

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PATRIC JANNER MARQUES

**PROPOSTA DE SISTEMA DE DETERMINAÇÃO DA
POSIÇÃO DE CADEIRA DE RODAS EM AMBIENTE
INTELIGENTE**

Porto Alegre

2014

PATRIC JANNER MARQUES

**PROPOSTA DE SISTEMA DE DETERMINAÇÃO DA
POSIÇÃO DE CADEIRA DE RODAS EM AMBIENTE
INTELIGENTE**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Controle e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira

Porto Alegre

2014

PATRIC JANNER MARQUES

**PROPOSTA DE SISTEMA DE DETERMINAÇÃO DA
POSIÇÃO DE CADEIRA DE RODAS EM AMBIENTE
INTELIGENTE**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira, UFRGS

Doutor pela Universidade de Stuttgart - Stuttgart, Alemanha

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ivan Müller, UFRGS.

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil.

Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho, UFES.

Doutor pela Universidad Complutense de Madrid – Madrid, Espanha.

Prof. Dr. Valner João Brusamarello, UFRGS.

Doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, Brasil.

Coordenador do PPGEE: _____

Prof. Dr. Arturo Suman Bretas

Porto Alegre, abril de 2014.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Valdemir e Eliani, por todo o suporte, carinho e afeto dado a mim, por compreender os momentos de ausência e falta de paciência, e por, apesar da distância, nunca se esquecer de seu filho amado.

Ao professor Carlos Eduardo Pereira por ter aceitado me orientar neste trabalho, pelas oportunidades ofertadas, sugestões no trabalho, paciência e confiança depositada.

Aos colegas do LASCAR, pela ajuda e discussões realizadas. Em especial, ao Ivan Müller, Jean Winter, Marcos Lindau, Gustavo Künzel e Marcos Vizzotto pelo apoio e dedicação sempre que precisei, e aos bolsistas Armando Bratawinata, Bruna Ramos e Giovana Bandinelli pela ajuda com as atividades do projeto.

À minha incrível companheira, Natalie Cavalheiro, por me acompanhar nesta jornada desde seu início, me motivando, apoiando e tendo muita paciência.

Ao Luciano Salerno, por todo apoio na realização dos experimentos na UCS, sem nunca se esquecer de uma cuia de chimarrão.

À Dona Marlene de Maman, que muito mais que me hospedar em sua casa, tratou-me como um filho. Serei eternamente grato pelo seu carinho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PPGEE.

Ao CNPq pela provisão da bolsa de mestrado.

À FINEP pelo financiamento do projeto de pesquisa intitulado arquitetura para uma Cadeira de Rodas Integrada em um Ambiente Inteligente (CRIA) - Convênio: 01.11.0154.00.

RESUMO

No Brasil existem milhões de brasileiros com algum tipo de dificuldade de locomoção, sendo que grande parte dessas pessoas com deficiência necessita de cadeira de rodas para se locomover. Com o fato de existirem inúmeros de brasileiros cadeirantes, o desenvolvimento de tecnologias ditas "assistivas", ou seja, tecnologias que visam assistir estas pessoas em suas atividades, tem recebido uma crescente atenção, tanto do ponto de vista de negócios (com o aumento de produtos), como de pesquisas acadêmicas. Dentre estas linhas de pesquisa, a integração entre cadeiras de rodas automatizadas com sistemas de automação predial e residencial está entre as linhas de pesquisa de maior destaque, pois tem como objetivo tornar a vida do usuário de cadeira de rodas mais produtiva e confortável, contribuindo para sua independência. Os sistemas de automação predial e residencial mais complexos elevam o nível de um ambiente automatizado para um ambiente inteligente, pois tornam o nível de abstração maior, fornecendo serviços de forma pervasiva. O ambiente inteligente necessita de informações para que possa oferecer seus serviços ao cadeirante, e uma informação importante seria a localização da cadeira de rodas automatizada. Neste contexto, este trabalho propõe um sistema de localização em interiores para cadeiras de rodas automatizadas em ambientes inteligentes. A proposta combina Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) e a tecnologia RFID, onde as etiquetas RFID são utilizadas como marcos de referências para a calibração automática dos parâmetros da RSSF, que convencionalmente são obtidos de forma experimental. O estudo de caso para validar o sistema de localização proposto foi realizado numa sala automatizada no prédio da Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) como ambiente inteligente, e uma cadeira de rodas automatizada adaptada para se comunicar com a RSSF. Além deste estudo de caso, foram realizados outros experimentos com intuito de avaliar qual método geraria os melhores resultados para o sistema de localização baseado em RSSF e a tecnologia RFID, combinando diferentes modelos de propagação de sinal RF e diferentes formas de calibrar os parâmetros da rede. Além disso, outras questões sobre o sistema de localização proposto foram analisadas, como por exemplo, a influência do aumento da quantidade de nós da rede na exatidão do sistema, o comportamento do sistema quando, para um mesmo cenário, o sentido do percurso é invertido, e a influência do layout dos nós da rede no desempenho do sistema.

Palavras-chave: Sistema de localização em interiores. Cadeira de rodas automatizada. Rede de Sensores Sem Fio. RFID. Ambiente Inteligente.

ABSTRACT

In Brazil there are millions of people with some kind of limited mobility, and that most of these disabled people need a wheelchair to get around. With the fact that there are millions of wheelchair users, the development of assistive technologies, i.e. technologies to assist these people in their activities, has received increasing attention both from the standpoint of business (with the increase of products), as academic research. Among these lines of research, the integration of automated wheelchairs with home automation systems are among the research areas of greatest importance because it aims to make the user's life more productive and comfortable, contributing to their independence. The home automation systems more complex increase the level of an automated environment for intelligent environment, as they make the higher level of abstraction, providing pervasive services. The intelligent environment needs information so it can offer your services to the wheelchair user, and important information would be the location of the automated wheelchair. Within this context, this paper proposes an indoor positioning system for wheelchairs in intelligent environments. The proposal combines Wireless Sensor Networks (WSN) and RFID technology, where RFID tags are used as landmark for automatic calibration of the parameters of WSN, which are conventionally obtained experimentally. The case study to validate the proposed indoor positioning system was performed at an automated room in the building of Electrical Engineering, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) with the intelligent environment and automated wheelchair adapted to communicate with the WSN. In addition to the case study, other experiments in order to assess which method would produce the best results for the localization system based on RFID and WSN, combining different radio propagation model and different forms of calibrate the parameters of the WSN. In addition, other questions about the proposed indoor positioning system were analyzed, for example, the influence of increasing the amount of network nodes on the system accuracy, the behavior of the system for the same scenario when the direction of travel is reversed, and the influence of the layout of the network nodes on the system performance.

Keywords: Indoor Positioning System. Automated Wheelchair. Wireless Sensor Network. RFID. Intelligent Environment.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2	MOTIVAÇÃO	17
1.3	OBJETIVOS.....	17
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	18
2	TAXONOMIA DE SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO.....	19
2.1	INTRODUÇÃO	19
2.2	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	22
2.2.1	Ambiente de operação	22
2.2.2	Linha de visão	23
2.2.3	Modo de operação.....	24
2.2.3.1	Topologias de infraestrutura.....	24
2.2.4	Tipo de informação de localização	26
2.3	TIPO DE SINAL UTILIZADO PARA A LOCALIZAÇÃO	27
2.3.1	Imagem	27
2.3.2	Contato físico	27
2.3.3	Sistema de navegação inercial	28
2.3.4	Dispositivos sem fio.....	29
2.3.4.1	Infravermelho	29
2.3.4.2	Ultrassom	30
2.3.4.3	Radiofrequência	31
2.4	TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO.....	32
2.4.1	Triangulação	32
2.4.1.1	Lateração	33
2.4.1.2	Angulação.....	37
2.4.2	Análise de padrões	37
2.4.2.1	Análise de cenário	37
2.4.2.2	Análise de imagem	39
2.4.3	Proximidade	40
2.4.3.1	Contato físico	40
2.4.3.2	Proximidade da fonte.....	40
2.4.4	Dead Reckoning	43
2.4.4.1	Navegação inercial	43
2.4.4.2	Odometria.....	43
2.5	COMPARAÇÃO DAS TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO	44
3	ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE EM SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO.....	46
3.1	SISTEMAS BASEADOS EM RSSF.....	46
3.2	SISTEMAS BASEADOS EM RFID.....	53
3.3	COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO BASEADOS EM RSSF E RFID	57
4	ARQUITETURA DO SISTEMA DESENVOLVIDO.....	61
4.1	METODOLOGIA.....	61
4.1.1	Visão geral.....	62
4.1.2	Modelagem da propagação do sinal de RF	66
4.1.3	Etiquetas RFID como marco de referência.....	71
4.1.4	Algoritmo de localização	73

4.2 APARATO EXPERIMENTAL.....	78
5 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL.....	82
5.1 MÉTRICA DE AVALIAÇÃO.....	84
5.2 ANÁLISE DOS MÉTODOS PROPOSTOS	85
5.2.1 Método 1	89
5.2.2 Método 2	92
5.2.3 Método 3	94
5.2.4 Método 4.....	95
5.2.5 Método de ajuste por mínimos quadrados.....	97
5.2.6 Método tradicional	100
5.2.7 Comparação dos métodos analisados	103
5.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE NÓS DA REDE	105
5.4 ANÁLISE DO SENTIDO DO PERCURSO	110
5.5 ANÁLISE DO LEIAUTE DA REDE	114
5.6 ESTUDO DE CASO	118
5.6.1 Exemplo de aplicação do sistema proposto	125
6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	128
REFERÊNCIAS.....	133

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Taxonomia para sistemas de localização.	21
Figura 2 Topologias dos sistemas com infraestrutura instalada.	25
Figura 3 Exemplo dos diferentes tipos de informação de localização.	26
Figura 4 A placa do piso e a célula de carga do Smart Floor (ORR & ABOWD, 2000).	28
Figura 5 Espectro eletromagnético.	30
Figura 6 Técnica de a) Lateração e b) Angulação.	33
Figura 7 Fases da técnica de análise de cenário – Adaptado de (DAWES & CHIN, 2011).	38
Figura 8 Funcionamento de um sistema RFID – Adaptado de (FINKENZELLER, 2003).	42
Figura 9 Classificação de etiquetas RFID – Adaptado de (NEMAI, 2010).	42
Figura 10 Disposição dos nós de referência (CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011).	47
Figura 11 Ambiente de testes (CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011).	47
Figura 12 Posições do alvo (CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011).	48
Figura 13 Erro da posição por lateração (CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011).	48
Figura 14 Posições das impressões digitais (CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011).	49
Figura 15 Resultados por análise de cenário (CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011).	49
Figura 16 Robô utilizado no projeto desenvolvido em (RODRIGUES, 2011).	50
Figura 17 Resultados alcançados por análise de cenário (RODRIGUES, 2011).	51
Figura 18 Estimativas de posição por lateração (RODRIGUES, 2011).	52
Figura 19 Robô navegando a partir do sistema de localização (MENEGATTI <i>et al.</i> , 2009).	53
Figura 20 Ambiente de teste do projeto desenvolvido em (PARK & HASHIMOTO, 2009).	54
Figura 21 Experimento realizado em (PARK & HASHIMOTO, 2009).	55
Figura 22 Experimento realizado no projeto desenvolvido em (CHOI <i>et al.</i> , 2011).	56
Figura 23 Robô utilizado no projeto desenvolvido em (CHOI <i>et al.</i> , 2011).	56
Figura 24 Comportamento da RSSF.	65
Figura 25 Resumo do processo de calibração da RSSF.	65
Figura 26 Incerteza da posição da etiqueta – Adaptado de (PARK & HASHIMOTO, 2009).	72
Figura 27 Exemplo de localização por lateração (RODRIGUES, 2011).	74
Figura 28 Exemplo de localização por lateração com incertezas (RODRIGUES, 2011).	75
Figura 29 Fluxograma do algoritmo de estimação da posição.	76
Figura 30 Fluxograma do algoritmo de calibração dos parâmetros.	77
Figura 31 Módulo AirGate-Modbus da Novus (NOVUS, 2013).	79
Figura 32 Etiquetas RFID LF utilizadas no projeto.	79
Figura 33 Leitor RFID GP25A LF da Promag utilizado no projeto (PROMAG, 2009).	80
Figura 34 Cadeira de rodas Freedom "L" utilizado no projeto (FREEDOM, 2012).	81
Figura 35 Trena digital a laser DLE 40 Professional (BOSCH, 2009).	81
Figura 36 Ambiente utilizado na realização dos experimentos.	84
Figura 37 Primeira distribuição das etiquetas.	86
Figura 38 Segunda distribuição das etiquetas.	87
Figura 39 Terceira distribuição das etiquetas.	87
Figura 40 Quarta distribuição das etiquetas.	88

