trabalho (o LANDMARC, o VIRE e o LANDMARC-D), além de detalhar o experimento de forma reproduzível. As análises feitas no artigo se dividem em duas: uma baseada em simulação e outra baseada em um experimento real. A métrica utilizada para que a comparação dos algoritmos seja realizada é o erro médio em duas dimensões, como exibido na Equação (27).

$$ErroM\u00e9dio = \sqrt{(x_r - x_e)^2 + (y_r - y_e)^2}, \quad (27)$$

onde (x_r, y_r) são as coordenadas reais do alvo e (x_e, y_e) são as coordenadas estimadas pelo algoritmo.

A configuração do experimento foi a seguinte: foram utilizados 4 leitores que ficavam localizados no centro de cada uma das paredes que envolviam a sala; foram utilizadas 64 etiquetas de referência, formando uma grade de 8 x 8 de forma regular, com uma distância de 1 metro entre cada uma delas. A distância entre cada um dos leitores e a grade de etiqueta de referência também foi de 1 metro. O *layout* da configuração utilizada está ilustrado na Figura 16.

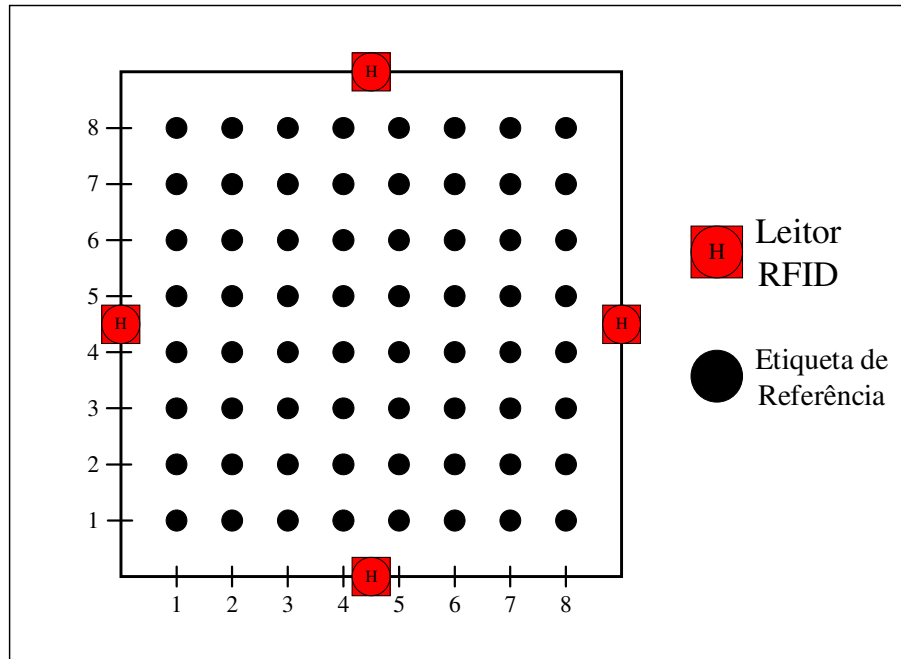


Figura 16 - Configuração do experimento realizado no artigo de Yu, Chen e Hsiang (2015).

Fonte: Adaptado de Yu, Chen e Hsiang (2015).

Nas simulações realizadas pelos autores, o canal de propagação do sinal é modelado pela Equação (21). As etiquetas alvos foram uniformemente distribuídas pelas regiões de forma randômica, por 100 vezes. Para fins de simulação, foi considerado que o sinal enviado entre etiqueta e leitor tem frequência de 914 MHz e que todas as etiquetas e leitores são ideais e idênticos em termos de capacidade de processamento de sinal.

A simulação de validação foi realizada com as mesmas configurações e na mesma quantidade de vezes das simulações realizadas por Yu, Chen e Hsiang (2015) e os parâmetros de canal utilizados foram os descritos na tabela 4. Os resultados obtidos nas simulações de validação são apresentados na Figura 17. Nesses resultados, utilizamos intervalo de confiança de 99%. No simulador desenvolvido para este trabalho, tanto o LANDMARC-D quanto o VIRE obtiveram resultados estatisticamente equivalentes ao do artigo, porém o LANDMARC apresentou um erro maior que o apresentado pelos autores. No entanto, eles não apresentam o intervalo de confiança das simulações, e como o número de simulações é relativamente pequeno, o intervalo de confiança seria fundamental para a comparação dos resultados.

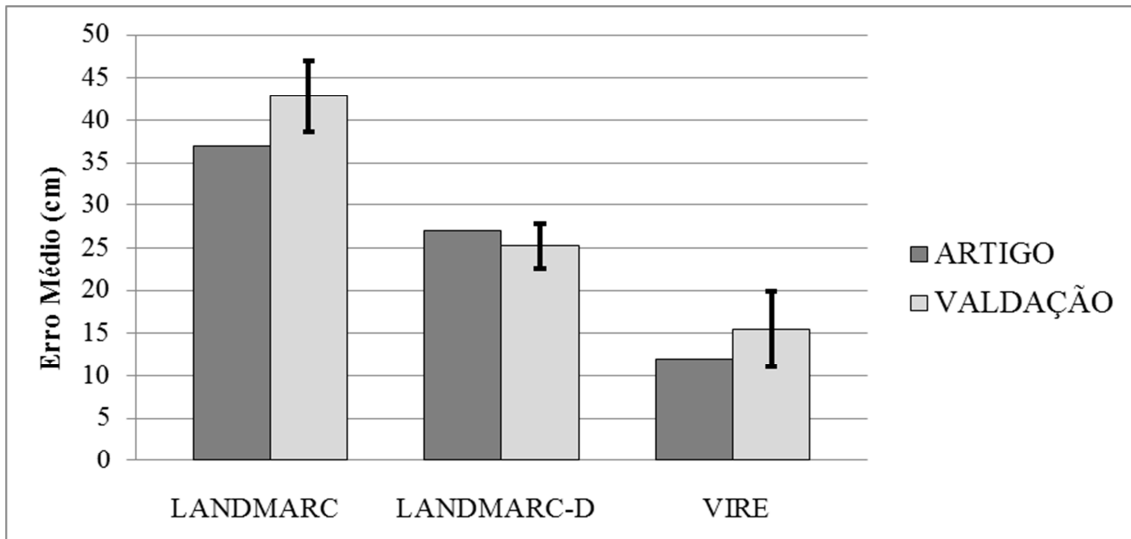


Figura 17 - Validação com os resultados da simulação no artigo de Yu, Chen e Hsiang (2015).

Para dar prosseguimento ao processo de validação do simulador, foi feita a simulação do experimento real realizado no artigo, replicando o cenário apresentado na Figura 16 em um ambiente livre. Foram utilizados leitores RFID UHF, com antena circular com painel polarizado de 902-928 MHz; e etiquetas RFID do tipo: EPCglobal Gens Tag-RFID 860-960 MHz.

Para a simulação de validação, foi utilizado o modelo de propagação de sinal *Path Loss* generalizado expresso na Equação (22). Em Sarkar e outros (2003), é visto que $\gamma = 2$ para espaço livre, como é utilizado no experimento, bem como também é dito que o $PL(1metro) = 20\text{Log}_{10}\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)$, por isso, esses valores foram utilizados como parâmetros nos experimentos de validação. Para simular um cenário real, foram coletados resultados com a variância do canal entre $\sigma^2 = 0$ e $\sigma^2 = 5$, a um passo de 1, tendo em vista a baixa variabilidade do canal, uma vez que o experimento foi realizado em um ambiente isolado. Os resultados dessas simulações são apresentados na Figura 18. Como os autores do trabalho, que serviu de base para a validação, não deixam clara a quantidade de vezes que o experimento foi realizado e qual o intervalo de confiança dos seus resultados, as simulações de validação foram realizadas em uma quantidade pouco maior que as realizadas para fins de comparação com o ambiente simulado deles, de forma que as simulações realizadas para validação, comparativa com o ambiente real, tivesse o intervalo de confiança menor, sendo assim, os valores exibidos na Figura 18 são resultados de 200 simulações com um intervalo de confiança de 99%, para cada variância.

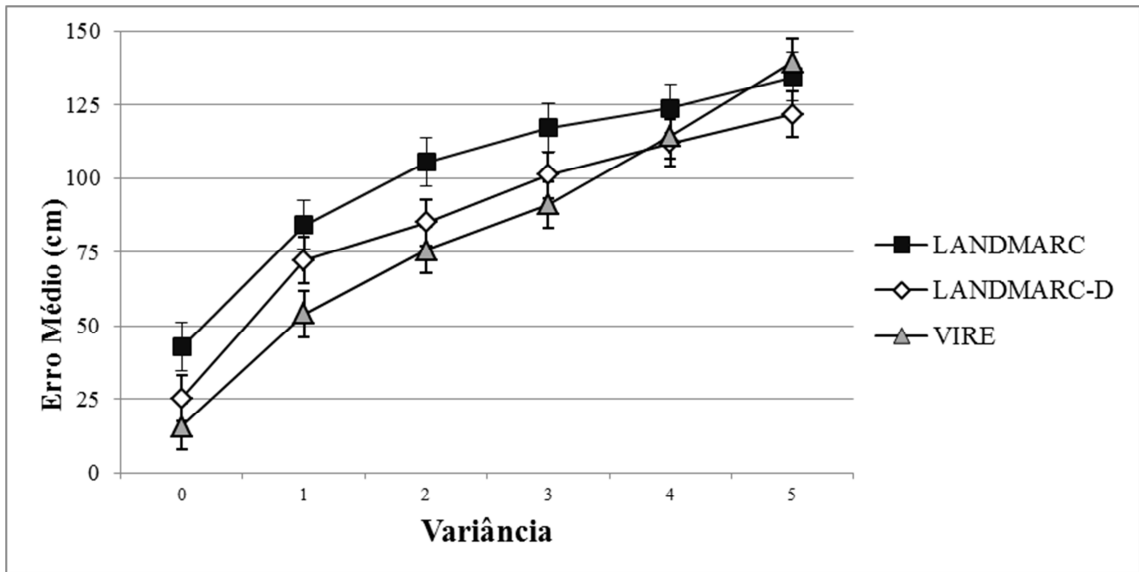


Figura 18 - Resultado da simulação do experimento para diversas variâncias.

Com a observação dos resultados obtidos, foi checado que os valores do artigo são estatisticamente equivalentes aos resultados obtidos na simulação de validação quando $\sigma^2 = 1$, como é ilustrado na Figura 19, como o canal não dos experimentos reais não sofre grandes interferências externas, o baixo valor de variância está adequado. Como foi dito anteriormente, informações como a quantidade de testes realizados no experimento e o intervalo de confiança dos resultados não são relatadas no artigo. A validação com os dados, tanto da experimentação simulada quanto a prática, demonstra resultados compatíveis com os obtidos pelo simulador desenvolvido para este projeto.

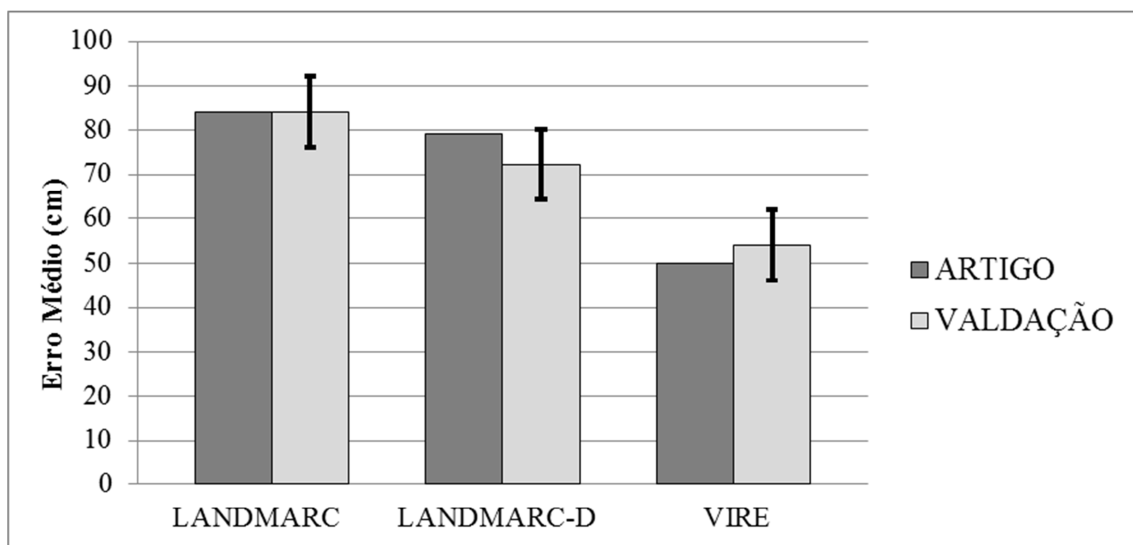


Figura 19 - Validação com os resultados do experimento prático do artigo de Yu, Chen e Hsiang (2015).