Figura 41 Quinta distribuição das etiquetas.	88
Figura 42 Resultados alcançados com o método 1 para DE1.....	89
Figura 43 Resultados alcançados com o método 1 para DE2.....	90
Figura 44 Resultados alcançados com o método 1 para DE3.....	90
Figura 45 Resultados alcançados com o método 1 para DE4.....	90
Figura 46 Resultados alcançados com o método 1 para DE5.....	91
Figura 47 Resultados alcançados com o método 2 para DE1.....	92
Figura 48 Resultados alcançados com o método 2 para DE2.....	93
Figura 49 Resultados alcançados com o método 2 para DE3.....	93
Figura 50 Resultados alcançados com o método 2 para DE4.....	93
Figura 51 Resultados alcançados com o método 2 para DE5.....	94
Figura 52 Resultados alcançados com o método 4 para DE1.....	95
Figura 53 Resultados alcançados com o método 4 para DE2.....	96
Figura 54 Resultados alcançados com o método 4 para DE3.....	96
Figura 55 Resultados alcançados com o método 4 para DE4.....	96
Figura 56 Resultados alcançados com o método 4 para DE5.....	97
Figura 57 Resultados alcançados com o método 5 para DE1.....	98
Figura 58 Resultados alcançados com o método 5 para DE2.....	98
Figura 59 Resultados alcançados com o método 5 para DE3.....	99
Figura 60 Resultados alcançados com o método 5 para DE4.....	99
Figura 61 Resultados alcançados com o método 5 para DE5.....	99
Figura 62 Resultados alcançados com o método 6 para DE1.....	101
Figura 63 Resultados alcançados com o método 6 para DE2.....	101
Figura 64 Resultados alcançados com o método 6 para DE3.....	101
Figura 65 Resultados alcançados com o método 6 para DE4.....	102
Figura 66 Resultados alcançados com o método 6 para DE5.....	102
Figura 67 Média de todos os métodos para todas as DE.....	104
Figura 68 Distribuição das etiquetas para a análise da quantidade de nós da rede.	106
Figura 69 Primeira análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós.....	108
Figura 70 Segunda análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós.....	109
Figura 71 Sentido negativo na análise do sentido do percurso.....	111
Figura 72 Sentido positivo na análise do sentido do percurso.	111
Figura 73 Resultados alcançados na análise da influência do sentido do percurso.....	112
Figura 74 Resultados do experimento com o sentido negativo invertido.....	114
Figura 75 Leiaute no formato de losango com a primeira distribuição de etiquetas.....	115
Figura 76 Resultados alcançados na primeira análise com os dois leiautes dos nós da rede.	115
Figura 77 Leiaute no formato de retângulo com a segunda distribuição de etiquetas.	116
Figura 78 Leiaute no formato de losango com a segunda distribuição de etiquetas.	116
Figura 79 Resultados alcançados na segunda análise com os dois leiautes dos nós da rede.	117
Figura 80 Planta baixa da sala 301-A – Adaptado de (PEROZZO, 2011).....	119
Figura 81 Sala 301-A com o sistema de localização.....	120
Figura 82 Cadeira de rodas automatizada utilizada no projeto.	120
Figura 83 Leitor RFID instalado na cadeira de rodas e as etiquetas fixadas ao chão.	121
Figura 84 Distribuição das etiquetas RFID e dos pontos de coleta na sala 301-A.....	121
Figura 85 Resultados alcançados com o sistema proposto para o estudo de caso.	122
Figura 86 Resultados alcançados com o sistema tradicional para o estudo de caso.	123
Figura 87 Resultados dos sistemas proposto e tradicional para o estudo de caso.....	124
Figura 88 Quadrantes do cenário criado para o estudo de caso.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tabela comparativa das técnicas apresentadas.	45
Tabela 2	Resumo das principais características dos sistemas apresentados.....	57
Tabela 3	Tabela com os 18 pontos e suas respectivas posições.	86
Tabela 4	Tabela com o resumo do método 1 aplicado nas 5 distribuições de etiquetas.	91
Tabela 5	Tabela com o resumo do método 2 aplicado nas 5 distribuições de etiquetas.	94
Tabela 6	Tabela comparativa entre os resultados do método 2 e do método 3.	95
Tabela 7	Tabela com o resumo do método 4 aplicado nas 5 distribuições de etiquetas.	97
Tabela 8	Tabela com o resumo do método 5 aplicado nas 5 distribuições de etiquetas.	100
Tabela 9	Tabela com o resumo do método 6 aplicado nas 5 distribuições de etiquetas.	102
Tabela 10	Tabela com os 15 pontos e suas respectivas posições.	107
Tabela 11	Tabela com o resumo da primeira análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós. .	108
Tabela 12	Tabela com o resumo da segunda análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós...	109
Tabela 13	Tabela com os 15 pontos e suas respectivas posições.	112
Tabela 14	Tabela com o resumo da análise da influência do sentido do percurso.....	113
Tabela 15	Tabela com os valores de RSSI do ponto 2 para ambos os sentidos.	113
Tabela 16	Tabela com os 15 pontos e suas respectivas posições.	117
Tabela 17	Tabela com o resumo da análise do leiaute da rede.....	117
Tabela 18	Tabela com os 20 pontos e suas respectivas posições.	122
Tabela 19	Tabela com o resumo do sistema proposto para o estudo de caso.....	123
Tabela 20	Tabela com o resumo do sistema tradicional para o estudo de caso.	123
Tabela 21	Tabela com a lógica criada para o cenário do sistema de automação.	126
Tabela 22	Tabela com a média quadrática de cada ponto no estudo de caso.....	126

LISTA DE ABREVIATURAS

AOA: *Angle Of Arrival*

CSS: *Chirp Spread Spectrum*

DE: *Distribuição das Etiquetas*

DMS: *Degrees/Minutes/Seconds*

DOA: *Direction Of Arrival*

DR: *Dead Reckoning*

ED: *Energy Detection*

EKF: *Extended Kalman Filtering*

FAF: *Floor Attenuation Factor*

GPE: *Global Position Estimation*

GPS: *Global Positioning System*

HF: *High frequency*

HSNET: *HomeSystems Network*

IBGE: *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*

ID: *Identification*

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

INS: *Inertial Navigation Systems*

IR: *Infrared*

KNN: *K-Nearest Neighbor*

LEC: *Local Environment Cognition*

LF: *Low frequency*

LOS: *Line-Of-Sight*

LQI: *Link Quality Indicator*

MAC: *Media Access Control*

NASA: *National Aeronautics and Space Administration*

NLOS: *Non-Line-Of-Sight*

PDR: *Pedestrian Dead Reckoning*

POA: *Phase Of Arrival*

RF: *Radiofrequência*

RFID: *Radio-Frequency Identification*

RIPS: *Radio Interferometric Positioning System*

RSP: *Received Signal Phase*

RSSF: *Rede de Sensores Sem Fio*

RSSI: *Received Signal Strength Indicator*

RTOF: *Reflectron Time Of Arrival*

SLAM: *Simultaneous Localization And Mapping*

SMP: *Smallest M-vertex Polygon*

SVM: *Support Vector Machines*

TOA: *Time Of Arrival*

TDOA: *Time Difference Of Arrival*

UCS: *Universidade de Caxias do Sul*

UFRGS: *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

USB: *Universal Serial Bus*

UTM: *Universal Transversa de Mercator*

UWB: *Ultra Wide Band*

WAF: *Wall Attenuation Factor*

WLAN: *Wireless Local Area Network*

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo dados do Censo demográfico 2010 (IBGE, 2010), divulgado pelo IBGE, mais de 8 milhões de brasileiros têm algum tipo de dificuldade de locomoção. Não se tem um dado exato do número de cadeirantes, mas sabe-se que grande parte dessas pessoas com deficiência necessita de cadeira de rodas para se locomover.

Com o fato de existirem inúmeros brasileiros cadeirantes, o desenvolvimento de tecnologias ditas "assistivas", ou seja, tecnologias que visam assistir estas pessoas em suas atividades, têm recebido uma crescente atenção, tanto do ponto de vista de negócios (com o aumento de produtos), como de pesquisas acadêmicas. Dentre estas linhas de pesquisa, a integração entre cadeiras de rodas automatizadas com sistemas de automação predial e residencial está entre as linhas de pesquisa de maior destaque, pois tem como objetivo tornar a vida do usuário de cadeira de rodas mais produtiva e cômoda, contribuindo para sua independência.

O desenvolvimento de cadeiras de rodas automatizadas ou inteligentes tem como objetivo buscar uma maneira de melhorar a locomoção dessas pessoas (GARCIA *et al.*, 2010). Essas cadeiras inteligentes são capazes de se locomover sozinhas (MATSUMOTO *et al.*, 2006; CELESTE, 2009; IENAGA *et al.*, 2010) ou através de comandos específicos, como por exemplo, com auxílio de *joystick* ou até mesmo a partir de sinais biológicos do cadeirante, como por exemplo, sinais mioelétricos, sinais eletrooculográficos, posicionamento ocular, respiração, ondas cerebrais, dentre outros (SILVA, 2007).

O elemento fundamental para uma cadeira inteligente se locomover sozinha é o conhecimento da posição exata, ou a mais próxima da real, em que se encontra no ambiente. Entretanto, a informação da posição da cadeira não é somente útil para navegação autônoma,

ela também pode ser utilizada para uma localização mais simples, como, por exemplo, para o auxílio na navegação manual (GARCIA *et al.*, 2010), para o cuidado com a saúde, uma vez que é possível estimar a posição e observar o comportamento de um paciente em um ambiente assistido (STEINHAGE & LAUTERBACH, 2011) e no processo de automação de ambientes inteligentes (LIU *et al.*, 2007).

Em geral, os sistemas de localização têm como propósito fornecer informações de localização de pessoas ou objetos. Com a evolução dos dispositivos móveis e redes sem fios de curto alcance, a aplicação desses sistemas em ambientes internos tornou-se muito popular nos últimos anos (LIU *et al.*, 2007), sendo a utilização de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) um dos principais temas da atualidade em pesquisas de nível acadêmico como solução para sistemas de localização em interiores (MENEGATTI *et al.*, 2009; CHERNTANOMWONG & SUROSO, 2011; RODRIGUES, 2011; MOTTER *et al.*, 2011).

A aplicação de RSSF em conjunto com sistemas de automação predial e residencial eleva o nível de um ambiente automatizado para um ambiente inteligente (PAN *et al.*, 2008; HUSSAIN, 2009), tornando o nível de abstração maior, uma vez que o usuário necessita saber se o ambiente pode lhe oferecer um determinado serviço, sem lhe interessar qual dispositivo irá provê-lo (PEROZZO & PEREIRA, 2008). Por este motivo, as RSSF são comumente utilizadas em sistemas de automação predial e residencial.

Além das funções tradicionais de sensoriamento, processamento e comunicação de dados (STOJMENOVIC, 2005), a RSSF apresenta-se como uma alternativa no desenvolvimento de sistemas de localização em ambientes inteligentes, uma vez que sua infraestrutura é flexível, não depende de fios na interligação dos dispositivos, e a rede pode ser composta por dispositivos sensores multifuncionais, de baixo custo e de baixa potência (HUSSAIN, 2009).