5.4 CENÁRIOS E METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

A proposta foi desenvolvida baseada na acurácia de sistemas de localização em ambientes de bibliotecas, de forma que a avaliação dos sistemas foi feita em modelos de bibliotecas reais. Foram modeladas duas bibliotecas pertencentes ao Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade Federal de Pernambuco, uma é a Biblioteca do Centro de Ciências Jurídicas (BIB CCJ) e a outra é a Biblioteca do Centro de Ciências Exatas e da Natureza (BIB CCEN). Estas bibliotecas apresentam distribuições diferentes de estantes, porém utilizam estantes do mesmo modelo. As estantes presentes nas bibliotecas são de metal, têm duas faces e cinco prateleiras cada uma. As dimensões das estantes são as seguintes: 92 cm de comprimento, 66 cm de largura e 198 cm de altura.

A planta da BIB CCJ possui uma área retangular com 15 metros de comprimento e 5,5 metros de largura e 27 estantes no seu interior, que são distribuídas de forma pouco uniforme, como é ilustrado na Figura 20 e explicado a seguir:

- As estantes são divididas em 9 filas de maneira que a distância entre elas é de 94 cm, com exceção da distância entre a última e a penúltima fila de estantes, que neste caso é de 194 cm;
- A primeira fila é formada por 4 estantes unidas; esta fila fica encostada em uma das paredes menores, que são as paredes da largura, e a uma distância de 91 cm de cada uma das paredes maiores, que são as paredes do comprimento;
- As filas 2, 3 e 4 também são formadas por 4 estantes, porém uma dupla de estantes fica unida e encostada em uma das paredes do comprimento e a outra dupla fica encostada na outra parede do comprimento;
- A quinta fila é formada por 3 estantes, sendo que a primeira estante fica encostada a uma parede do comprimento e a outra dupla fica unida a uma distância de 71 cm da outra parede do comprimento;
- As filas 6,7,8 e 9 são formadas por 2 estantes que ficam unidas entre si e a uma distância de 71 cm da segunda parede do comprimento.

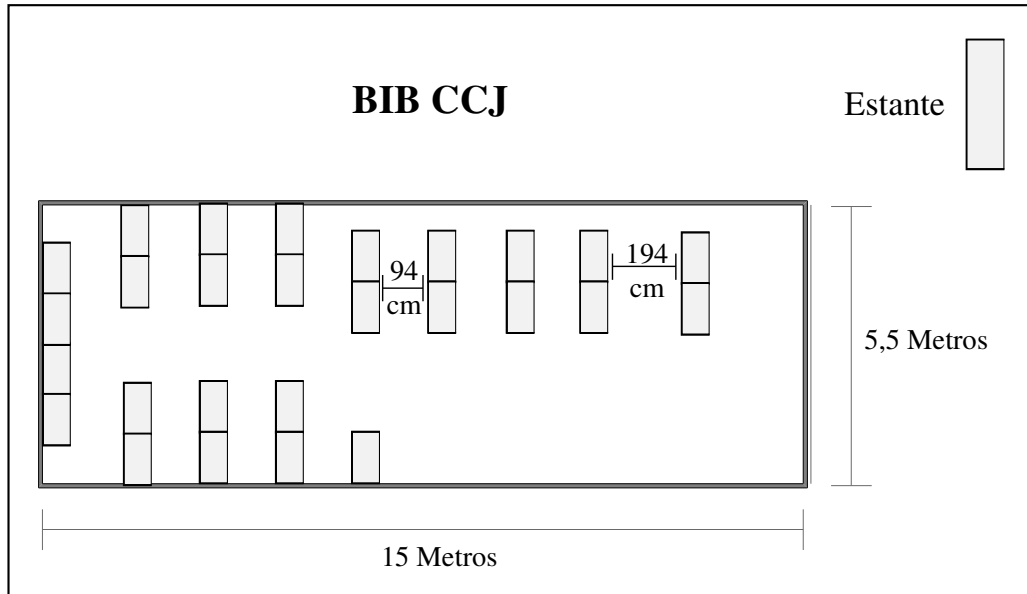


Figura 20 - Planta baixa da Biblioteca do CCJ.

A planta da BIB CCEN possui uma área retangular com 20 metros de comprimento e 7 metros de largura e 52 estantes no seu interior, que são distribuídas de forma uniforme, como é ilustrado na Figura 21 e explicado a seguir:

- As estantes são divididas em 13 filas, com 4 estantes unidas cada uma de maneira que a distância entre duas filas consecutivas é de 80 cm.
- A primeira fila fica a 91 cm da primeira parede da largura e as filas ficam a uma distância de 100 cm de uma das paredes do comprimento e a 232 cm da outra parede.

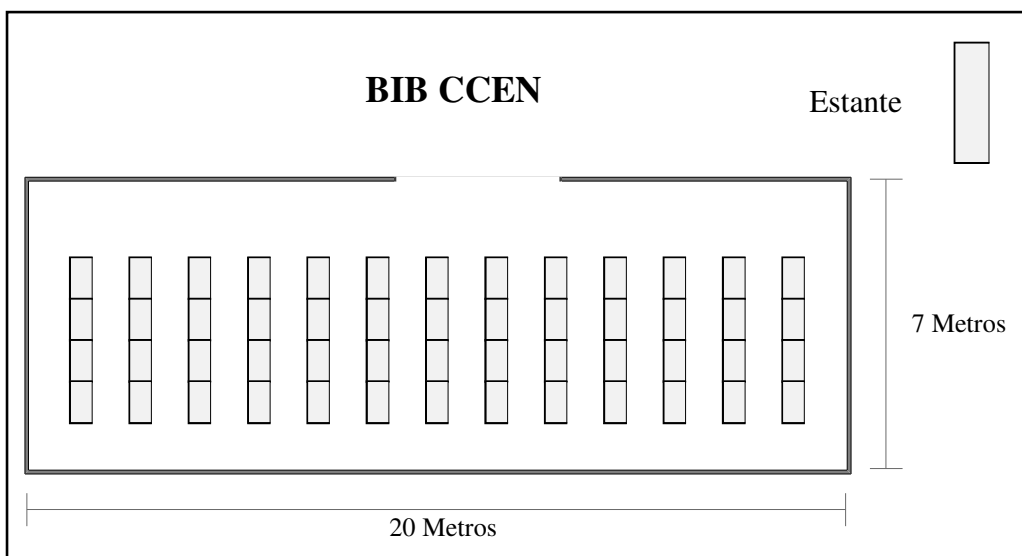


Figura 21 - Planta baixa da Biblioteca do CCEN.

Além do posicionamento das estantes, é importante definir a colocação das etiquetas de referência e dos leitores RFID para estabelecer a modelagem de um sistema de localização *indoor*. Foram modelados leitores RFID UHF, com antena circular com painel polarizado de 914 MHz e etiquetas RFID passivas de 914 MHz. Primeiramente foi proposto um cenário para colocação dos leitores e das etiquetas de referência, e conforme a avaliação foi avançando, foram realizadas algumas alterações nas configurações de posicionamento tanto dos leitores quanto das etiquetas para que o desempenho do sistema, com estas variações, fosse considerado na avaliação.

Assim, este trabalho considera três configurações de posicionamento de leitores e três configurações de posicionamento de etiquetas de referência para cada uma das bibliotecas. Essas configurações são combinadas para formarem nove cenários distintos de posicionamento de etiquetas e leitores da infraestrutura necessária aos algoritmos de localização. As configurações de posicionamento para os leitores e etiquetas são as seguintes:

Configuração de Leitores #1 (L1): A Figura 22 ilustra o posicionamento dos leitores. Ao todo são 6 leitores distribuídos pelo ambiente, localizados nos extremos de forma a cobrir todo o ambiente para uma melhor cobertura, conforme estudos apresentados por Silva e Gonçalves (2011). Os leitores estão a uma altura de 120 cm e o alcance máximo de comunicação é de aproximadamente 10 metros.

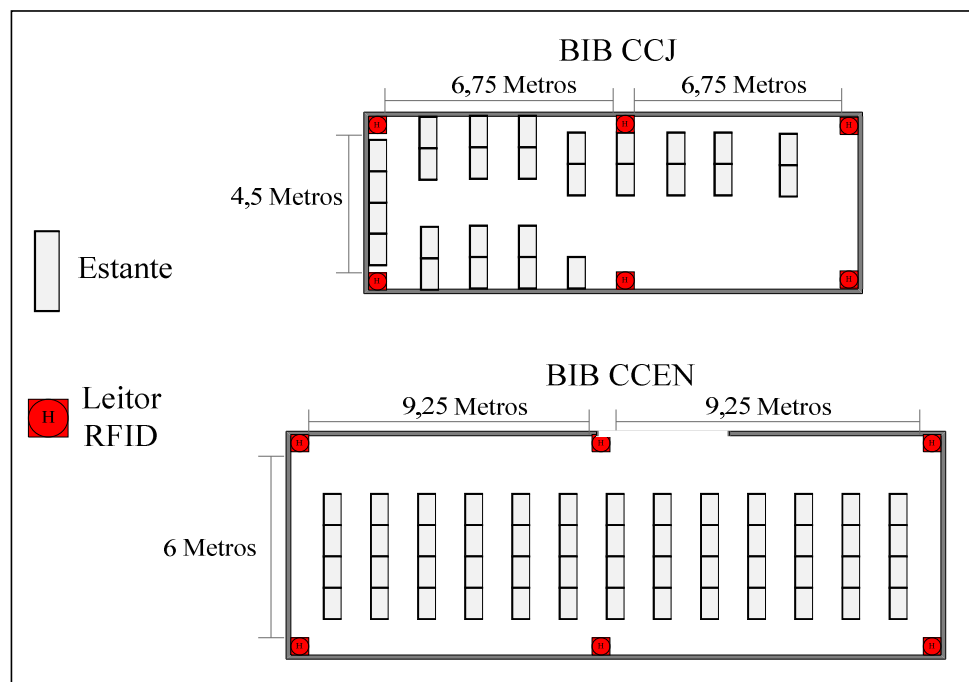


Figura 22 - Configuração de Leitores #1 (L1).

Configuração de Leitores #2 (L2): A Figura 23 ilustra o posicionamento dos leitores. A diferença para a primeira configuração está na consideração de um ambiente 3D com 12 leitores. Desses 12 leitores, 6 estão situados na mesma altura das estantes e 6 estão próximos ao piso da biblioteca. O objetivo deste cenário é avaliar se há algum ganho em termos de precisão com leitores em planos diferentes.

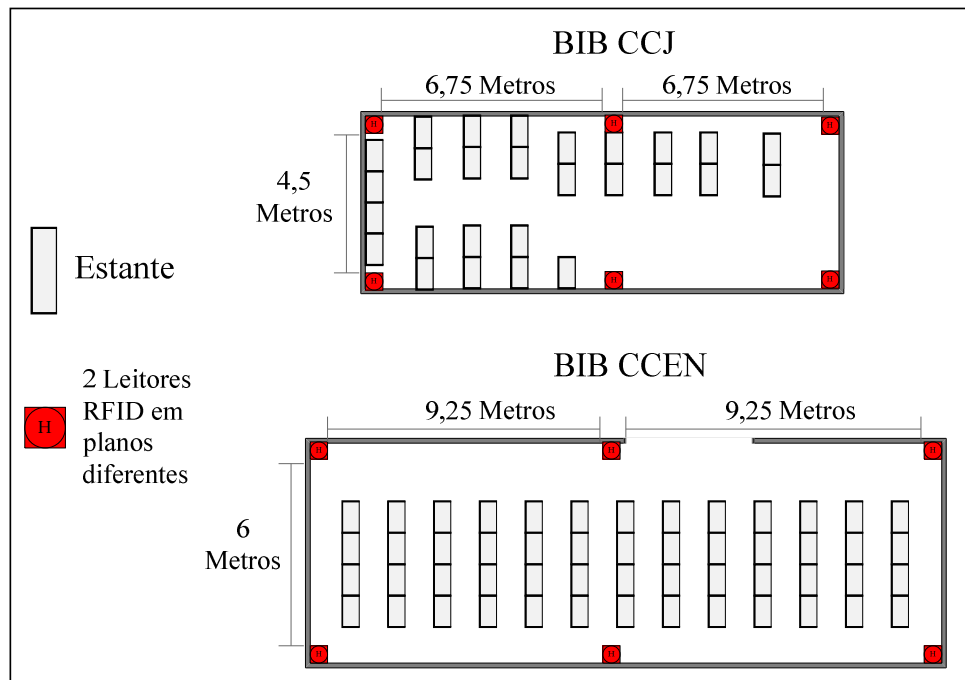


Figura 23 - Configuração de Leitores #2 (L2).