Assim como a RSSF contribui para o desenvolvimento de ambientes inteligentes, a tecnologia RFID também se apresenta como uma solução interessante para identificação automática de pessoas e objetos neste tipo de aplicação. Em suma, a tecnologia RFID é um método de identificação automática através de sinais de rádio, semelhante ao tradicional código de barras, mas utiliza ondas de rádios ao invés da radiação infravermelha para a identificação da etiqueta pelo leitor (LI & BECERIK-GERBER, 2011).

A capacidade de armazenar informações (ID da etiqueta), o fato de não necessitar de linha visada para a leitura e o curto alcance de leitura de algumas etiquetas (poucos centímetros) proporcionam uma característica particular aos sistemas RFID, que vem sendo explorada em pesquisas da área de sistemas de localização, a utilização de etiquetas RFID como marcos de referência, popularmente chamado de *landmark* (PARK & HASHIMOTO, 2009; CRUZ, 2010; LI & BECERIK-GERBER, 2011).

Diferente dos trabalhos que utilizam uma grande quantidade de etiquetas RFID no desenvolvimento de sistemas de localização por proximidade da fonte (PARK & HASHIMOTO, 2009; CHOI *et al.*, 2011), este trabalho explora a característica de marcos de referência como uma nova solução para a calibração automática dos parâmetros experimentais necessários para a estimação de posição utilizando RSSF, que tradicionalmente é realizada através de uma tarefa demorada e exaustiva de coleta de dados em vários pontos do ambiente (RODRIGUES, 2011; MOTTER *et al.*, 2011).

Dessa forma, a contribuição desta dissertação é a avaliação da combinação de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), comumente utilizadas em sistemas de automação predial e residencial, e da tecnologia RFID para sistemas de localização em interiores, e, principalmente, a utilização de etiquetas RFID como marcos de referências para a calibração dos parâmetros experimentais da RSSF.

O propósito da combinação dessas tecnologias neste trabalho é explorar a infraestrutura do ambiente inteligente para o processo de localização da cadeira de rodas, onde esta infraestrutura é composta por uma RSSF. Da mesma forma, a tecnologia RFID é explorada como marco de referência, por ser capaz de armazenar informações e possui um curto alcance de leitura. Tanto a RSSF como a tecnologia RFID possuem um potencial inovador e apresentam-se como uma solução interessante em diversas aplicações comerciais e acadêmicas, como, por exemplo, as RSSF no sensoriamento de ambientes e comunicação de dados sem fio, e a tecnologia RFID na identificação automática de objetos e pessoas sem a necessidade de linha visada. O potencial das RSSF e da tecnologia RFID e o fato de serem comumente empregadas em sistemas de automação predial e residencial justificam a escolha dessas tecnologias para o desenvolvimento do sistema de localização proposto nesta dissertação, pois exploraram a infraestrutura já existente no ambiente e suas funcionalidades podem ser utilizadas em outras aplicações.

Entretanto, as características intrínsecas da utilização de RSSF no processo de localização limitam a capacidade do sistema de distinguir locais próximos, ou seja, em função do comportamento impreciso do sinal RF das RSSF, o erro associado à estimativa de posição é superior a 1 m. Essa questão é considerada desde o início dessa dissertação, por isso, as aplicações do sistema de localização proposto se restringem a controlar o acionamento de lâmpadas e atuadores mecânicos para abertura de portas, temperatura e direção do ar condicionado, e outras aplicações que não demandam uma elevada precisão do sistema de localização.

Como estudo de caso, foi empregado o sistema de localização proposto numa aplicação de “Tecnologias Assistivas”, na qual a posição de uma cadeira de rodas automatizada inserida em um ambiente inteligente é estimada, permitindo ao sistema de automação o controle de variáveis como iluminação do ambiente, temperatura, atuadores

mecânicos para abertura de portas etc., de forma a tornar mais fácil para os cadeirantes a realização de suas atividades.

1.2 MOTIVAÇÃO

As pessoas que possuem algum tipo de deficiência de locomoção têm, devido às suas limitações físicas, dificuldades na execução de tarefas e situações da vida cotidiana, restringindo assim suas atuações. Em muitos casos, as restrições impostas pela deficiência diminuem a produtividade e, conseqüentemente, a autoestima da pessoa por se sentir incapaz de realizar tarefas ditas simples.

A integração de uma cadeira de rodas automatizada com um ambiente inteligente e um sistema de localização poderá oferecer serviços que tornarão a vida do usuário de cadeira de rodas mais produtiva e confortável, elevando sua autoestima e tornando-o mais independente na realização de tarefas cotidianas.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desta dissertação é propor um sistema de localização para cadeira de rodas automatizada em ambiente inteligente utilizando RSSF e a tecnologia RFID. As etiquetas RFID são utilizadas como marcos de referências para a calibração automática dos parâmetros necessários no processo de localização utilizando RSSF, que convencionalmente são obtidos de forma experimental.

Para alcançar o objetivo geral desta dissertação será necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- 1) avaliar os diferentes métodos propostos para a calibração do sistema e localização da cadeira de rodas combinando a RSSF e a tecnologia RFID;
- 2) comparar o sistema de localização proposto utilizando RSSF e a tecnologia RFID com o sistema de localização tradicional utilizando somente RSSF;

- 3) aplicar e avaliar o sistema de localização proposto em uma aplicação de “Tecnologias Assistivas”, como estudo de caso, onde a posição de uma cadeira de rodas automatizada inserida em um ambiente inteligente é estimada, permitindo ao sistema de automação o controle de variáveis do ambiente, como iluminação do ambiente, temperatura etc.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Além do capítulo de Introdução, o texto desta dissertação contém mais cinco capítulos, organizados da seguinte forma:

Capítulo 2. Neste capítulo é apresentada uma introdução sobre sistemas de localização em interiores, as principais características desses sistemas e as técnicas e tecnologias utilizadas para estimar a posição do alvo.

Capítulo 3. Neste capítulo é apresentada a análise do estado da arte em sistemas de localização, onde é dada uma atenção especial aos trabalhos relacionados à localização em interiores baseada em RSSF e na tecnologia RFID.

Capítulo 4. Neste capítulo é realizada a descrição da arquitetura do sistema proposto, sendo apresentados a visão geral da metodologia adotada e o detalhamento de cada etapa que compõe o sistema proposto, além dos equipamentos e tecnologias utilizadas para a realização dos experimentos.

Capítulo 5. Neste capítulo é apresentada a avaliação experimental do sistema de localização proposto, tendo a descrição dos ambientes e cenários criados para os experimentos, bem como a análise dos resultados alcançados.

Capítulo 6. Por fim, neste capítulo são apresentadas as considerações finais, conclusões e propostas de trabalhos futuros da dissertação.

2 TAXONOMIA DE SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO

Conforme já abordado no capítulo 1, os sistemas de localização em interiores têm como propósito fornecer informações de localização de pessoas ou objetos, e são utilizados em diversas aplicações, como rastreamento de ativos, gestão de estoque, navegação, monitoramento e na localização e orientação de pessoas (AL NUAIMI & KAMEL, 2011). Para alcançar tal objetivo, os sistemas de localização utilizam diferentes técnicas e tecnologias, e cada projeto possui sua peculiaridade.

Neste capítulo é apresentada uma introdução sobre sistemas de localização em interiores, as principais características desses sistemas e as técnicas e tecnologias utilizadas para estimar a posição do alvo.

2.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de localização em interiores se tornaram muito populares nos últimos anos (LIU *et al.*, 2007). As indústrias de transporte, manufatura e logística são as principais beneficiárias das soluções de rastreamento de ativos e gestão de estoque a partir dos sistemas de localização (LI & BECERIK-GERBER, 2011). A área da saúde adota estes sistemas para o monitoramento de equipamentos hospitalares de alto valor para evitar roubos, e, também, os pacientes podem ser monitorados e orientados dentro dos ambientes complexos dos hospitais (GU, 2009). Já o setor de turismo pode recorrer aos sistemas de localização em interiores para guiar turistas dentro de grandes museus e áreas públicas (NEIVA, 2012). Com sistemas mais precisos, a navegação autônoma de robôs é possível (ENRIQUEZ, 2010), assim como para cadeiras de rodas automatizadas em ambientes inteligentes (GARCIA *et al.*, 2010).

O sistema de localização mais popular e difundido no mercado é *Global Positioning System*, popularmente conhecido por GPS. O GPS é um sistema para localização em ambiente externo (*outdoor*) e depende de uma linha visada entre o dispositivo alvo e uma rede de

satélites (HOFMANN-WELLENHOF, 1993). Entretanto, o foco deste trabalho está em sistemas de localização em interiores (*indoor*), que terão as suas diferenças discutidas na seção 2.2.1.

O projeto *Active Badge* é o primeiro relato de um sistema de localização em interiores encontrado na literatura (WANT *et al.*, 1992). Desenvolvido no *Olivetti Research Laboratory* (atual AT&T Cambridge), este sistema utiliza a tecnologia de difusão infravermelha para realizar a estimativa da localização do alvo.

Alguns anos depois, outra abordagem para sistemas de localização é empregada no projeto *Smart Floor* (ORR & ABOWD, 2000). Neste sistema a localização da pessoa é estimada através do contato direto de um usuário com um conjunto de placas unidas a células de carga, como se fosse um tapete sensível à pressão.

Com o passar dos anos e, principalmente, pela evolução dos dispositivos móveis e redes sem fios de curto alcance permitiu-se desenvolver sistemas de localização baseados em Ultra Wide Band (UWB) (ZHANG *et al.*, 2006), Wireless Local Area Network (WLAN) (XIANG *et al.*, 2004), Radio-Frequency IDentification (RFID) (LI & BECERIK-GERBER, 2011), Bluetooth (VORST *et al.*, 2010), ZigBee (BRÁS, 2009), Telefone sem fio (SCHWAIGHOFER *et al.*, 2003) e RSSF (CHERNTANOMWONG & SUROSO, 2011), além de sistemas que não se baseiam em radiofrequência (RF), como por exemplo, ultrassom (HARTER *et al.*, 1999), infravermelho (Infrared - IR) (WANT *et al.*, 1992), navegação inercial (WOODMAN & HARLE, 2008), visão (KOHOUTEK, 2010) e sinais magnéticos (BINDIGANAVALÉ & BADLER, 1998).

Como se pode perceber com o contexto apresentado, os sistemas de localização em interiores possuem uma rica literatura e uma gama de projetos desenvolvidos. Sendo assim, as próximas seções deste capítulo têm como objetivo apresentar as principais características

desses sistemas, além dos tipos de sinais utilizados e técnicas empregadas para estimar a localização do alvo.

A Figura 1 apresenta uma sintaxe dos vários trabalhos estudados sobre sistemas de localização, detalhando as características dos sistemas, os tipos de sinais utilizados e as técnicas empregadas.