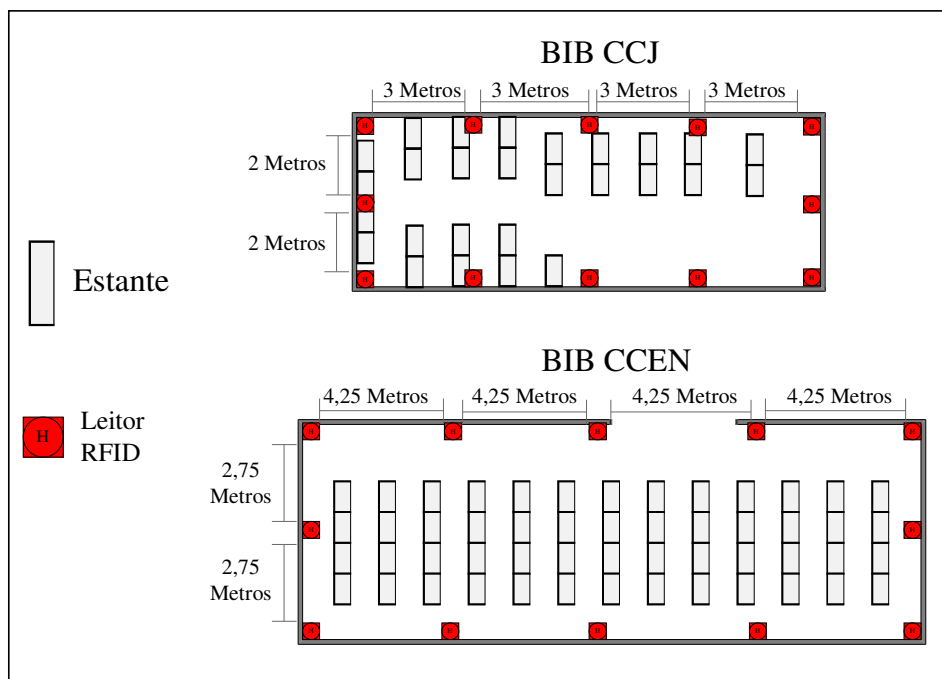


Figura 24 - Configuração de Leitores #3 (L3).

Configuração de Leitores #3 (L3): Nesta configuração, são utilizados 12 leitores distribuídos em um mesmo plano e a uma altura de 120 cm. A ideia é analisar o impacto de uma distância menor entre leitores em comparação à configuração com 6 leitores. A Figura 24 mostra o posicionamento dos leitores nas duas bibliotecas.

Configuração de Etiquetas #1 (E1): Cada estante (retângulo) representada na Figura 25 possui 1 etiqueta cujas coordenadas x,y estão no centro da estante. Para cada fileira de estantes, a altura de cada etiqueta é calculada da seguinte forma: divide-se a altura da estante pela quantidade de etiquetas na fileira menos 1, obtendo-se um valor de referência p . Em seguida, posicionam-se, nas filas de estantes ímpares, a primeira etiqueta na altura 0 metros e cada outra etiqueta sequencialmente a p metros de altura da anterior; e nas fileiras pares, posicionam-se a primeira etiqueta na altura da estante e cada outra etiqueta sequencialmente a p metros de altura da anterior, de forma decrescente, como mostrado na Figura 26.

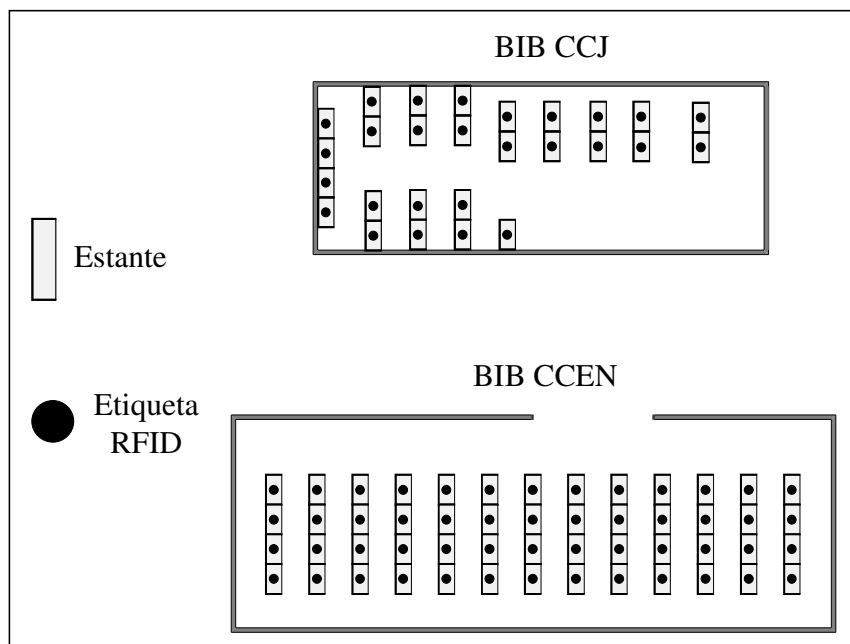


Figura 25 - Configuração de Etiquetas #1 (E1).

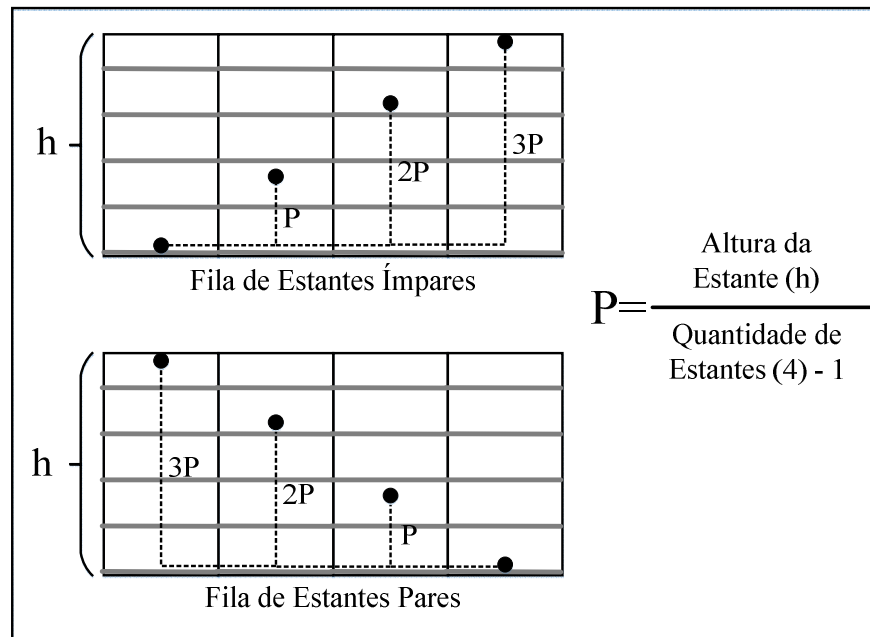


Figura 26 - Ilustração da locação das etiquetas em relação à altura.

Configuração de Etiquetas #2 (E2): Nesta configuração, uma etiqueta é posicionada em cada quina de cada estante. Contudo, estantes vizinhas numa mesma fileira compartilham as mesmas etiquetas nas quinas onde se unem. A Figura 27 ilustra essa disposição. Em relação à altura, a mesma lógica de posicionamento da Configuração de Etiquetas #1 é empregada. O esquema de posicionamento adotado parte do resultado apresentado por Silva e Gonçalves (2011), que dizem que há uma tendência dos algoritmos em estimar o posicionamento do alvo dentro do retângulo formado por um conjunto de 4 etiquetas de referência.

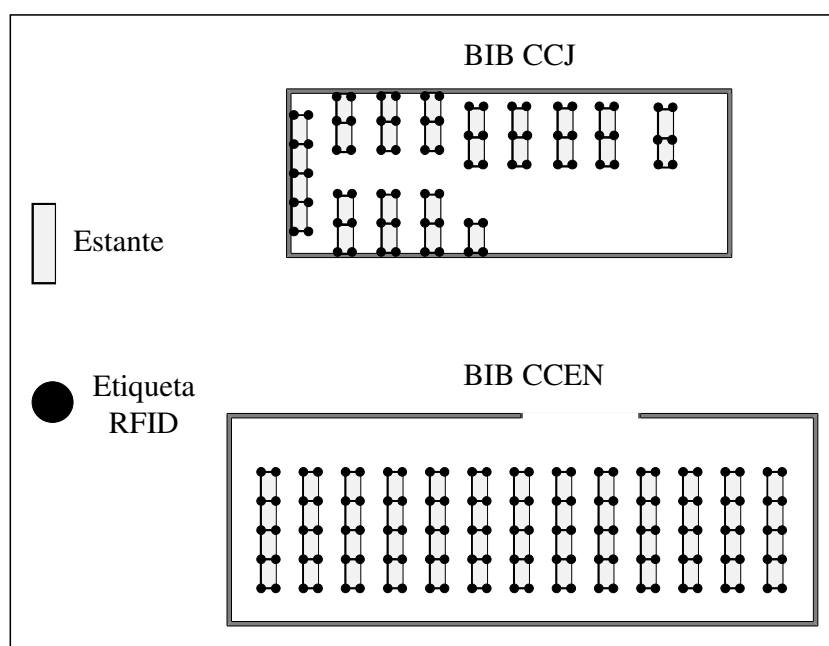


Figura 27 - Configuração de Etiquetas #2 (E2).

Configuração de Etiquetas #3 (E3): Para tentar reduzir a possibilidade de a estimativa do alvo ser direcionada para os corredores, também foi estudada a configuração descrita no texto que segue. As etiquetas de referência são posicionadas nos corredores (com exceção das extremidades da biblioteca) e alinhadas com extremos das estantes, como ilustrado na Figura 28. A altura das etiquetas segue a mesma lógica descrita para a Configuração de Etiquetas #1.

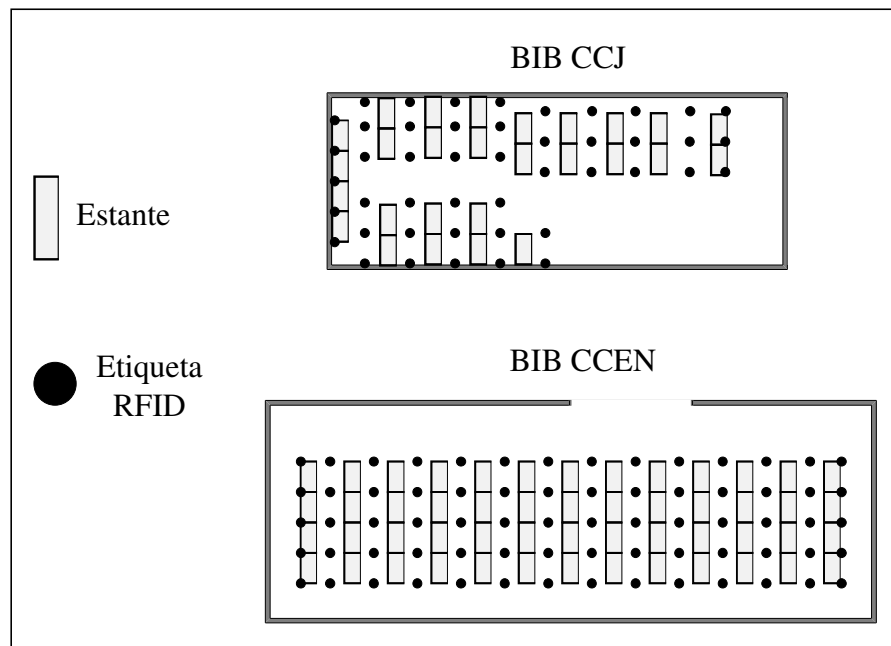


Figura 28 - Configuração de Etiquetas #3 (E3).

As simulações foram realizadas utilizando como base os cenários detalhados anteriormente e o canal foi modelado de acordo com a Equação (25).

Em um primeiro conjunto de simulações, são avaliadas as nove combinações de configurações de posicionamento leitor-etiqueta, conforme descritas anteriormente. O objetivo é encontrar a configuração mais vantajosa em termos de precisão para os algoritmos estudados em ambientes de biblioteca. Livros etiquetados são os alvos a serem localizados e os alvos são marcados em posições aleatórias nas estantes, são utilizados os cinco algoritmos anteriormente citados (LANDMARC, LANDMARC-D, VIRE, LANDMARC 2, VIRE-R) para gerar estimativas de localização para o alvo de forma simultânea. A acurácia apresentada será o resultado de 5000 simulações, cada qual com a marcação de um único alvo. O nível de confiança adotado é de 99% e será representado por barras de erro. A acurácia é avaliada em função do erro médio de localização, que é calculado conforme a seguinte equação:

$$\text{ErroMédio} = \sqrt{(x_r - x_e)^2 + (y_r - y_e)^2 + (z_r - z_e)^2}, \quad (28)$$

onde (x_r, y_r, z_r) são as coordenadas reais do alvo e (x_e, y_e, z_e) são as coordenadas estimadas pelo algoritmo. Na sua forma original, todos os algoritmos foram descritos para gerar estimativas de ambientes com apenas duas dimensões, porém, nas simulações realizadas neste trabalho, os algoritmos foram adaptados para gerarem estimativas com três dimensões, para isso basta incluir a coordenada “Z” nas equações (5) e (13). Com a alteração da equação (5), adapta os algoritmos LANDMARC, LANDMARC-D e LANDMARC 2; com a alteração da equação (13) adapta os algoritmos VIRE e VIRE-R.

Para modelar o canal da forma mais adequada, foi feita uma pesquisa na literatura de trabalhos que modelassem ambientes de bibliotecas. Foi visto que Wing e outros desenvolveram um trabalho que propõe um sistema de localização de livros em bibliotecas com apoio de identificação de imagem, eles realizaram os experimentos por meio de simulação e modelaram o canal com os seguintes parâmetros: $PL(d_0) = 31,7 \text{ dB}$; $\gamma = 1,81$; $\sigma = 5,2$. Esses valores estão de acordo com resultados empíricos para ambientes com prateleiras de metal, que são baseados em valores descritos por Seidel e Rappaport (1992) no que se refere a uma mercearia ou supermercado, devido à disposição de estantes e características do ambiente. Sendo assim, no primeiro conjunto de simulações, para avaliar o impacto do posicionamento da infraestrutura de leitores-etiquetas, são adotados os mesmos parâmetros citados anteriormente.

Tendo em vista os valores da Tabela 4, os parâmetros para gerar a potência recebida pelos leitores, a partir das etiquetas que estão a uma distância d deles, no primeiro conjunto de simulações, assumem os valores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros do Canal usados no primeiro conjunto de simulações.

P_t	G_t	G_r	X	M	Θ	$PL(d_0)$	γ	σ
1000 mW	1	1	0,5	0,25	1,2	31,7	1,81	5,2

A fim de se realizar uma comparação mais aprofundada dos algoritmos, um novo conjunto de simulações foi realizado, utilizando-se como base a configuração leitores-etiqueta que gerou melhores resultados. Com tal conjunto de simulações, a precisão é estudada em função de diferentes valores de γ e da variância da força de sinal no canal de comunicação, representada por σ^2 . Como o segundo conjunto de simulações se propõe a avaliar o comportamento dos algoritmos em diferentes condições do canal de propagação, são

realizadas avaliações para os seguintes valores $\gamma = 1,81$ (menor valor encontrado no estudo empírico de Seidel e Rappaport (1992) para vários ambientes estudados), $\gamma = 3,54$ e $\gamma = 5,22$, que representam, respectivamente, um valor médio para o expoente de atenuação e o valor máximo obtido no estudo apresentado por Seidel e Rappaport (1992). Como, no estudo de ambientes citados, foram avaliados muitos ambientes, foram selecionados os valores mais extremos e um valor mediano para serem avaliados neste trabalho, com o objetivo de avaliar o comportamento dos algoritmos com esta crescente no valor do parâmetro de atenuação, de forma que pudesse se ter a ideia da diferença de desempenho deles para diferentes estruturas de bibliotecas. Em relação à variância do canal, são estudados valores entre $\sigma^2 = 0$ e $\sigma^2 = 27,5$, a um passo de 2,5, a variância do canal esta ligada à aleatoriedade de fatores atenuantes presentes no ambiente, desde um ambiente ideal onde não se tenha alterações no canal ($\sigma^2 = 0$) até um ambiente de grande variabilidade semelhante a ambientes reais. É importante frisar que os demais parâmetros de modelagem do canal são mantidos conforme a Tabela 2 e o $PL(d_0) = 31,7$ também é mantido. Os resultados obtidos destes conjuntos de experimentos são detalhados na Seção 5.5.

5.5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Esta Seção apresenta a avaliação dos resultados obtidos nos experimentos deste projeto. A avaliação será dividida em duas partes. Primeiramente serão detalhados os resultados do primeiro conjunto de simulações, onde são avaliadas as configurações de leitores-etiquetas. Após isso, será comparada a acurácia de cada um dos algoritmos, com base nos resultados do segundo conjunto de simulações.

5.5.1 COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS

Como dito na seção anterior, foi realizado um primeiro conjunto de simulações para avaliar as 9 combinações de configurações de posicionamento leitor-etiqueta. As Figuras 29 e 30 apresentam os resultados de precisão dos algoritmos estudados para o primeiro conjunto de simulações em relação às bibliotecas do CCJ e CCEN, respectivamente. Nos gráficos, as configurações de leitores são representadas por “L*” e as configurações de etiquetas serão representadas por “E*”, onde * representa o número da configuração. Assim, por exemplo, a configuração de leitores #1, combinada com a configuração de etiquetas #2, é representada

por “L1E2”. Note-se que existe uma grande influência do posicionamento dos leitores e das etiquetas nos resultados. Note-se também que o LANDMARC 2 possui desempenho melhor ou igual em relação aos outros algoritmos avaliados para todas as configurações nas bibliotecas do CCEN e do CCJ.

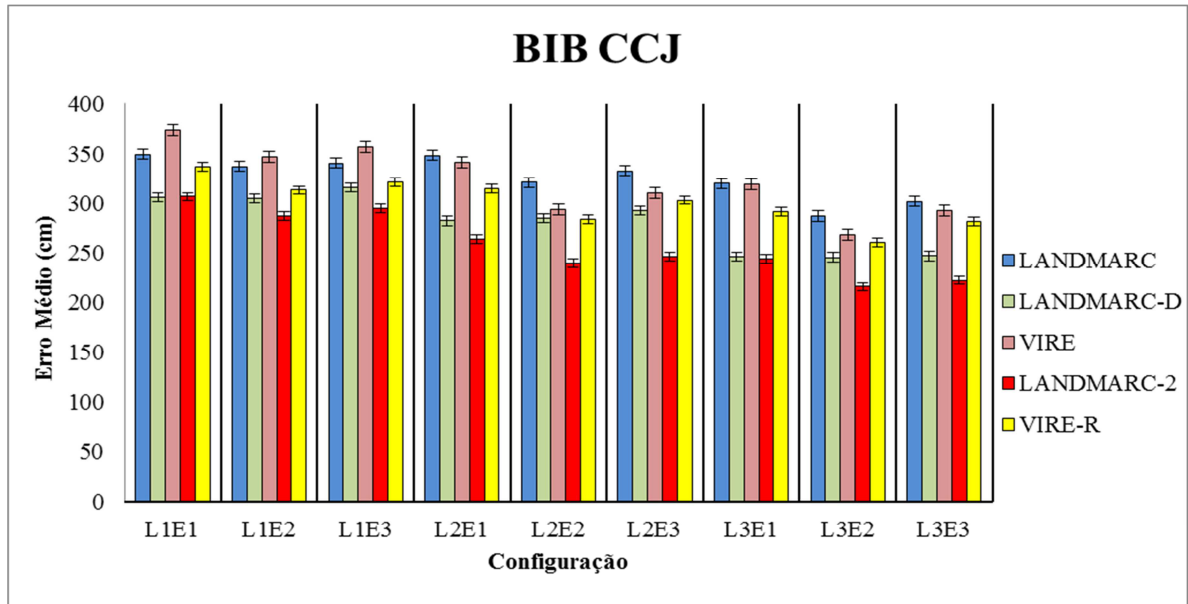


Figura 29 - Gráfico com o erro médio dos algoritmos para os cenários da BIB CCJ.

Em relação à biblioteca do CCJ, todos os algoritmos apresentam melhores resultados com as configurações L3E2, porém é importante salientar que o LANDMARC-D apresenta valores estatisticamente equivalentes para as configurações L3E1, L3E2 e L3E3; já o LANDMARC 2 apresenta resultados estatisticamente iguais para L3E2 e L3E1. Quando analisada cada configuração da BIB CCJ isoladamente, podemos tirar as seguintes conclusões: como era de se esperar, o aumento da quantidade de leitores nos cenários tem um impacto positivo para a acurácia do sistema com o uso de todos os algoritmos; a proximidade entre os leitores também ajuda no desempenho do sistema, uma vez que as configurações L3 possuem melhor desempenho que as configurações L2, mesmo tendo a mesma quantidade de leitores. O aumento da quantidade de etiquetas também contribui para a melhoria da acurácia do sistema, com exceção do LANDMARC-D, no qual as configurações E1 apresentam resultados melhores do que a E3, mesmo com menos etiquetas.

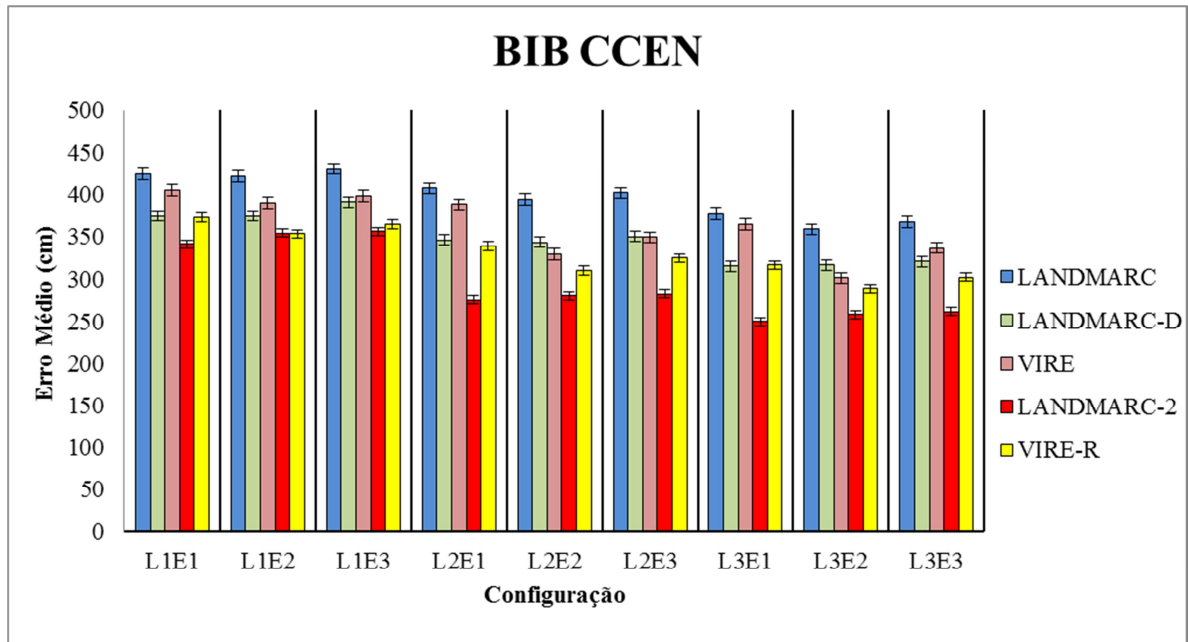


Figura 30 - Gráfico com o erro médio dos algoritmos para os cenários da BIB CCEN.