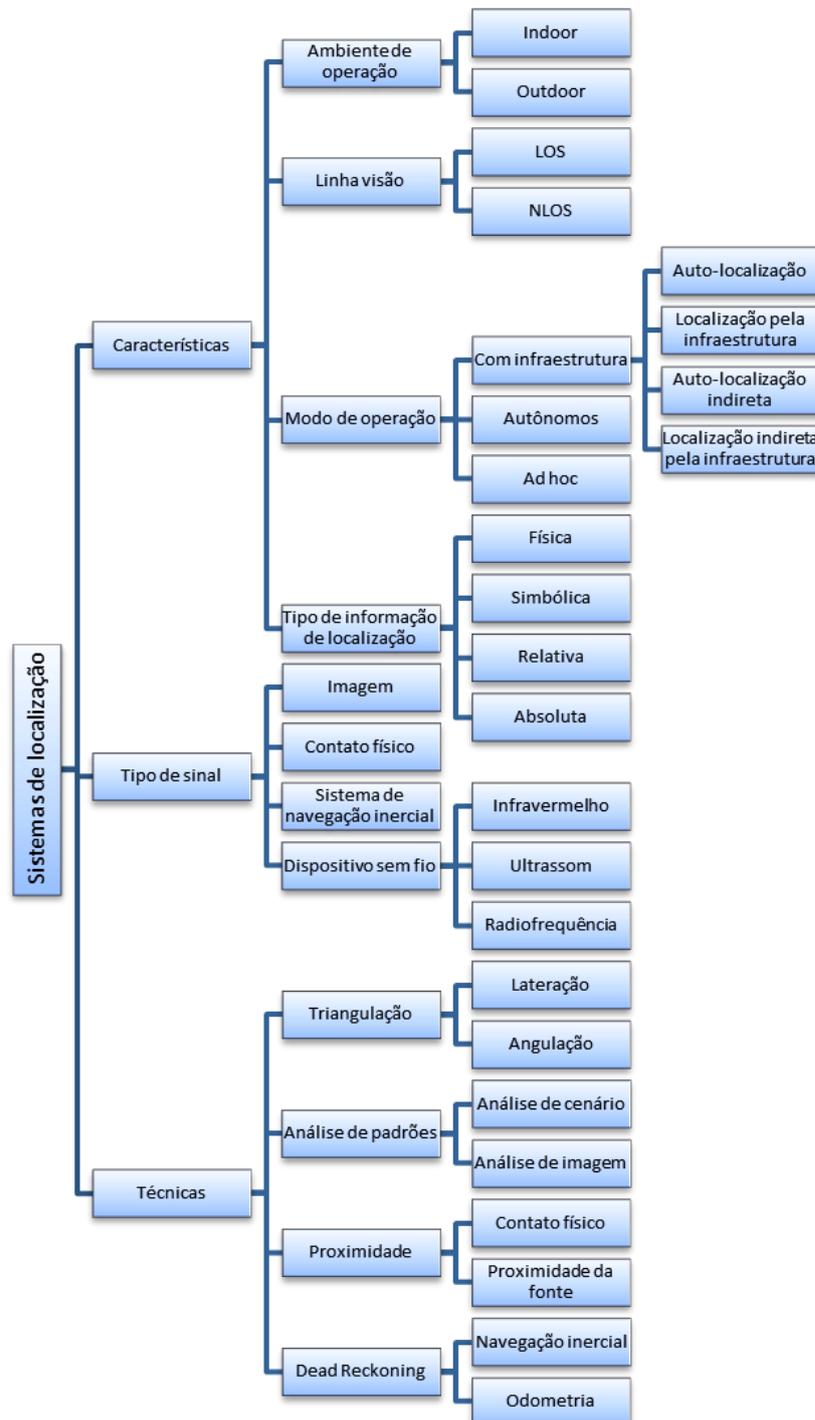


Figura 1 Taxonomia para sistemas de localização.

2.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Como descrito na seção 2.1, os sistemas de localização utilizam diversas tecnologias para estimar a posição de um alvo. Dessa forma, cada sistema possui sua peculiaridade que o difere dos demais.

Nesta seção são descritas as principais características dos sistemas de localização, como ambiente de operação, linha de visão, modo de operação e tipo de informação de localização.

2.2.1 Ambiente de operação

De uma forma geral, os sistemas de localização podem ser classificados quanto ao ambiente de operação, sendo ele: *Indoor* (interior) ou *Outdoor* (exterior). Os sistemas *outdoor* possuem uma área de cobertura muito abrangente e sua infraestrutura é normalmente complexa e dispendiosa. Um exemplo clássico de aplicação neste ambiente é o sistema popularmente conhecido como GPS.

Já os sistemas *indoor* se delimitam a localizar o alvo em uma área bastante reduzida, comparados aos sistemas *outdoor*, e estão sujeitos a interferências, atenuações e impedimentos de propagação de sinais devido aos obstáculos (paredes, móveis, divisórias etc.) presentes no local (RAPPAPORT, 2002).

Existem, ainda, sistemas do tipo *indoor/outdoor* que integram GPS e UWB (CHIU & O'KEEFE, 2008), GPS e RFID (YELAMARTHI *et al.*, 2010), ou GPS e GPS indoor (KHOURY & KAMAT, 2009) para dar continuidade na localização do alvo mesmo que este se mova do interior para o exterior do ambiente, e vice-versa.

O foco deste trabalho está no desenvolvimento de um sistema de localização em interiores. Por isso, as características e conceitos abordados neste trabalho dizem respeito ao

ambiente de operação *indoor*. Entretanto, algumas características desses dois tipos de sistemas se assemelham, podendo ser encontradas em ambos os casos.

2.2.2 Linha de visão

Alguns sistemas de localização necessitam de uma linha de visão entre o transmissor e o receptor. Sendo assim, é possível classificar os sistemas de localização como: Line-Of-Sight (LOS) – linha visada – ou Non-Line-Of-Sight (NLOS) – sem linha visada (LIU *et al.*, 2007).

Segundo o dicionário de termos técnicos para uso aeroespacial da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), LOS possui os seguintes significados (GLOVER, 2001):

- 1) A linha reta entre o olho do observador e o objeto ou ponto observado. Também chamado caminho ótico;
- 2) Qualquer linha reta entre um ponto e outro, ou que se estende a partir de um determinado ponto;
- 3) Em telecomunicações, um caminho direto de propagação que não vai abaixo do horizonte de rádio.

O sistema LOS permite unir o transmissor ao receptor por uma linha imaginária reta, um caminho direto e desobstruído, onde a maior parte da primeira zona de Fresnel (zona primária) é livre de qualquer obstrução. No caso contrário, se houver obstáculos entre estes dispositivos e o sinal chega ao receptor através de reflexões, dispersões e difrações, ou mesmo atravessando os obstáculos, dá-se o nome de sistema NLOS.

Os sistemas baseados em sinais RF permitem uma comunicação NLOS devido às características de reflexão, dispersão e difração, e penetração, da onda eletromagnética (ondas de rádio). Dessa forma, mesmo que os sinais sofram degradação devido aos obstáculos, a comunicação não é desfeita e a localização pode ser determinada.

Diferente disto, os sistemas baseados em Infrared (IR) – infravermelho – são considerados LOS devido à natureza do sinal utilizado (radiação infravermelha). Sendo assim,

a comunicação pode ser comprometida caso não se estabeleça uma linha visada entre os dispositivos.

2.2.3 Modo de operação

Em relação ao modo de operação, os sistemas de localização podem ser classificados como: autônomos, do tipo Ad hoc ou com infraestrutura instalada.

O sistema autônomo consiste de um dispositivo móvel que se auto-localiza, não dependendo de nenhuma infraestrutura instalada no ambiente para determinar a sua localização. A determinação da sua localização leva em consideração a posição anterior conhecida e as alterações que ela sofre, como distância percorrida, direção e velocidade. Como sistema autônomo pode-se citar a técnica *dead reckoning* (DR) (AL NUAIMI & KAMEL, 2011; LI & BECERIK-GERBER, 2011).

Já o sistema do tipo Ad hoc é normalmente utilizado em redes de sensores sem fio, uma vez que a localização de um dispositivo é sempre relativa a outro dispositivo (vizinho), este sendo fixo e com posição previamente conhecida (informação de localização absoluta) ou móvel (informação de localização relativa). Este tipo de sistema não possui um controle central, sendo a estimativa de posição determinada a partir da troca de informações entre os dispositivos vizinhos da rede (ČAPKUN, 2002).

No caso de um sistema de localização com infraestrutura instalada, se pressupõem dois componentes básicos: a infraestrutura e o alvo. A infraestrutura é todo o aparato instalado no ambiente que determina a localização ou dá suporte para tal (controle central). E o alvo é o que se deseja localizar.

2.2.3.1 Topologias de infraestrutura

Os sistemas de localização com infraestrutura instalada podem ser classificados a partir da sua topologia de infraestrutura. Segundo (LIU *et al.*, 2007), as topologias de localização que podem ser criadas a partir da infraestrutura e do alvo são:

- 1) auto-localização: se dá quando o alvo aproveita a infraestrutura instalada para determinar a sua localização. O alvo recebe sinais oriundos da infraestrutura, processa-os e determina a sua posição. A vantagem desta topologia é a garantia de privacidade do alvo, uma vez que a informação da sua posição não é compartilhada com a infraestrutura;
- 2) localização pela infraestrutura: ocorre quando o alvo produz sinais que são captados por toda a infraestrutura. Os sinais recebidos por todas as unidades de medição são recolhidos e processados para determinar a posição do transmissor (alvo);
- 3) auto-localização indireta: se existir um link de comunicação entre a infraestrutura e o alvo, e a medição dos sinais é feita pela infraestrutura, que transmite esses dados para o alvo pelo link, que por sua vez determina a sua posição, teremos uma auto-localização indireta;
- 4) localização indireta pela infraestrutura: pressupondo o link citado, e o alvo recebendo os sinais e enviando pelo link os dados da medição para a infraestrutura calcular a sua posição, teremos uma localização indireta pela infraestrutura.

A Figura 2 exemplifica as possíveis topologias dos sistemas de localização com infraestrutura instalada, conforme a seguinte ordem: auto-localização (1), localização pela infraestrutura (2), auto-localização indireta (3) e localização indireta pela infraestrutura (4).

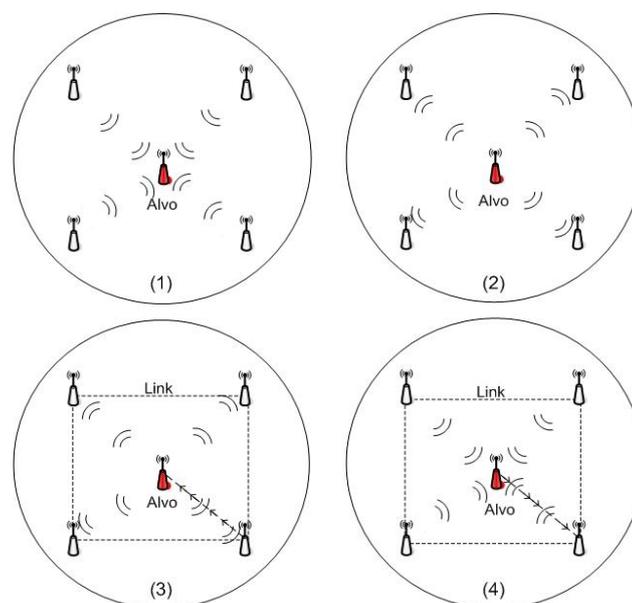


Figura 2 Topologias dos sistemas com infraestrutura instalada.

2.2.4 Tipo de informação de localização

As aplicações dos sistemas de localização são diversas, e, com isso, exigem diferentes tipos de informação de localização (LIU *et al.*, 2007). Dessa forma, pode-se classificar a informação de localização em quatro tipos, sendo elas:

- 4) física: expressa sob a forma de coordenadas geográficas, como por exemplo, Degrees/Minutes/Seconds (DMS) – graus/minutos/segundos – e o sistema Universal Transversa de Mercator (UTM);
- 5) simbólica: expressa a localização na forma de espaços, ou seja, identifica regiões delimitadas como um escritório, quarto ou cozinha;
- 6) relativa: depende sempre de outro dispositivo (vizinho) para determinar a sua posição em relação a ele. Logo, as coordenadas são próprias de cada rede de dispositivos;
- 7) absoluta: tem-se quando o sistema possui uma infraestrutura que proporciona um eixo de coordenada (a partir de dispositivos de referência), tal que é possível determinar a localização do alvo através da sua distância em relação ao eixo.

A Figura 3 apresenta um exemplo dos diferentes tipos de informação de localização (física (alvo 1), simbólica (alvo 2), relativa (alvo 3) e absoluta (alvo 4)) no mesmo cenário.