Já em relação à biblioteca do CCEN, quase todos os algoritmos apresentam melhores resultados com as configurações L3E2, com a exceção do LANDMARC 2, que apresenta seu melhor resultado com a configuração L3E1, e o LANDMARC-D, que apresenta valores estatisticamente equivalentes para as configurações L3E1, L3E2 e L3E3. Quando analisada cada configuração da BIB CCEN isoladamente, podemos tirar as seguintes conclusões: como era de se esperar, o aumento da quantidade de leitores nos cenários tem um impacto positivo para a acurácia do sistema com o uso de todos os algoritmos; a proximidade entre os leitores também ajuda no desempenho do sistema, uma vez que as configurações L3 possuem melhor desempenho que as configurações L2, mesmo tendo a mesma quantidade de leitores; o aumento da quantidade de etiquetas também contribui para a melhoria da acurácia do sistema, com exceção do LANDMARC-D e LANDMARC 2, nos quais as configurações E1 apresentam resultados melhores do que a E3, mesmo com menos etiquetas. No caso do LANDMARC 2, as configurações E1 demonstram resultados melhores até que as configurações E2.

É importante destacar que o erro médio de todos os algoritmos foram maiores na BIB CCEN do que na BIB CCJ. Isto acontece porque a área da BIB CCEN é maior que a da BIB CCJ e em ambas foram utilizadas as mesmas quantidades de leitores. Sendo assim, é importante levar em consideração o tamanho da área que será mapeada pelo sistema no momento de se determinar a quantidade de leitores utilizados e a forma com que serão distribuídos.

Os resultados mostram que, geralmente, a configuração L3E2 é a mais vantajosa na busca da minimização do erro de localização. A exceção é quando o algoritmo LANDMARC 2 é utilizado com as configurações L3E1 para a biblioteca do CCEN. Nesse caso, o LANDMARC 2 se mostra ligeiramente mais vantajoso do que com a configuração L3E2. Contudo, a diferença de desempenho é em torno de 10 cm. Dessa forma, os resultados desse primeiro conjunto de simulações mostram a importância de se combinar adequadamente o posicionamento dos leitores e etiquetas e o algoritmo de localização na busca pela minimização de erros de localização.

5.5.2 COMPARAÇÃO DOS ALGORITMOS

O segundo conjunto de simulações visa fazer uma comparação mais aprofundada entre os algoritmos. Para isso, foi tomada como base a configuração leitor-etiqueta L3E2, já que, como foi visto na seção anterior, é a configuração que apresenta melhores resultados, e com diferentes valores de γ e da variância da força de sinal no canal de comunicação, como foi visto na Seção 5.3. Para facilitar análise do desempenho por algoritmo, iremos detalhar os resultados obtidos para cada biblioteca e depois faremos uma análise geral. É importante frisar que, devido ao tamanho das estantes, erros próximos de 1 metro são muito relevantes para o ambiente de biblioteca, uma vez que direciona estimativa de localização para um intervalo de uma ou duas estantes.

5.5.2.1 Resultados das Simulações na BIB CCJ

Na Figura 31, temos o gráfico da acurácia dos algoritmos na BIB CCJ com o $\gamma = 1,81$ e na Tabela 6 temos o valor de ganho percentual de acurácia do LANDMARC 2 comparado com os demais algoritmos. Nota-se que, para variância 0, os algoritmos baseados no VIRE apresentam resultados piores que os algoritmos baseados no LANDMARC, porém, conforme a variância do canal aumenta, o LANDMARC original demonstra o pior desempenho. O LANDMARC 2 exibe resultados melhores do que os demais, tendo um desempenho em torno de 13% melhor que o segundo melhor algoritmo para o cenário, que é o LANDMARC-D. Também é importante notar que com este Gamma, os algoritmos não conseguem retornar estimativas com erro inferior a 1 metro em cenários com variância, com a única exceção do LANDMARC 2 no cenário de variância 2,5.

Tabela 6 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCJ com Gamma 1,81.

	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	Média
LANDMARC	25%	30%	29%	27%	27%	29%	28%	28%	29%	27%	27%	26%	28%
LANDMARC-D	15%	15%	14%	12%	11%	12%	13%	12%	13%	14%	11%	12%	13%
VIRE Ótimo	28%	11%	16%	20%	18%	21%	21%	23%	23%	21%	23%	21%	20%
VIRE-R	25%	9%	18%	15%	16%	19%	20%	19%	23%	20%	20%	19%	19%

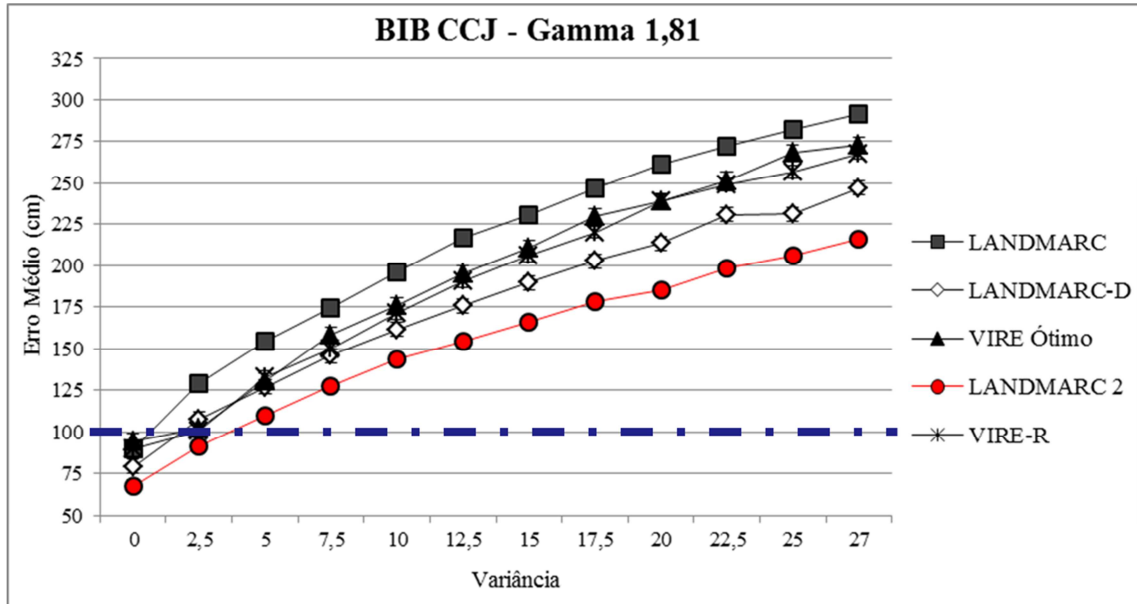


Figura 31 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCJ com Gamma 1,81.

Na Figura 32, temos o gráfico da acurácia dos algoritmos na BIB CCJ com o $\gamma=3,54$ e na Tabela 7 temos o valor de ganho percentual de acurácia do LANDMARC 2 comparado com os demais algoritmos. Nota-se que, para variâncias abaixo de 15, os algoritmos baseados no VIRE apresentam resultados melhores que o LANDMARC-D, porém isso se inverte conforme a variância continua a crescer. O LANDMARC original demonstra o pior desempenho e O LANDMARC 2 exibe resultados melhores para o cenário, tendo um desempenho acima de 17% melhor que o segundo melhor algoritmo para qualquer variância do cenário. Neste cenário, o LANDMARC 2 gera erro médio inferior a 1 metro para variâncias abaixo de 15, e os algoritmos baseados no VIRE gera erros médios inferiores a 1 metro para variância 2,5.

Tabela 7 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCJ com Gamma 3,54.

	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	Média
LANDMARC	41%	43%	42%	40%	40%	39%	37%	36%	36%	36%	33%	33%	38%
LANDMARC-D	31%	32%	30%	28%	27%	25%	24%	22%	21%	21%	19%	19%	25%
VIRE Ótimo	31%	21%	18%	17%	20%	21%	25%	25%	24%	26%	25%	26%	23%
VIRE-R	32%	21%	20%	17%	19%	20%	21%	22%	23%	25%	23%	26%	22%

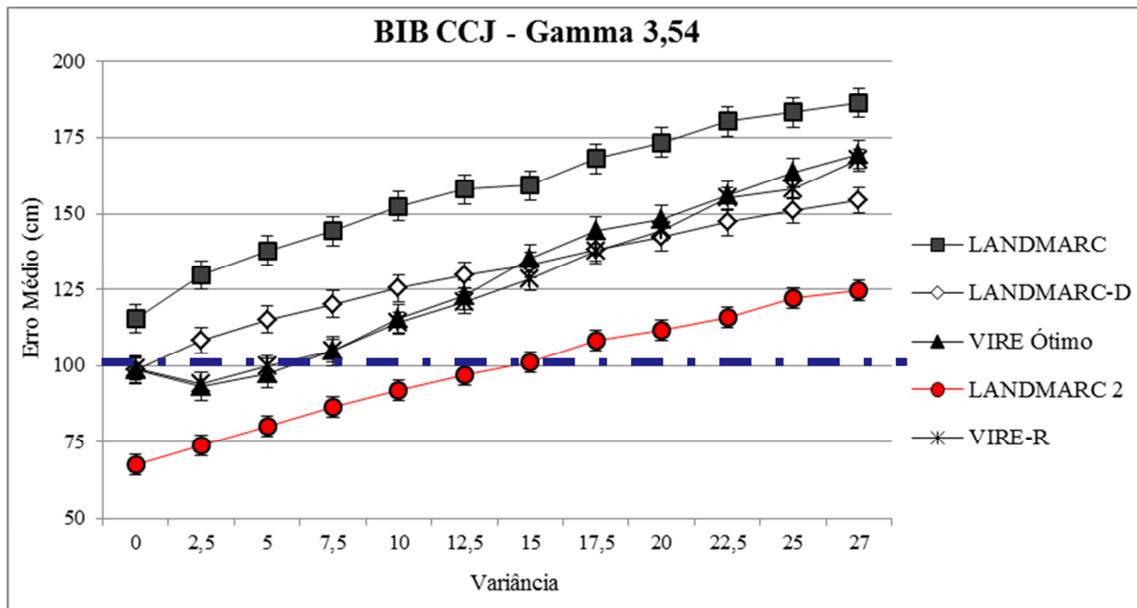


Figura 32 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCJ com Gamma 3,54.

Na Figura 33, temos o gráfico da acurácia dos algoritmos na BIB CCJ com o $\gamma=5,22$ e na Tabela 8 temos o valor de ganho percentual de acurácia do LANDMARC 2 comparado com os demais algoritmos. Nota-se que, para variâncias maiores que 0 e menores que 25, os algoritmos baseados no VIRE apresentam resultados melhores que o LANDMARC-D; nos demais casos, eles são estatisticamente equivalentes. O LANDMARC 2 exibe resultados melhores para o cenário, tendo um desempenho acima de 24% melhor que o segundo melhor algoritmo para qualquer variância do cenário. Para esta configuração do canal, o LANDMARC 2 gera estimativas com erros inferiores a 1 metro para todas as variâncias.

Tabela 8 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCJ com Gamma 5,22.