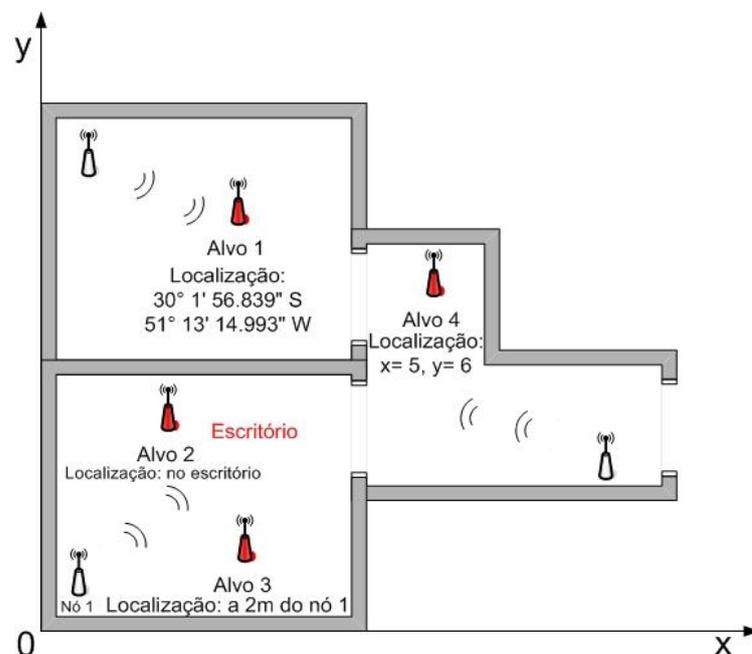


Figura 3 Exemplo dos diferentes tipos de informação de localização.

2.3 TIPO DE SINAL UTILIZADO PARA A LOCALIZAÇÃO

Os artigos de (AL NUAIMI & KAMEL, 2011), (LI & BECERIK-GERBER, 2011), (GU, 2009), (LIU *et al.*, 2007), (MAUTZ & TILCH, 2011) e (KOYUNCU & YANG, 2010) abordam diferentes tipos de sinais utilizados para localização do alvo. Com o intuito de apresentar uma classificação mais clara destes sinais, é realizada uma divisão em quatro grupos principais, sendo eles: imagem, contato físico, sistemas inerciais e sinais sem fio.

2.3.1 Imagem

Os recentes avanços na tecnologia CCD e CMOS, na velocidade de processamento e compressão de imagem proporcionaram um crescimento no desenvolvimento de sistemas de localização baseados em imagem (MAUTZ & TILCH, 2011; RAMPINELLI *et al.*, 2013).

Normalmente, os sistemas de localização baseados em imagem capturam as imagens a partir de várias câmeras espalhadas no ambiente com diferentes ângulos de captura. Essas imagens são enviadas a um servidor, onde são processadas para posteriormente serem analisadas por algoritmos e técnicas complexas para estimação da posição do alvo. Sendo assim, esses sistemas demandam um grande esforço computacional e podem oferecer uma exatidão considerável.

2.3.2 Contato físico

Os sistemas de localização baseado em contato físico caracterizam-se pelo contato direto entre alvo e componente da infraestrutura do sistema. A estimativa de posição do alvo se dá diretamente pelo contato do alvo com um sensor, que deve ter sua posição conhecida pela infraestrutura.

Um exemplo de sistema de localização baseado em contato físico, e um dos primeiros sistemas de localização em interiores encontrados na literatura, é o projeto *Smart Floor* (ORR

& ABOWD, 2000). Este projeto consiste em preencher o chão de um ambiente com vários sensores de pressão em posições conhecidas, formando um tapete inteligente. Com base no perfil do usuário (alvo), dado pelas características de peso e inércia da caminhada, é possível não só localizar o alvo como também identificar o usuário presente no ambiente. A placa do piso e a célula de carga utilizadas no projeto podem ser vistas na Figura 4.

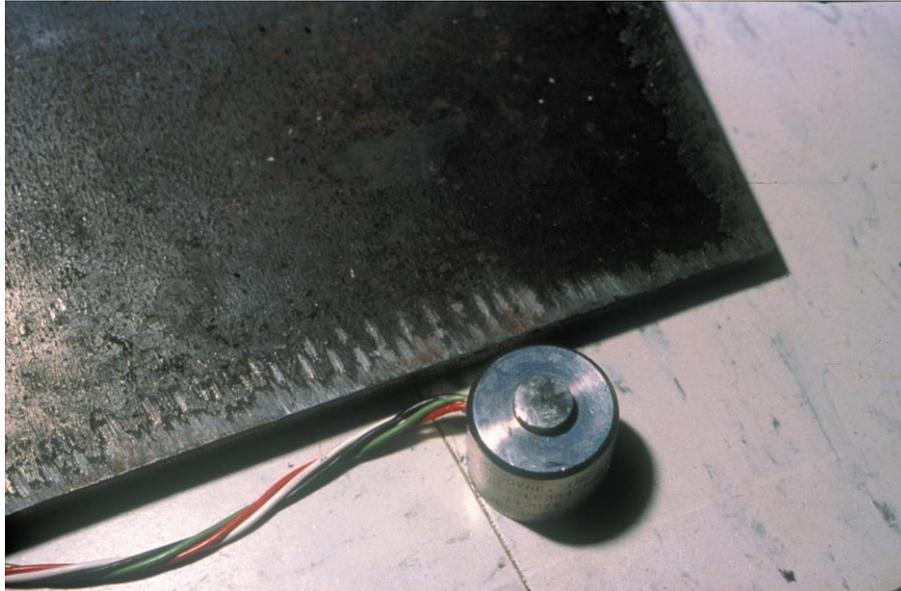


Figura 4 A placa do piso e a célula de carga do Smart Floor (ORR & ABOWD, 2000).

2.3.3 Sistema de navegação inercial

Os sistemas de localização inercias, ou sistemas de navegação inerciais, do inglês Inertial Navigation Systems (INS), permitem estimar a localização do usuário (alvo) independentemente de uma infraestrutura instalada (modo de operação autônomo), desde que o usuário carregue consigo sensores de movimento (acelerômetros) e rotação (giroscópios) e um circuito integrado processador para coletar as leituras dos sensores e executar os algoritmos de estimação da posição (LI & BECERIK-GERBER, 2011).

Esse tipo de sistema acumula erros em função do tempo, pois a aceleração obtida pelo acelerômetro no deslocamento é integrada em função do tempo para estimar a distância percorrida (KOYUNCU & YANG, 2010). Existem algumas maneiras de reduzir esses erros,

como calibrar o sistema periodicamente através de dispositivos com localização conhecida, por exemplo, utilizando etiquetas RFID (GUERRIERI *et al.*, 2006), ou calculando o percurso por meio da contagem dos passos do usuário e medindo o comprimento de cada passo, tornando o erro proporcional à distância de percurso, que é menor em sistemas de localização em interiores (BEAUREGARD & HAAS, 2006).

2.3.4 Dispositivos sem fio

Os sistemas de localização baseados em dispositivos sem fio, do inglês *wireless*, se tornaram muito populares nos últimos anos, sendo a maioria dos sistemas de localização em interiores encontrados no mundo (LIU *et al.*, 2007).

Os dispositivos sem fio podem ser classificados em três grupos principais, sendo eles: infravermelho, ultrassom e radiofrequência. As características de cada grupo serão discutidas nas próximas seções.

2.3.4.1 Infravermelho

O sinal eletromagnético do infravermelho está contido entre 300 GHz e 400 THz do espectro eletromagnético, adjacente ao final do vermelho do espectro de luz visível, como pode ser visto na Figura 5. Este tipo de sinal é radiado por corpos que geram ou armazenam calor, invisível para o olho humano, podendo ser captados apenas por sensores térmicos.

O infravermelho é comumente encontrado em dispositivos eletrônicos, como: televisores, impressoras, celulares, notebooks, entre outros. A utilização deste sinal para sistemas de localização, quando se tem uma linha visada na comunicação e sem interferência de fortes fontes de luz, pode alcançar resultados onde a posição estimada é considerada absoluta, ou seja, com um erro praticamente nulo (GU, 2009).

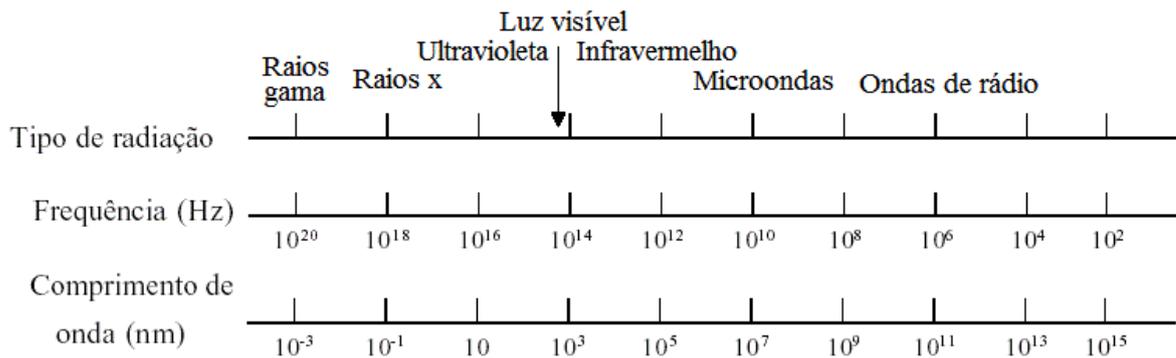


Figura 5 Espectro eletromagnético.

Como o sinal infravermelho não ocupa espaço no espectro das ondas de rádio, ele pode ser utilizado quando se tem um ambiente com interferência eletromagnética crítica. Entretanto, problemas como a difusão do infravermelho nas paredes e objetos, e o fato de não atravessar a maioria dos materiais encontrados em ambientes internos, como paredes e móveis, restringe sua aplicação a ambientes limitados, como o interior de uma sala (FERNANDO *et al.*, 2003).

2.3.4.2 Ultrassom

O ultrassom ocupa no espectro sonoro uma banda de frequência superior às frequências perceptíveis ao ouvido humano, ou seja, acima dos 20 kHz, podendo atingir algumas centenas de kHz. Este tipo de sinal não é capaz de atravessar paredes e grandes obstáculos, além disso, a propagação do ultrassom é influenciada diretamente pela temperatura do ambiente.

Os morcegos utilizam de sinais ultrassônicos para navegarem no meio da noite, e inspirados nesta técnica os pesquisadores do AT&T Cambridge evoluíram o sistema *Active Bagde*, baseado em infravermelho (WANT *et al.*, 1992), para o sistema *Active Bat*, baseado em ultrassom (GU, 2009).

Semelhante ao seu projeto antecessor, no *Active Bat* os alvos carregam um dispositivo emissor em forma de crachá, entretanto, o sinal emitido é ultrassônico e periódico. Os receptores de ultrassom são fixados em todo o teto do ambiente. Dessa forma, além de estimar

a posição do alvo, é possível informar de forma básica a orientação do mesmo (HARTER *et al.*, 1999).

Os principais problemas dessa técnica se dão pelo fato da exigência de um grande número de receptores ultrassônicos fixados nos tetos dos vários espaços do ambiente, pelo alinhamento preciso na colocação dos mesmos e pela necessidade de uso de um dispositivo preciso para sincronizar o tempo de transmissão e recepção dos sinais (KOYUNCU & YANG, 2010).

2.3.4.3 Radiofrequência

A radiofrequência (RF) é a faixa de frequências correspondente às ondas de rádios no espectro eletromagnético, abrangendo a faixa de 3 kHz a 300 GHz. A velocidade de propagação dos sinais RF no vácuo se equivale à velocidade da luz ($3 \cdot 10^8$ m/s). A principal característica deste sinal se dá pelo fato dele ser capaz de contornar e até mesmo atravessar obstáculos.

A capacidade de contornar obstáculos e a elevada velocidade de propagação fazem do sinal RF o mais utilizado para sistemas de localização em interiores (GU, 2009). Além disso, a maioria das tecnologias e técnicas de localização encontradas na literatura é baseada em sinais de radiofrequência.