	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	Média
LANDMARC	47%	47%	47%	48%	46%	46%	43%	44%	42%	41%	43%	41%	45%
LANDMARC-D	37%	37%	37%	37%	35%	34%	32%	32%	31%	29%	29%	29%	33%
VIRE Ótimo	37%	30%	30%	27%	26%	26%	24%	26%	26%	27%	28%	27%	28%
VIRE-R	37%	32%	30%	28%	28%	27%	26%	26%	27%	27%	29%	28%	29%

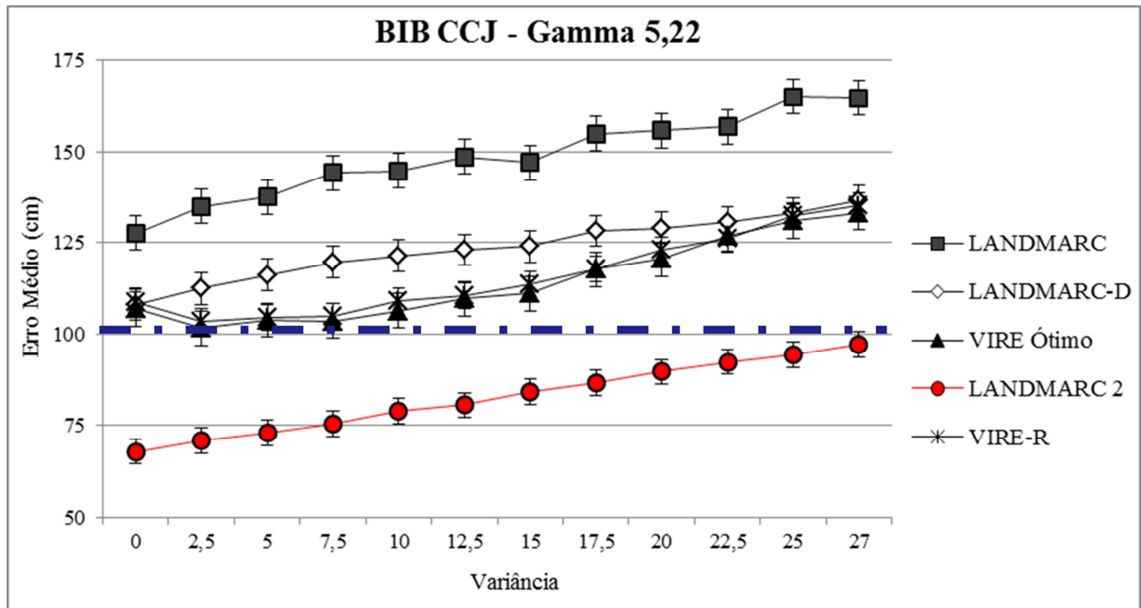


Figura 33 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCJ com Gamma 5,22.

5.5.2.2 Resultados das Simulações na BIB CCEN

Na Figura 34, temos o gráfico da acurácia dos algoritmos na BIB CCEN com o $\gamma=1,81$ e na Tabela 9 temos o valor de ganho percentual de acurácia do LANDMARC 2 comparado com os demais algoritmos. Nota-se que para variância até 12,5, os algoritmos VIRE-R e LANDMARC 2 apresentam resultados estatisticamente equivalentes e melhores que os demais. A partir desse ponto, o LANDMARC 2 apresenta os melhores resultados para o cenário, tendo um desempenho em torno de 9% melhor que o segundo melhor algoritmo para o cenário, que é o VIRE-R. Com o Gamma mais baixo nenhum algoritmo conseguiu gerar estimativas com erros inferiores a 1 metro em cenários com variância.

Tabela 9 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCEN com Gamma 1,81.

	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	Média
LANDMARC	16%	26%	27%	26%	28%	29%	29%	29%	30%	29%	28%	27%	27%
LANDMARC-D	3%	17%	18%	17%	16%	18%	19%	18%	19%	19%	15%	16%	16%
VIRE Ótimo	-8%	14%	15%	17%	12%	14%	14%	14%	13%	16%	11%	13%	12%
VIRE-R	-6%	3%	3%	5%	3%	6%	8%	8%	10%	9%	9%	11%	6%

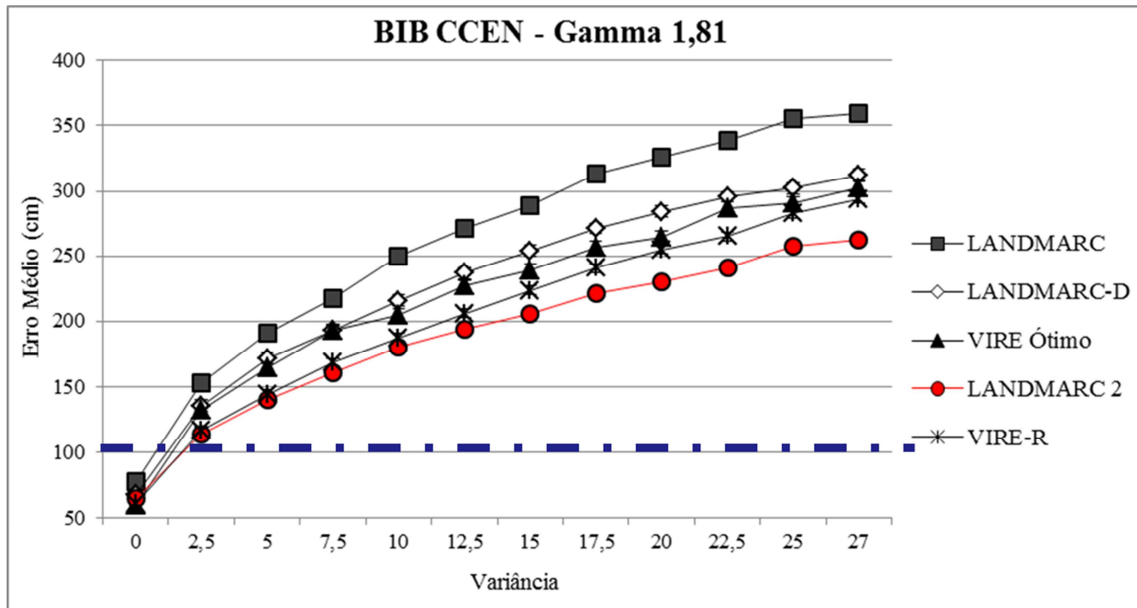


Figura 34 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCEN com Gamma 1,81.

Na Figura 35, temos o gráfico da acurácia dos algoritmos na BIB CCEN com o $\gamma=3,54$ e na Tabela 10 temos o valor de ganho percentual de acurácia do LANDMARC 2 comparado com os demais algoritmos. Nota-se que, para variâncias abaixo de 5, os algoritmos VIRE-R e LANDMARC 2 apresentam resultados estatisticamente equivalentes e melhores que os demais. A partir desse ponto, o LANDMARC 2 apresenta os melhores resultados para o cenário, tendo um desempenho em torno de 11% melhor que o segundo melhor algoritmo para o cenário que é o VIRE-R. Para este valor de Gamma, o LANDMARC 2 e os algoritmos baseados no VIRE conseguiram gerar estimativas com erros inferiores a 1 metro em cenário com variância inferior a 5.

Tabela 10 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCEN com Gamma 3,54.

	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	Média
LANDMARC	37%	40%	41%	38%	37%	38%	37%	35%	35%	36%	36%	35%	37%
LANDMARC-D	29%	31%	31%	30%	28%	27%	28%	27%	25%	27%	26%	24%	28%
VIRE Ótimo	-6%	10%	18%	21%	20%	20%	23%	19%	18%	19%	20%	19%	17%
VIRE-R	-3%	3%	7%	9%	11%	11%	12%	11%	12%	13%	13%	13%	9%

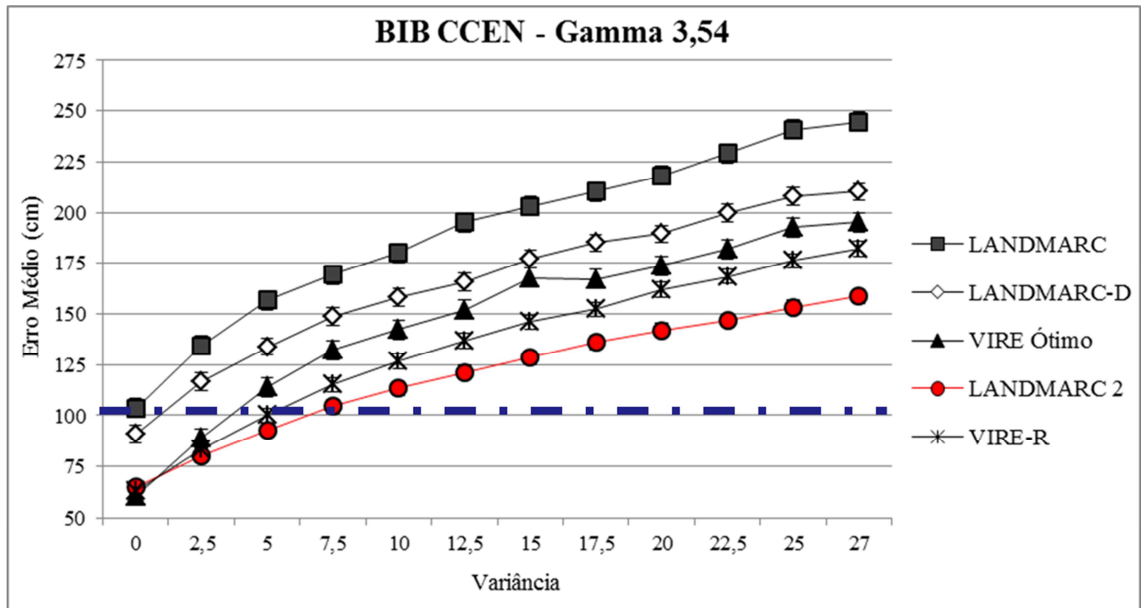


Figura 35 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCEN com Gamma 3,54.

Na Figura 36, temos o gráfico da acurácia dos algoritmos na BIB CCEN com o $\gamma=5.22$ e na Tabela 11 temos o valor de ganho percentual de acurácia do LANDMARC 2 comparado com os demais algoritmos. Nota-se que para variâncias menores que 5, os algoritmos VIRE-R e LANDMARC 2 apresentam resultados estatisticamente equivalentes e melhores que os demais. A partir desse ponto, o LANDMARC 2 apresenta os melhores resultados para o cenário, tendo um desempenho em torno de 13% melhor que o segundo melhor algoritmo para o cenário, que é o VIRE-R. Com o Gamma mais elevado, o LANDMARC 2 gera estimativas com erros inferiores a 1 metro para cenários com variância menor que 15 e os algoritmos baseados no VIRE conseguem este nível de acurácia para variâncias inferiores a 7,5.

Tabela 11 - Ganho percentual do LANDMARC 2 para BIB CCEN com Gamma 5,22.

	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	Média
LANDMARC	45%	45%	47%	46%	46%	45%	43%	43%	42%	41%	42%	41%	44%
LANDMARC-D	39%	38%	38%	37%	37%	36%	34%	34%	32%	33%	34%	31%	35%
VIRE Ótimo	-2%	3%	13%	18%	19%	19%	24%	24%	22%	22%	25%	24%	18%
VIRE-R	1%	2%	6%	9%	12%	13%	13%	14%	13%	15%	18%	16%	11%

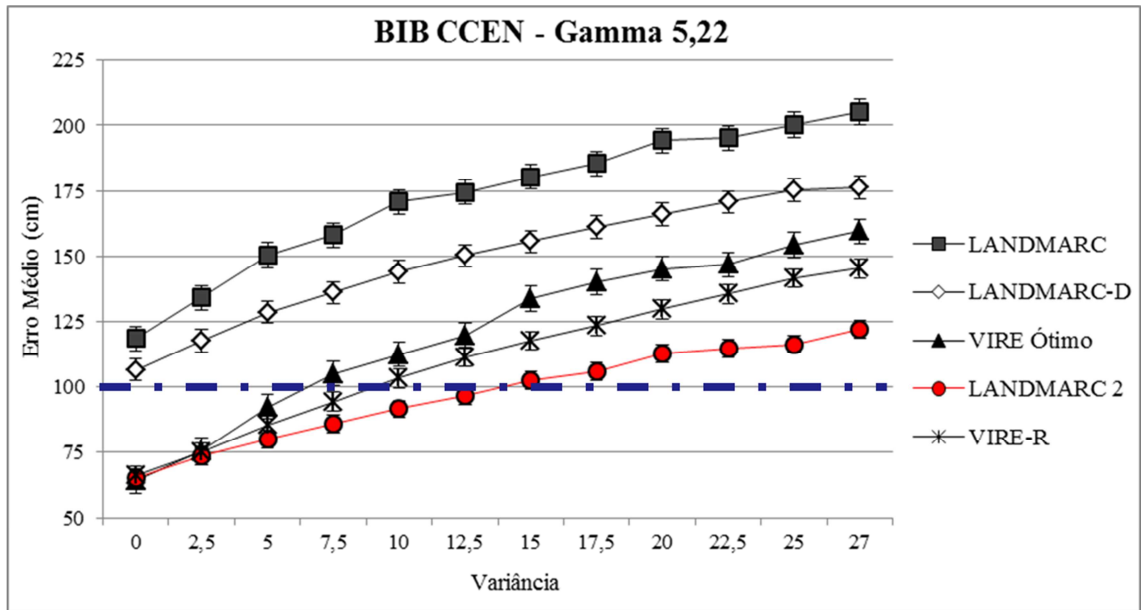


Figura 36 - Gráfico da acurácia dos Algoritmos para BIB CCEN com Gamma 5,22.