As tecnologias baseadas em RF utilizadas em sistemas de localização são bastante diversificadas, como por exemplo: RFID (LI & BECERIK-GERBER, 2011), WLAN (XIANG *et al.*, 2004), Bluetooth (VORST *et al.*, 2010), RSSF (MENEGATTI *et al.*, 2009; CHERNTANOMWONG & SUROSO, 2011; RODRIGUES, 2011; MOTTER *et al.*, 2011), UWB (ZHANG *et al.*, 2006), entre outras.

Os sistemas de localização em interiores baseado em RF utilizam diferentes técnicas para estimar a localização do alvo. Por se tratar de ambientes fechados, é difícil modelar a propagação dos sinais nestes ambientes, principalmente pelo efeito de múltiplos caminhos

(*multipath*) gerado pela reflexão, difração e dispersão dos sinais nas estruturas internas, paredes e mobília. O estado da arte em sistemas de localização não possui nenhum modelo capaz de descrever de forma ideal as características do efeito de múltiplos caminhos (PAHLAVAN, 2002).

Algumas pesquisas tentam minimizar os efeitos negativos dos ambientes internos propondo modelos que consideram a atenuação dos sinais RF pelas paredes, do inglês *Wall Attenuation Factor* (WAF), e pelo piso, do inglês *Floor Attenuation Factor* (FAF) (GOMES, 2008). Outro meio encontrado é a utilização da técnica de análise de cenário (ver seção 2.4.2.1), que possui uma etapa *offline* para calibrar o sistema e, com isso, minimizar os erros de localização, uma vez que a calibração é realizada de acordo com o sistema e ambiente de localização.

2.4 TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO

Neste trabalho, as técnicas de localização são classificadas com base na literatura em três grupos principais (LIU *et al.*, 2007; KOYUNCU & YANG, 2010; AL NUAIMI & KAMEL, 2011; LI & BECERIK-GERBER, 2011), sendo eles: triangulação, análise de padrões e proximidade. Os grupos e subgrupos das técnicas de localização serão descritos nas próximas seções.

2.4.1 Triangulação

A triangulação é uma técnica de localização que se baseia em propriedades geométricas e fórmulas matemáticas para determinar a localização do alvo. Essa técnica pode ser subdividida em duas técnicas distintas: Lateração, que se baseia na distância entre os dispositivos; e Angulação, que se baseia na diferença angular entre os dispositivos (LIU *et al.*, 2007). A Figura 6 ilustra as duas técnicas de triangulação.

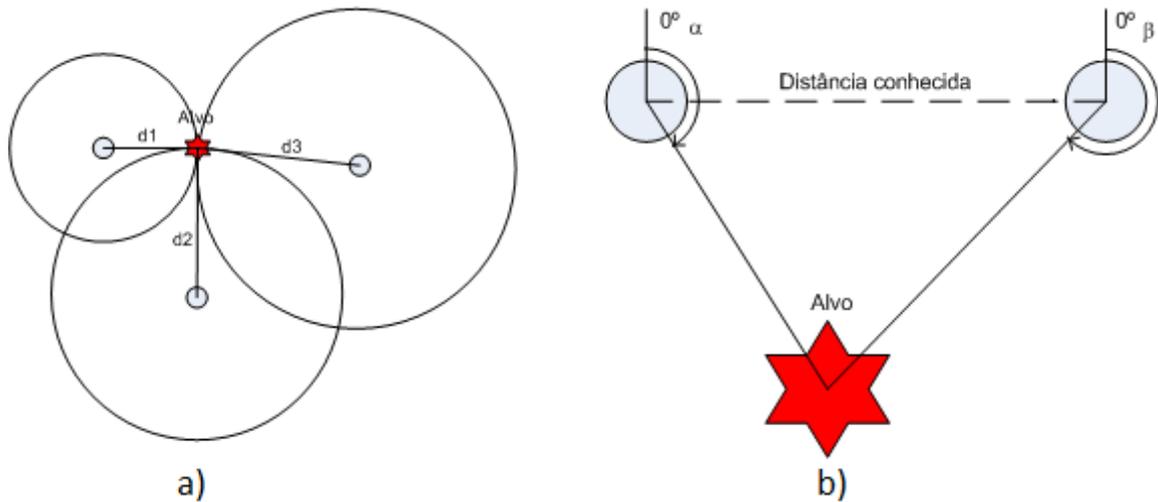


Figura 6 Técnica de a) Lateração e b) Angulação.

2.4.1.1 Lateração

Na lateração, comumente chamada de trilateração na literatura (KOYUNCU & YANG, 2010), a posição do alvo é estimada através da sua distância em relação aos pontos de referência previamente conhecidos. Para coordenadas bidimensionais é necessário conhecer a distância do alvo em relação a pelo menos três pontos de referências não colineares para determinar a localização.

As distâncias entre os dispositivos podem ser estimadas a partir do tempo de voo, fase ou intensidade do sinal, como descrito a seguir.

2.4.1.1.1 *Time Of Arrival* (TOA) – Tempo de chegada

A técnica de tempo de chegada, como o nome sugere, baseia-se na medição do tempo em que o sinal de um dispositivo leva para chegar a outro. Para isso, é necessário um sincronismo de relógio muito rápido e preciso entre os dispositivos. Esta técnica está normalmente associada com sistemas baseados em ultrassom, devido ao fato dos sinais se propagarem mais lentamente que os sinais de RF, dispensando um sincronismo de relógio muito preciso.

2.4.1.1.2 *Time Difference Of Arrival* (TDOA) – Diferença do tempo de chegada

A TDOA baseia-se na diferença temporal existente na recepção de vários sinais gerados por diferentes fontes. Conhecendo a posição das diferentes fontes de sinais, a diferença temporal na recepção destes sinais é utilizada para determinar a posição do alvo.

Normalmente, para potencializar a técnica, são utilizadas duas tecnologias diferentes para gerar os sinais, com velocidades de propagação distintas. Dessa forma, a tecnologia de maior velocidade de propagação (por exemplo, o sinal RF) é utilizada para sinalizar o início da contagem do tempo (gatilho), e com a recepção do segundo sinal (por exemplo, o ultrassom) é encerrada a contagem. A aplicação desta técnica é vista nos projetos *Cricket* (PRIYANTHA, 2005) e uma combinação com a técnica do ângulo de chegada no projeto Ubisense (STEGGLES & GSCHWIND, 2005).

2.4.1.1.3 *Reflectron Time Of Arrival* (RTOF) – Tempo de voo de ida e volta

Essa técnica considera a duração do tempo de envio do sinal e da recepção da resposta do outro dispositivo para determinar a localização do alvo. Para isto, deve-se considerar o tempo de processamento do dispositivo receptor e do tempo de transmissão da resposta do mesmo. A dificuldade de se determinar com exatidão esse tempo de processamento faz com que essa técnica não seja muito empregada. Os sistemas que fazem uso dessa técnica são considerados como um radar comum (LIU *et al.*, 2007).

2.4.1.1.4 *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) – Indicador de intensidade do sinal recebido

O RSSI é um recurso que pode ser utilizado para fazer localização de dispositivos que se comunicam por sinais de radiofrequência. Um sinal transmitido sofre atenuação durante o percurso entre o transmissor e o receptor, respeitando o modelo de propagação de ondas eletromagnéticas no espaço livre, que está diretamente relacionado com a distância entre os

dispositivos. A Equação 1, também conhecida como Equação de Friis, descreve a propagação de uma onda eletromagnética no espaço livre (RAPPAPORT, 2002).

$$P_R(d) = P_t \left(\frac{\lambda}{4.\pi.d} \right)^2 \frac{G_t.G_r}{L} \quad (1)$$

Onde:

P_R : potência de recepção;

P_t : potência de transmissão;

d : distância entre transmissor e receptor, expressa em metros;

λ : comprimento de onda do sinal enviado, expresso em metros;

G_t : ganho da antena do transmissor, em unidades adimensionais;

G_r : ganho da antena do receptor, em unidades adimensionais;

L : fator de perda do sistema não relacionado à propagação ($L \geq 1$).

Na literatura são utilizados dois tipos de técnicas para estimar a posição do alvo utilizando o RSSI (KOYUNCU & YANG, 2010). A primeira abordagem é baseada na utilização de modelos matemáticos de propagação do sinal, onde esses modelos tentam relacionar a distância entre o transmissor e receptor à potência do sinal recebido. A segunda técnica consiste na utilização de um mapa de intensidade de sinal recebido. A primeira abordagem é descrita a seguir, enquanto a técnica baseada em mapa de intensidade de sinal recebido é descrita na seção 2.4.2.1.

Os modelos de propagação de sinal para sistemas de localização tentam relacionar o RSSI à distância entre transmissor e receptor, onde, de modo geral, quanto maior a distância entre transmissor e receptor, menor é o valor de RSSI calculado para uma mensagem recebida. Entretanto, o sinal também é atenuado por obstáculos (paredes e móveis) e pode ser refletido por objetos metálicos, criando o efeito de múltiplos caminhos, que diminui consideravelmente a precisão do sistema. Sendo assim, o efeito de múltiplos caminhos, e suas consequências, é mais pronunciado em ambientes internos (FARAHANI, 2008).

Os modelos WAF e FAF (GOMES, 2008) buscam amenizar os efeitos de múltiplos caminhos. Entretanto, as constantes de propagação dos sinais utilizadas nos modelos são determinadas de forma experimental, elevando o tempo de calibração do sistema.

2.4.1.1.5 *Received Signal Phase (RSP)* – Fase do sinal recebido

A técnica RSP, também conhecida como fase de chegada (Phase Of Arrival – POA), utiliza a fase da portadora (ou a diferença de fase) para estimar a distância do alvo. Para tal, os transmissores são colocados em locais específicos e conhecidos, e estes emitem sinais senoidais puros, de mesma frequência e defasagem de fase igual a zero.

Esta técnica sofre com os mesmos problemas de multicaminhos enfrentados pelas outras técnicas baseadas em triangulação, e, além disso, os dispositivos utilizados exigem um *hardware* mais complexo. Por estes motivos, essa técnica é pouco empregada. Um exemplo de aplicação é apresentado no projeto nomeado *Radio Interferometric Positioning System (RIPS)* (MARÓTI *et al.*, 2005).

2.4.1.1.6 Chirp Spread Spectrum (CSS)

Em 2007, a técnica CSS foi padronizada para a camada física do padrão IEEE 802.15.4a, ganhando grande destaque na área de desenvolvimento de sistemas de localização (CHO, 2010). Essa técnica é baseada no tempo de voo do sinal RF, assim como a técnica TOA, mas com a vantagem de não necessitar de um sincronismo de relógio rápido e preciso. Na técnica CSS a distância entre os dispositivos (emissor e receptor) é estimada com base no aumento e na diminuição da frequência de comunicação em função do tempo (KIM *et al.*, 2007).

Atualmente são poucos os trabalhos sobre sistemas de localização utilizando a técnica CSS, em comparação à técnica RSSI, por exemplo. Esse fato se dá principalmente pela não difusão maciça da tecnologia CSS nos dispositivos de comunicação sem fio, o que impede o seu progresso no meio acadêmico e nas pesquisas científicas. Entretanto, com base nos

primeiros resultados relatados sobre a CSS, essa técnica tem o potencial para desenvolver sistemas de localização em interiores mais precisos que os sistemas atuais, e sem elevar o custo de implementação (KIM *et al.*, 2007; CHO, 2010).

2.4.1.2 Angulação

A técnica de angulação utiliza princípios matemáticos muito semelhantes aos da lateração. A diferença está na utilização dos ângulos formados entre os pontos de referência e o alvo ao invés das distâncias. Para coordenadas bidimensionais é necessário conhecer dois ângulos e a distância entre os pontos dos ângulos conhecidos. A técnica de angulação também é chamada na literatura de direção de chegada (Direction Of Arrival – DOA) e ângulo de chegada (Angle Of Arrival – AOA) (NICULESCU & NATH, 2003).

Normalmente essa técnica não é empregada sozinha, como no caso do projeto Ubisense (STEGGLES & GSCHWIND, 2005), devido ao fato de resultar um erro elevado quando o alvo está longe. Entretanto, em (NICULESCU & NATH, 2003) é proposto um método baseado em angulação para determinar a localização e orientação do alvo em uma rede ad hoc de curto alcance.

2.4.2 Análise de padrões

A técnica de análise de padrões baseia-se na observação do cenário no qual o alvo será localizado, obtendo assim características únicas (padrões) de cada posição do alvo dentro do ambiente. Com base na literatura, foi possível identificar e classificar a técnica de análise de padrões em dois grupos principais, sendo eles: análise de cenário e análise de imagem.

2.4.2.1 Análise de cenário

A técnica de análise de cenário, também encontrada na literatura como *fingerprinting*, consiste, primeiramente, em coletar características (*fingerprints* - impressões digitais) de um cenário e, posteriormente, estimar a localização de um objeto combinando medições *online*

com as impressões digitais de localização mais próximas, conhecidas *a priori* (DAWES & CHIN, 2011).

O processo de localização dessa técnica é dividido em duas partes, a *offline* e a *online*. A primeira etapa, também conhecida como fase de calibração ou treinamento, consiste na coleta de várias amostras em posições predefinidas, chamadas de impressões digitais, que posteriormente são gravadas em uma base de dados. Normalmente, as amostras são valores de RSSI, logo essa etapa do processo recebe o nome de “construção do mapa de intensidade de sinal recebido”. Na segunda etapa, a localização do alvo é estimada a partir de um algoritmo que confronta o sinal RSSI atual do alvo com o mapa de intensidade de sinal recebido. A Figura 7 exemplifica as fases da técnica de análise de cenário.

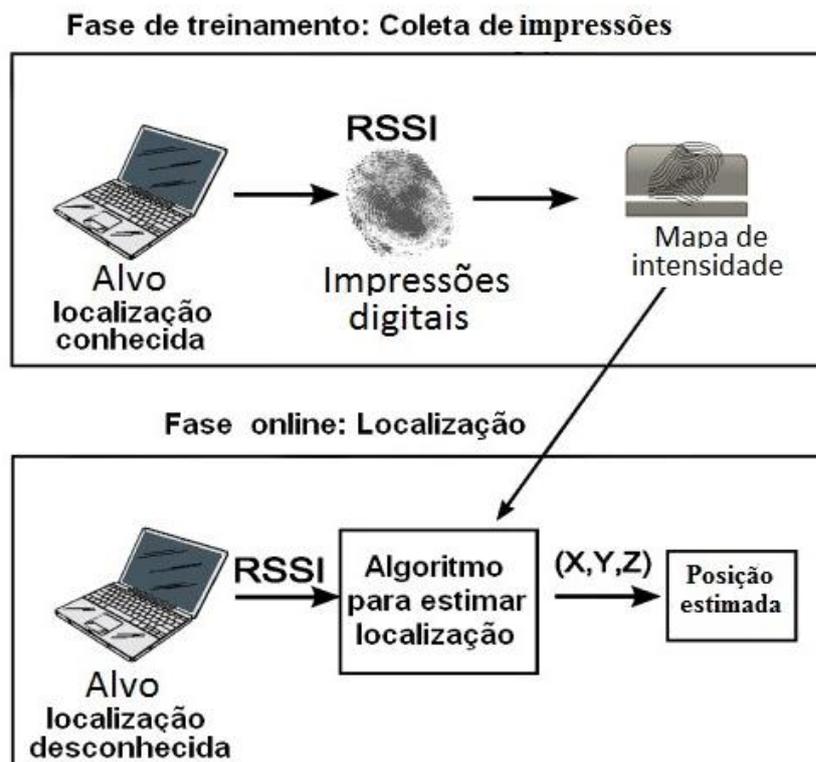


Figura 7 Fases da técnica de análise de cenário – Adaptado de (DAWES & CHIN, 2011).

O algoritmo recebe como parâmetros de entrada o valor do RSSI atual do alvo e os valores da base de dados e gera como saída a posição estimada. No processo de estimação da

posição, os algoritmos utilizados podem ser baseados em métodos de reconhecimento de padrões ou métodos probabilísticos (LIU *et al.*, 2007).

Os algoritmos baseados em métodos de reconhecimento de padrões utilizam um valor escalar, tipicamente a média ou mediana, para representar o RSSI de determinada posição do alvo na base dados, e, conseqüentemente, um valor escalar é utilizado para confrontar a base de dados e estimar a localização. Os métodos comumente encontrados na literatura são: k vizinhos mais próximos (k-Nearest Neighbor – KNN) (NI *et al.*, 2004), Redes Neurais (WASSI *et al.*, 2005), Máquina de Suporte Vetorial (Support Vector Machines – SVM) (TRAN, 2008) e Smallest M-vertex Polygon (SMP) (PANDYA, 2003).

Os algoritmos baseados em métodos probabilísticos fazem uma estimativa da probabilidade de um alvo estar em uma determinada posição, dadas as distribuições que caracterizam os sinais em cada local mapeado. Os métodos mais utilizados em algoritmos probabilísticos são: o Teorema de Bayes e as Cadeias de Markov. Como exemplo, os sistemas de localização em interiores em (KONTKANEN *et al.*, 2004) utiliza o Teorema de Bayes e (BURGARD *et al.*, 1998) as Cadeias de Markov.

2.4.2.2 Análise de imagem

A análise de visão estima a localização do alvo a partir das imagens recebidas por um ou vários pontos (câmeras). As vantagens dessa técnica estão no conforto e eficiência para o usuário (alvo), uma vez que não necessita de dispositivos presos a ele. Entretanto, os equipamentos desses sistemas são usualmente mais caros e o processamento de imagem demanda um grande esforço computacional, além de serem fortemente influenciados por fontes de luz e necessitarem de calibração prévia.

Normalmente, uma ou várias câmeras são fixas na área de cobertura do sistema de localização para cobrir todo o local e tirar fotos em tempo real. A partir das imagens, os padrões do ambiente são identificados. Os padrões servem como pontos de referência e

medidas de referência. As imagens são cruzadas com a base de dados, que possui as imagens com os padrões previamente medidos, para fazer as estimativas de posição (GU, 2009).

2.4.3 Proximidade

A técnica de proximidade, como o nome já diz, estima a localização do alvo em função da sua proximidade com os dispositivos de referência. Dessa forma, apenas se identifica que o alvo está próximo ou sobre o dispositivo de referência, mas não é possível determinar a posição exata em que se encontra.

Devido à sua simplicidade, esta técnica necessita de uma infraestrutura densamente povoada de dispositivos de referência para gerar resultados aceitáveis (GU, 2009).

Os sistemas de localização baseados em proximidade podem ser divididos em dois grupos principais, sendo eles: contato físico e proximidade da fonte.

2.4.3.1 Contato físico

Os sistemas de localização por contato físico dependem de uma infraestrutura densamente povoada com componentes sensores capazes de perceber a presença do usuário (alvo) quando o mesmo está sobre o dispositivo, como por exemplo, os sensores de pressão.

Os dispositivos são instalados em posições conhecidas e, conforme são acionados, as informações são enviadas a um servidor para processá-las a fim de estimar a posição do usuário. Um exemplo de aplicação da técnica de proximidade por contato físico pode ser encontrado no projeto *Smart Floor* (ORR & ABOWD, 2000).

2.4.3.2 Proximidade da fonte

Os sistemas de localização por proximidade da fonte, normalmente, dependem de uma densa rede de antenas (ou receptores, no caso de infravermelho), com suas posições conhecidas (dispositivos de referência). Quando um alvo é detectado por uma única antena, é considerado que o alvo encontra-se na zona de cobertura da respectiva antena que o detectou.

Quando o alvo é detectado por mais de um dispositivo de referência, a posição é atribuída ao dispositivo que detectar maior potência de sinal (WANT *et al.*, 1992).

Esta técnica é relativamente simples de ser implementada, e as tecnologias tipicamente utilizadas nestes sistemas de localização são infravermelho e RFID, como pode ser visto nos projetos *Active Badge* (WANT *et al.*, 1992) e *NaviFloor®* (STEINHAGE & LAUTERBACH, 2011), respectivamente.

Nos últimos anos, a tecnologia RFID foi amplamente utilizada em sistema de localização (PARK & HASHIMOTO, 2009; CHOI *et al.*, 2011; LI & BECERIK-GERBER, 2011; STEINHAGE & LAUTERBACH, 2011). RFID é um acrônimo para Radio-Frequency Identification, traduzido para o português como identificação por radiofrequência. Esse sistema de identificação automática, assim como o código de barras, é um dos meios mais rápidos, seguros e confiáveis de alimentar um sistema com informações (GOMES, 2008).

O sistema RFID básico é constituído de um leitor e uma etiqueta (Tag), que trocam informações por meio de ondas eletromagnéticas. A Tag RFID possui um microchip acoplado a uma pequena antena, sendo fixada ao objeto a ser identificado (JUELS, 2006).

O funcionamento básico do sistema RFID passivo ocorre da seguinte forma (FINKENZELLER, 2003):

- 1) o leitor emite um sinal para interrogar as etiquetas que estão dentro da sua área de alcance (zona de interrogação);
- 2) as etiquetas que recebem esse sinal utilizam dessa energia irradiada para energizar seu circuito interno e responder com a informação armazenada no seu microchip;
- 3) o leitor recebe os sinais e processa-os, enviando as informações para o restante do sistema (middlewares e softwares de supervisão e gerência).

A Figura 8, adaptada de (FINKENZELLER, 2003), exemplifica o funcionamento típico de um sistema RFID (passivo).

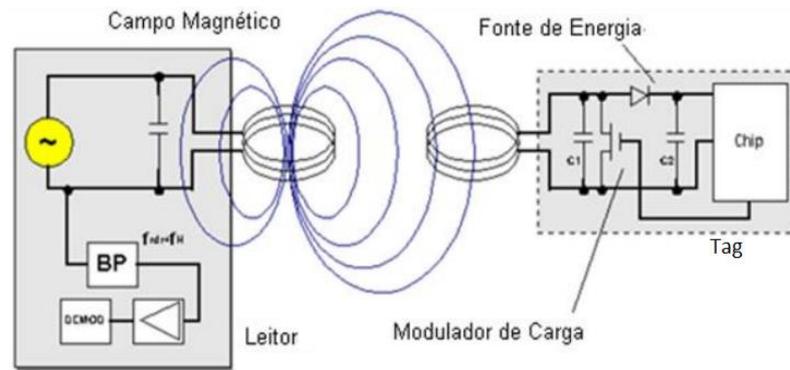


Figura 8 Funcionamento de um sistema RFID – Adaptado de (FINKENZELLER, 2003).

Na Figura 8 pode ser observado o campo magnético produzido pelo leitor/antena, fazendo com que seja induzida uma corrente elétrica nos circuitos da etiqueta (Tag), alimentando-a eletricamente e permitindo que a mesma responda com um sinal contendo a informação guardada no seu microchip.

Na Figura 9, adaptada de (NEMAI, 2010), é apresentada uma classificação com as principais características de uma etiqueta RFID. Vale ressaltar nesta figura que *Near field* e *Far field* significam campo próximo e campo distante, respectivamente, ou seja, a comunicação e a transferência de energia se dá em uma pequena distância (*Near field*) (<1m) ou grande distância (*Far field*) (>1m) entre o leitor e a etiqueta. Mais informações sobre as características das etiquetas RFID podem ser obtidas em (NEMAI, 2010).