5.5.2.3 AVALIAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS

O primeiro ponto que foi observado é que, em ambas as bibliotecas, o LANDMARC 2 obteve um desempenho igual ou superior aos demais algoritmos em todos os cenários. E particularmente demonstrou erros inferiores a 1 metro em diversos cenários, valor que é muito importante no que diz respeito ao cenário de bibliotecas por conta das medidas das estantes. No que diz respeito ao seu desempenho na BIB CCEN, em vários cenários, ele teve resultados equivalentes aos dos algoritmos baseados no VIRE, e em alguns, com variância 0, até resultados piores, porém vale a lembrar que os melhores resultados obtidos com o LANDMARC 2 na BIB CCEN foram encontrados com a configuração L3E1, que não foi a detalhada neste comparativo.

Outro fator que é importante de se observar é que, quanto maior o Gamma do canal, menor será a interferência da variância na acurácia do sistema, pois, como a atenuação é maior, o valor de variância acaba por ser menos significativo. Este ponto pode ser observado em todos os algoritmos e em ambas as bibliotecas.

Os algoritmos baseados no VIRE tiveram um desempenho percentual melhor na BIB CCEN em relação aos resultados da BIB CCJ. Esse fato deve estar relacionado a uma disposição mais regular das etiquetas, tendo em vista que a geometria formada pelo mapa de etiquetas na BIB CCJ é muito irregular; já na BIB CCEN, a disposição das etiquetas contribui para a formação de um mapa com células de tamanho e distâncias mais regulares. Esse fato

também aparenta interferir no desempenho LANDMARC 2, pois, uma vez que ele se baseia em análises estatísticas de dados, quanto mais regulares estiverem os valores obtidos pelas medições, mais precisa será a estimativa realizada.

Outro fator que é importante de ser analisado é que o VIRE-R demonstrou resultados iguais ou melhores que o VIRE ótimo na maioria dos cenários. Além disso, deve ser salientado que o VIRE ótimo tem que ser adaptado para cada variação do cenário, sendo muito trabalhoso, do ponto de vista de projeto, adequar os valores de *threshold* às variabilidades de canais de comunicação real. Porém, o VIRE-R tem um custo computacional mais elevado, justamente por se tratar de um algoritmo recursivo.

5.6 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi feito o detalhamento dos estudos realizados no trabalho. Primeiramente foi descrita a forma de funcionamento do simulador desenvolvido e os parâmetros de simulação utilizados, bem como foi apresentada a validação dos resultados obtidos pelo simulador. Antes de apresentarmos a avaliação de desempenho dos sistemas e os resultados dos estudos, foi feita a apresentação dos cenários de avaliação e da metodologia utilizada. Para finalizar o capítulo, foram apresentados os resultados dos estudos, levando em consideração os dois conjuntos de simulações realizados. No primeiro conjunto de simulações, foram avaliados os impactos das configurações de posicionamento dos leitores e das etiquetas de referência. Através do segundo conjunto de simulações, foi feita a comparação do desempenho dos sistemas e mostrados os ganhos obtidos com o algoritmo proposto.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Os sistemas de localização automática representam uma aplicação muito importante dentro do cenário de IoT. Esse tipo de sistema é empregado nos mais diversos tipos de ambientes, com diversas finalidades e utiliza vários tipos de tecnologias. O emprego de sistemas como o citado vai desde a área de segurança, passa pelo uso industrial e alcança até a área médica. Uma forma bem comum de montagem de sistemas com tal propósito é feita com o uso da tecnologia RFID, através de medições de força de sinal. Por isso, esta dissertação se baseia em um estudo sobre sistemas de localização de etiquetas passivas RFID em ambiente de biblioteca. As bibliotecas acadêmicas possuem uma grande representatividade na divulgação da informação, além de apresentar diversos usos para a tecnologia RFID e um cenário bastante desafiador no que diz respeito à propagação de sinais de radiofrequência. Por isso, deu-se a escolha do ambiente para servir de base a esta dissertação.

Sendo assim, neste trabalho, foram estudados vários algoritmos de localização RFID com foco em ambientes de biblioteca, baseados na IoT. O desafio está em diminuir a grandeza do erro de localização a fim de melhor auxiliar os usuários e aplicações com o posicionamento real do acervo etiquetado com RFID. A intenção inicial do estudo é que ele embase um futuro projeto a ser aplicado na Universidade Federal de Pernambuco, por isso, os estudos foram realizados através de simulações modelando duas bibliotecas da UFPE (BIB CCJ e BIB CCEN).

Os estudos demonstraram que a combinação de posicionamento de leitores e etiquetas com algoritmos de localização possui impacto importante na precisão da informação de localização, enfatizando que nem sempre a mesma configuração de posicionamento é a mais vantajosa para todos os algoritmos. Adicionalmente, este trabalho propôs dois algoritmos de localização: o LANDMARC 2 e o VIRE-R. O diferencial dos algoritmos propostos está no fato de ambos levarem em consideração a variabilidade do canal de propagação e a sua interferência no envio de sinal de radiofrequência.

O LANDMARC 2 se mostrou com uma precisão melhor ou igual aos demais algoritmos estudados nos cenários considerados. Em particular, o erro de localização do

LANDMARC 2 foi menor que 1 metro em diversos cenários de variabilidade de RSS, sendo de grande valor para ambientes de bibliotecas. O VIRE-R se mostrou melhor ou igual ao VIRE ótimo nos cenários considerado. Além disso, a montagem do VIRE ótimo demanda muito esforço na seleção do *threshold*; já o VIRE-R se adapta à variabilidade do canal e retorna valores relevantes de forma automática, porém representa um aumento no custo computacional.

Os estudos apresentados sugerem que uma distribuição mais regular das etiquetas de referência dentro do ambiente pode aumentar a precisão do LANDMARC 2, dado que: 1) o aumento da quantidade de etiquetas de referência na Biblioteca do CCEN não influenciou no aumento da acurácia do algoritmo e 2) na Biblioteca do CCJ, onde a distribuição das estantes não é regular, o aumento na quantidade de etiquetas melhorou o desempenho do sistema, uma vez que deixava as distâncias entre as etiquetas mais uniformes. Em função dos resultados obtidos e da forma de concepção do LANDMARC 2, é possível intuir que técnicas de estimação de variância no canal podem melhorar a acurácia.

Baseado nos resultados obtidos, pode-se dizer que o objetivo principal deste trabalho foi atingido, uma vez que o LANDMARC 2 possui um desempenho melhor que os demais algoritmos utilizados na avaliação. Durante a produção do trabalho, foi feito um levantamento do estado da arte sobre a utilização de tecnologias ligadas ao paradigma IoT em bibliotecas, principalmente do uso da tecnologia RFID. Também foi realizado um estudo sobre sistemas de localização e a melhor forma de adequá-los a um ambiente de biblioteca. Sendo assim, os objetivos específicos deste trabalho também foram atingidos.

Em relação às contribuições que eram esperadas deste trabalho, pode-se concluir o seguinte:

- Foi apresentado um algoritmo de localização baseado em RFID que aumenta a acurácia do sistema, o LANDMARC 2. Porém, devido à forma como as bibliotecas atuais são estruturadas, erros de estimativa próximos a 1 metro podem direcionar a busca para uma ou duas estantes, mas não foram em todos os cenários que o LANDMARC 2 conseguiu esta acurácia e erros maiores que este valor podem aumentar muito a quantidade de estantes a serem manualmente pesquisadas.
- Foi apresentado um mecanismo que adéqua o VIRE, para que ele obtenha o seu resultado ótimo de forma dinâmica, através do VIRE-R.
- Foi apresentada uma avaliação de desempenho de sistemas de localização baseados em RFID para ambientes de biblioteca. A partir desta avaliação, foram observados alguns limitadores de desempenho para sistemas baseados em RFID, como a

quantidade de leitores utilizados em relação a uma determinada área a ser coberta, a padronização da distribuição e o espaço deixado entre as estantes.

Levando em consideração os resultados obtidos e as contribuições que eram esperadas, como trabalhos futuros, pretende-se:

- Avaliar a eficiência do LANDMARC 2 e do VIRE-R em outros tipos de ambientes, com a intenção de testá-los de preferência em ambientes reais;
- Avaliar outras formas estatísticas de análises de dados numéricos, para realizar a estimativa no LANDMARC 2, e compará-los com os resultados obtidos com o uso do MMQ;
- Propor uma configuração ótima na montagem de ambientes de bibliotecas que tenham como finalidade o uso de etiquetas RFID, principalmente com a aplicação de sistemas de localização no acervo;
- Investigar as técnicas propostas por Seyyedi e outros (2014) e Han e Cho (2010) em relação aos seus impactos nos resultados do LANDMARC 2.

Esta dissertação gerou uma publicação no XXI *Workshop* de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS 2016) promovido pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC), em 30 de maio de 2016, intitulada “Melhorando a Precisão de Localização de Etiquetas RFID em Bibliotecas baseadas na Internet das Coisas”.

REFERÊNCIAS

AL-FUQAHA, Ala et al. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. **Communications Surveys & Tutorials, IEEE**, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The internet of things: A survey. **Computer networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.

BAHL, Paramvir; PADMANABHAN, Venkata N. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In: **INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE**. Ieee, 2000. p. 775-784.

BARDAKI, C. et al. RFID-enabled tracking and tracing in the supply chain lessons learnt from the SMART and TRASER projects. **Vision and challenges for realising the internet of things. (CERP-IoT Cluster of European Research Projects on the Internet of Things)**, p. 111-124, 2010.

BASSI, A.; HORN, G. Internet of Things in 2020. In: **Joint European Commission/EPoSS expert workshop on RFID/Internet-of-Things**, 2008.

BEM, Roberta Moraes de; COELHO, Christianne Coelho de Souza Reinisch. O papel das Bibliotecas Universitárias na Gestão do Conhecimento: uma concepção abrangente. **Bibliotecas Universitárias: pesquisas, experiências e perspectivas**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 15-32, jan./jun. 2016.

BOUET, Mathieu; DOS SANTOS, Aldri L. RFID tags: Positioning principles and localization techniques. In: **Wireless Days, 2008. WD'08. 1st IFIP. IEEE**, 2008. p. 1-5.

CALDWELL-STONE, Deborah. RFID in Libraries. **Library technology reports**, v. 46, n. 8, p. 38, 2010.

CHAUHAN, Monica et al. A Survey on RFID Technology. **International Journal of Research**, v. 1, n. 10, p. 1316-1322, 2014.

CHAWATHE, Sudarshan S. et al. Managing RFID data. In: **Proceedings of the Thirtieth international conference on Very large data bases-Volume 30**. VLDB Endowment, 2004. p. 1189-1195.

COGLIATTI, Rodrigo. **Proposta de um Algoritmo para Geração de Números Aleatórios em Ambientes Generalizados do Canal sem Fio com Desvanecimento**. 2013. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) – Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, 2013.

COYLE, Karen. Management of RFID in Libraries. **The Journal of Academic Librarianship**, v. 31, n. 5, p. 486-489, 2005.

DAO, Thi-Hao; LE, Minh-Thuy; NGUYEN, Quoc-Cuong. Indoor localization system using passive UHF RFID tag and multi-antennas. In: **Advanced Technologies for Communications (ATC), 2014 International Conference on**. IEEE, 2014. p. 405-410.

DE ALMEIDA, Maria Christina Barbosa. **Planejamento de bibliotecas e serviços de informação**. Briquet de Lemos Livros, 2000.

DE CARVALHO, Telma; LIMA SOUZA, Thiago. Internet das Coisas e Sua Aplicação em Bibliotecas. **GESTÃO. Org: Revista Eletrônica de Gestão Organizacional**, v. 13, 2015.

DIAN, Zhang; KEZHONG, Lu; RUI, Mao. A precise RFID indoor localization system with sensor network assistance. **Communications**, China, v. 12, n. 4, p. 13-22, 2015.

DOBKIN, Daniel M. **The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice**. Elsevier Inc. Newnes, 2012.

DOHR, Angelika et al. The internet of things for ambient assisted living. In: **2010 Seventh International Conference on Information Technology**. Ieee, 2010. p. 804-809.

DOS SANTOS SILVA, Noemy; DA SILVA, Márcio Bezerra. A contribuição da organização da informação na responsabilidade social da Biblioteca da AMBEP. **Biblionline**, 2012.

FLOERKEMEIER, Christian; LAMPE, Matthias. RFID middleware design: addressing application requirements and RFID constraints. In: **Proceedings of the 2005 joint conference on Smart objects and ambient intelligence: innovative context-aware services: usages and technologies**. ACM, 2005. p. 219-224.

FRANÇA NETO, I. L.; GONCALVES, P. A. S. Uma Avaliação de Desempenho e Análise do Sistema de Localização RFID VIRE. In: **XVII Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS)**, 2012, Ouro Preto, 2012.

GOLDING, Paul; TENNANT, Vanesa. Work in progress: Performance and reliability of radio frequency identification (RFID) library system. In: **Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2007. MUE'07. International Conference on**. IEEE, 2007. p. 1143-1146.

GRIFFIN, Joshua D.; DURGIN, Gregory D. Complete link budgets for backscatter-radio and RFID systems. **Antennas and Propagation Magazine, IEEE**, v. 51, n. 2, p. 11-25, 2009.

HAN, Dae-Man; LIM, Jae-Hyun. Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, v. 56, n. 3, p. 1417-1425, 2010.

HAN, Gel et al. Testing a proximity-based location tracking system with Bluetooth Low Energy tags for future use in the OR. In: **2015 17th International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom)**. IEEE, 2015. p. 17-21.

HAN, Kyuwon; CHO, Sung Ho. Advanced LANDMARC with adaptive k-nearest algorithm for RFID location system. In: **Proceedings of the International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, Beijing, China, 2010**. p. 24-26.

HELENE, Otaviano. **Métodos dos Mínimos Quadrados**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

HIGHTOWER, Jeffrey; BORRIELLO, Gaetano. Location sensing techniques. **IEEE Computer**, v. 34, n. 8, p. 57-66, 2001.

HIGHTOWER, Jeffrey; WANT, Roy; BORRIELLO, Gaetano. SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength. **UW CSE 00-02-02, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering**, Seattle, WA, v. 1, 2000.

IBS - INSTITUTO BRASIL SOLIDÁRIO. **Manual de Organização de Bibliotecas Escolares**. BIBLIOTECA ESCOLAR: Implementação e organização da biblioteca, Instituto Brasil Solidário, São Paulo, 2011, 43 p.

IGLESIAS, Félix; PALENSKY, Peter. Profile-Based control for central domestic hot water distribution. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 1, p. 697-705, 2014.

IYAPPAN, P. et al. Smart online library using dynamic access policies - A service oriented approach. In: **Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT), 2014 International Conference on**. IEEE, 2014. p. 355-359.

KEVIN, Ashton. That 'Internet of Things' thing, in the real world things matter more than ideas. **RFID Journal**, v. 22, 2009.

KHAN, Rafiullah et al. Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges. In: **Frontiers of Information Technology (FIT), 2012 10th International Conference on**. IEEE, 2012. p. 257-260.

KRČO, Srdjan; POKRIĆ, Boris; CARREZ, Francois. Designing IoT architecture (s): A European perspective. In: **Internet of Things (WF-IoT), 2014 IEEE World Forum On**. IEEE, 2014. p. 79-84.

KRUMM, John et al. Multi-camera multi-person tracking for easy living. In: **Visual Surveillance, 2000. Proceedings. Third IEEE International Workshop on**. IEEE, 2000. p. 3-10.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top-down**. 5. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2010.

LAU, Pui-Yi; YUNG, Kenneth Kin On; YUNG, Edward Kai Ning. A smart bookshelf for library RFID system. In: **2008 Asia-Pacific Microwave Conference**. IEEE, 2008. p. 1-4.

LI, Zhonghua et al. Advances in RFID-ILA: The past, present and future of RFID-based indoor location algorithms. In: **Control and Decision Conference (CCDC), 2012 24th Chinese**. IEEE, 2012. p. 3830-3835.

LUCENA FILHO, Walfredo da C. **Mecanismo de Controle de Potência para Estimativa de Etiquetas em Redes de Identificação por Rádio Frequência**. 2015. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – UFAM, Manaus, 2015.

MARKAKIS, I. et al. An RFID-enabled library management system using low-SAR smart bookshelves. In: **Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), 2013 International Conference on**. IEEE, 2013. p. 227-230.

MOURA, Maria Aparecida. As fronteiras dos documentos no contexto das mídias propagáveis e da Internet das Coisas. **Bibliotecas Universitárias: pesquisas, experiências e perspectivas**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 79-89, jan./jun. 2016.

NI, Lionel M. et al. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. **Wireless networks**, v. 10, n. 6, p. 701-710, 2004.

ORR, Robert J.; ABOWD, Gregory D. The smart floor: a mechanism for natural user identification and tracking. In: **CHI'00 extended abstracts on Human factors in computing systems**. ACM, 2000. p. 275-276.

PANDEY, Prabhat; MAHAJAN, K. D. Application of RFID technology in libraries and role of librarian. In: **12th MANLIBNET Convention 2010**, Jaipur, 2012. p. 208-216.

PAPAIOANNOU, Savvas et al. Fusion of radio and camera sensor data for accurate indoor positioning. In: **2014 IEEE 11th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems**. IEEE, 2014. p. 109-117.

PENG, Hongying. Research on the Integration Interface Techniques for Library Management System and Campus Smart Card System. In: **Intelligent Systems and Applications, 2009. ISA 2009. International Workshop on**. IEEE, 2009. p. 1-4.

PERERA, Charith et al. Context aware computing for the internet of things: A survey. **Communications Surveys & Tutorials, IEEE**, v. 16, n. 1, p. 414-454, 2014.

PERERA, Charith; LIU, Chi Harold; JAYAWARDENA, Srimal. The emerging internet of things marketplace from an industrial perspective: a survey. **Emerging Topics in Computing, IEEE Transactions on**, v. 3, n. 4, p. 585-598, 2015.

PITUKWERAKUL, Jiratchaya; SUPANAKOON, Pichaya; PROMWONG, Sathaporn. Evaluation scheme RFID channel in library with wooden and metal book shelves based on measurement data. In: **Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2010 International Conference on**. IEEE, 2010. p. 988-991.

POLYCARPOU, Anastasis C.; SAMARAS, Theodoros; SAHALOS, John N. An RFID-based library management system using smart cabinets: A pilot project. In: **The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)**. IEEE, 2014. p. 2954-2955.

PRIYANTHA, Nissanka B.. **The Cricket Indoor Location System**. 2005. 199. Tese (Doctor of Philosophy in Computer Science and Engineering) - Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, 2005.

PRIYANTHA, Nissanka B.; CHAKRABORTY, Anit; BALAKRISHNAN, Hari. The cricket location-support system. In: **Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking**. ACM, 2000. p. 32-43.

SANA - Department of Computer Science and Engineering Indian Institute of Technology Roorkee. A Survey of Indoor Localization Techniques. **IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)**, Volume 6, Issue 3 (May. - Jun. 2013), p. 69-76.

SARKAR, Tapan K. et al. A survey of various propagation models for mobile communication. **Antennas and Propagation Magazine, IEEE**, v. 45, n. 3, p. 51-82, 2003.

SEIDEL, Scott Y.; RAPPAPORT, Theodore S. 914 MHz path loss prediction models for indoor wireless communications in multifloored buildings. **Antennas and Propagation, IEEE Transactions on**, v. 40, n. 2, p. 207-217, 1992.

SEYYEDI, Saeed et al. Using Virtual Reference Tags to Improve the Accuracy of Active RFID-Based Positioning Systems. In: **Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2014 Fourth International Conference on**. IEEE, 2014. p. 1078-1081.

SHENG, Quan Z.; LI, Xue; ZEDADALLY, Sherali. Enabling next-generation RFID applications: solutions and challenges. **Computer**, n. 9, p. 21-28, 2008.

SILVA, B. A.; GONÇALVES, P. A. S. Planejamento do Posicionamento de Leitores e Etiquetas de Referência em Sistemas de Localização RFID. In: Proc. of **XVI WGRS**, Campo Grande, July 2011.

SILVA, Rafael de A. **Um sistema de auxílio à localização de etiquetas RFID em ambientes internos**. 2008. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Centro de Informática, UFPE, Recife, 2008.

TAN, Lu; WANG, Neng. Future internet: The internet of things. In: **2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)**. IEEE, 2010. p. V5-376-V5-380.

THOMAS, N. J.; CRUICKSHANK, D. G. M.; LAURENSEN, D. I. Performance of a TDOA-AOA hybrid mobile location system. In: **3G Mobile Communication Technologies, 2001. Second International Conference on (Conf. Publ. No. 477)**. IET, 2001. p. 216-220.

TOSIC, M.; IKOVIC, O.; BOSKOVIC, D. SDN based service provisioning management in smart buildings. In: **2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)**. IEEE, 2016. p. 754-759.

VENKATRAMAN, Saipradeep; CAFFERY JR, James. Hybrid TOA/AOA techniques for mobile location in non-line-of-sight environments. In: **Wireless Communications and Networking Conference, 2004. WCNC. 2004 IEEE**. IEEE, 2004. p. 274-278.

VERMESAN, Ovidiu et al. Internet of things strategic research roadmap. **Internet of Things-Global Technological and Societal Trends**, p. 9-52, 2011.

WANT, Roy et al. The active badge location system. **ACM Transactions on Information Systems (TOIS)**, v. 10, n. 1, p. 91-102, 1992.

WARD, Andy; JONES, Alan; HOPPER, Andy. A new location technique for the active office. **Personal Communications, IEEE**, v. 4, n. 5, p. 42-47, 1997.

WING, W. Y. Ng et al. Intelligent book positioning for library using RFID and book spine matching. In: **Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), 2011 International Conference on**. IEEE, 2011. p. 465-470.

WU, Chao-Lin; FU, Li-Chen. Design and realization of a framework for human – system interaction in smart homes. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans**, v. 42, n. 1, p. 15-31, 2012.

WU, Miao et al. Research on the architecture of Internet of things. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)**. Washington, DC, USA: IEEE. 2010. p. 484-487.

XIE, Lei et al. Managing RFID data: challenges, opportunities and solutions. **Communications Surveys & Tutorials, IEEE**, v. 16, n. 3, p. 1294-1311, 2014.

YANG, Zhihong et al. Study and application on the architecture and key technologies for IOT. In: **Multimedia Technology (ICMT), 2011 International Conference on**. IEEE, 2011. p. 747-751.

YEH, Chih-Hua; SU, Shun-Feng. Enhance LANDMARC from the fundamentals. In: **Advanced Robotics and Intelligent Systems (ARIS), 2013 International Conference on**. IEEE, 2013. p. 23-27.

YEUNG, Daniel S. et al. Localized generalization error model and its application to architecture selection for radial basis function neural network. **Neural Networks, IEEE Transactions on**, v. 18, n. 5, p. 1294-1305, 2007.

YOUSSEF, Moustafa; AGRAWALA, Ashok. The Horus WLAN location determination system. In: **Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services**. ACM, 2005. p. 205-218.

YU, Han-Yen; CHEN, Jiann-Jone; HSIANG, Tien-Ruey. Design and Implementation of a Real-Time Object Location System Based on Passive RFID Tags. **Sensors Journal, IEEE**, v. 15, n. 9, p. 5015-5023, 2015.

ZHANG, Xin; PENG, Jian; CAO, Xiaoyang. RFID Indoor Localization Algorithm Based on Dynamic Netting. In: **Computational and Information Sciences (ICCIS), 2010 International Conference on**. IEEE, 2010. p. 428-431.

ZHAO, Yiyang; LIU, Yunhao; NI, Lionel M. VIRE: Active RFID-based localization using virtual reference elimination. In: **Parallel Processing, 2007. ICPP 2007. International Conference on**. IEEE, 2007. p. 56-56.

ZHU, Feng-juan et al. Analysis of indoor positioning approaches based on active RFID. In: **Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom'09. 5th International Conference on**. IEEE, 2009. p. 1-4.