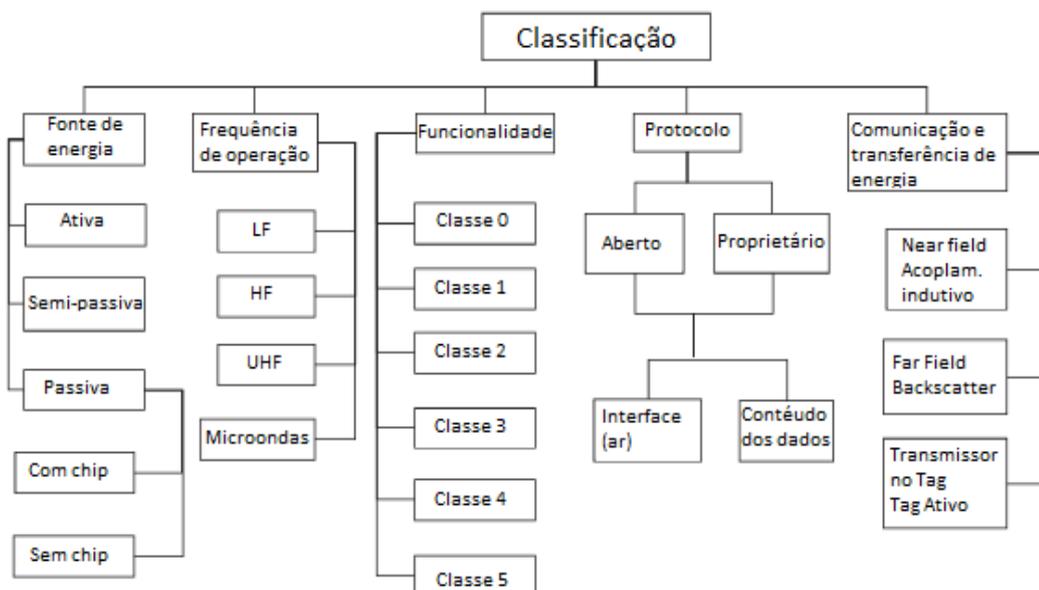


Figura 9 Classificação de etiquetas RFID – Adaptado de (NEMAI, 2010).

2.4.4 Dead Reckoning

A técnica de navegação *Dead Reckoning* (DR) tem sua origem no século XV, utilizada por marinheiros antes da navegação mais precisa baseada na astronomia. A técnica é bastante simples, e consiste em navegar de um ponto conhecido (origem) até outro ponto (destino), sendo que a posição do ponto de destino é estimada a partir da distância medida durante o percurso em relação ao ponto de origem (KUMAR & DAS, 2004). A técnica DR pode ser dividida em duas categorias, sendo elas: Navegação inercial e Odometria.

2.4.4.1 Navegação inercial

A técnica DR serve como base para os sistemas de navegação inerciais e para a técnica *Pedestrian Dead Reckoning* (PDR), sendo que ambas utilizam sensores de movimento (acelerômetros) e de rotação (giroscópios). A PDR é basicamente o cálculo de um percurso sobre o solo (ou a direção da caminhada) a partir da estimativa de um comprimento do passo (ou velocidade de caminhada). Essa técnica torna-se eficaz quando é de difícil instalação uma infraestrutura capaz de localizar o usuário (alvo). Entretanto, o sistema utilizado para a localização é intransferível, pois o modelo de passada é treinado com os padrões de caminhada de um indivíduo em particular (BEAUREGARD & HAAS, 2006).

O artigo apresentado em (WOODMAN & HARLE, 2008) aplica a técnica de navegação inercial, utilizando acelerômetros e giroscópios para localizar e rastrear uma pessoa em um prédio. O sistema consiste de um modelo preciso de caminhada e um filtro de partículas para resolver os problemas relacionados aos sistemas inerciais, como por exemplo, as perturbações causadas pelos sinais do giroscópio.

2.4.4.2 Odometria

A odometria estima a posição do alvo (normalmente um robô) ao longo do caminho de forma incremental através da contagem do deslocamento angular das rodas. O deslocamento angular é comumente obtido por *encoders* fixados nos eixos das rodas.

Essa técnica pode ser utilizada para obter estimativas muito precisas da mudança de posição de um robô ao longo de percursos curtos. Entretanto, a odometria é muito sensível à acumulação de erros ao longo de grandes distâncias, principalmente em função do escorregamento das rodas.

Apesar das limitações, a odometria é uma parte fundamental do sistema de navegação de um robô. Portanto, algumas técnicas são elaboradas para reduzir o erro acumulado da odometria, como, por exemplo, combinando-a com a tecnologia RFID (YANG, 2006). As etiquetas RFID são utilizadas como marcos de referência geométrica (*landmark*), que, ao serem lidas pelo robô, passam a informação da sua coordenada no ambiente, permitindo a correção da posição do robô.

2.5 COMPARAÇÃO DAS TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO

As técnicas apresentadas na seção 2.4 refletem o estado da arte de sistemas de localização em interiores. Uma métrica eficaz para comparação destas técnicas é de difícil desenvolvimento, uma vez que são utilizadas distintas tecnologias (RFID, WLAN, IR, sensores de pressão etc.) e, conseqüentemente, diferentes formas de medição de sinais, velocidades de propagação, tipos de ambientes etc.

Os trabalhos de (LI & BECERIK-GERBER, 2011), (LIU *et al.*, 2007), (AL NUAIMI & KAMEL, 2011), (KOYUNCU & YANG, 2010) e (GU, 2009) realizam comparações entre alguns projetos de sistemas de localização a partir de métricas de avaliação como precisão, complexidade, escalonabilidade, segurança e privacidade, robustez, custo e faixa de cobertura, cujas informações foram relatadas pelos desenvolvedores dos projetos.

A Tabela 1 apresenta de forma sucinta as principais vantagens e desvantagens de cada técnica descrita neste trabalho.

Tabela 1 Tabela comparativa das técnicas apresentadas.

Técnica	Vantagens	Desvantagens
Lateralização TOA	Apresenta elevada exatidão Não necessita de treinamento do sistema	Necessita de sincronismo de relógio preciso <i>Hardware</i> complexo e caro
Lateralização TDOA	Utilizando duas tecnologias diferentes gera bons resultados Não exige sincronismo elevado de relógio	Utilizando duas tecnologias diferentes o <i>hardware</i> pode elevar muito o custo O alvo consome considerável quantidade de energia
Lateralização RTOF	Simple implementação	A não precisão do tempo de processamento para o retorno do sinal compromete gravemente o desempenho do sistema
Lateralização RSSI	Não exige sincronismo de relógio <i>Hardware</i> simples e fácil implementação	Menor exatidão entre os sistemas baseado em triangulação
Lateralização RSP	Apresenta elevada exatidão	<i>Hardware</i> complexo e caro
Lateralização CSS	Não exige sincronismo de relógio	<i>Hardware</i> ainda pouco comercializado
Angulação AOA/DOA	Necessita de um menor número de dispositivos Não exige sincronismo elevado de relógio	<i>Hardware</i> complexo e caro Menor exatidão em sistemas de longo alcance
Análise de cenário	Minimiza os erros de localização, uma vez que a calibração é realizada de acordo com o sistema e ambiente de localização	Necessita de muito tempo para a fase de calibração Mudanças no cenário exigem novas calibrações
Análise de imagem	Não necessita de dispositivos adicionais, além das câmeras	Exige um grande esforço computacional no processamento de imagens Depende fortemente dos equipamentos
Contato físico e proximidade da fonte	A mais simples e de fácil implementação entre todas as técnicas	Necessita de uma infraestrutura densamente povoada de dispositivos de referência para gerar resultados aceitáveis
Dead Reckoning	Não depende de infraestrutura instalada	O erro de estimação é acumulativo Pontos de referência para reduzir o erro podem elevar o custo do sistema

3 ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE EM SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO

No capítulo 2 foram apresentadas as principais características, tipo de sinais utilizados e técnicas empregadas em sistemas de localização. No presente capítulo é apresentado o estado da arte de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) e da tecnologia RFID para sistemas de localização em interiores.

Em função da diversidade de técnicas e tecnologias empregadas no desenvolvimento de sistemas de localização em interiores, é dada uma atenção especial aos trabalhos relacionados à localização em interiores baseada em RSSF e na tecnologia RFID, pois o sistema proposto neste trabalho faz uso dessas tecnologias. Dessa forma, as próximas seções estão divididas em trabalhos relacionados com sistemas de localização em interiores utilizando RSSF e RFID, respectivamente.

3.1 SISTEMAS BASEADOS EM RSSF

Segundo a taxonomia proposta na seção 2.1, o tipo de sinal utilizado pela RSSF no processo de localização é a radiofrequência. Dessa forma, as possíveis técnicas de localização que podem ser utilizadas são: lateração e angulação, análise de cenário e proximidade da fonte.

Os sistemas de localização baseados em RSSF na sua grande maioria utilizam o RSSI como base no processo de localização. Dessa forma, é possível encontrar dois tipos de técnicas para estimar a posição do alvo utilizando o RSSI. A primeira abordagem é baseada na utilização de modelos matemáticos de propagação do sinal, onde esses modelos tentam relacionar a distância entre o transmissor e receptor à potência do sinal recebido. A segunda técnica consiste na criação e utilização de um mapa de intensidade de sinal recebido.

O primeiro exemplo de trabalho utilizando modelo de propagação do sinal, lateração e RSSF (com padrão ZigBee) é o trabalho apresentado em (CHERNTANOMWONG &

SUROSU, 2011). A avaliação do sistema proposto é dividida em duas partes: localização por lateração e localização por análise de cenário.

O sistema consiste de um módulo ZigBee como nó alvo, e 4 ou 6 módulos ZigBee como nós de referência. Os nós de referência são fixados em pontos conhecidos em uma área de 5 m x 5 m, conforme mostrado na Figura 10 e Figura 11.

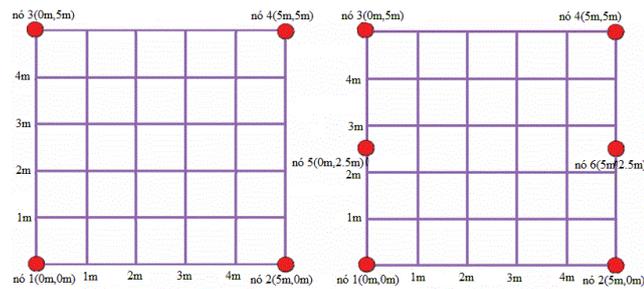


Figura 10 Disposição dos nós de referência (CHERTANOMWONG & SUROSU, 2011).



Figura 11 Ambiente de testes (CHERTANOMWONG & SUROSU, 2011).

Os nós de referência encontram-se em posições conhecidas para o sistema, e enviam periodicamente um pacote para o nó alvo. Quando o nó alvo recebe o pacote, este mede o RSSI do pacote recebido e, posteriormente, envia para um nó fonte que está ligado a um computador. Além do cálculo baseado em lateração, ou por análise de cenário, para determinar a localização do alvo, uma interface gráfica foi desenvolvida no computador para apresentar os resultados.

Um experimento com o nó alvo parado foi conduzido para avaliar o desempenho do sistema. Neste experimento, o alvo iniciou na origem ($x=0$ e $y=0$) seguindo um percurso na diagonal até o limite da área ($x=5$ e $y=5$) respeitando um deslocamento de 0,33 m entre as posições em que foram realizadas as coletas de dados do sistema, conforme Figura 12.

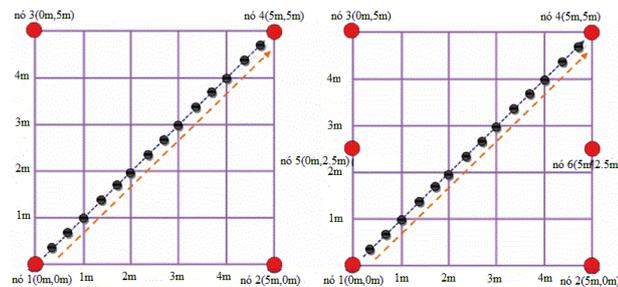


Figura 12 Posições do alvo (CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011).

Os autores relatam, e também pode ser observado na Figura 13, que a maior parte dos erros de estimativa de posição por lateração é reduzida com o aumento de nós de referência. E, também, que o maior erro ocorre na primeira posição do alvo e concentram-se os maiores erros nas posições próximas aos nós de referência, possivelmente causado pelas difrações do sinal nas bordas.

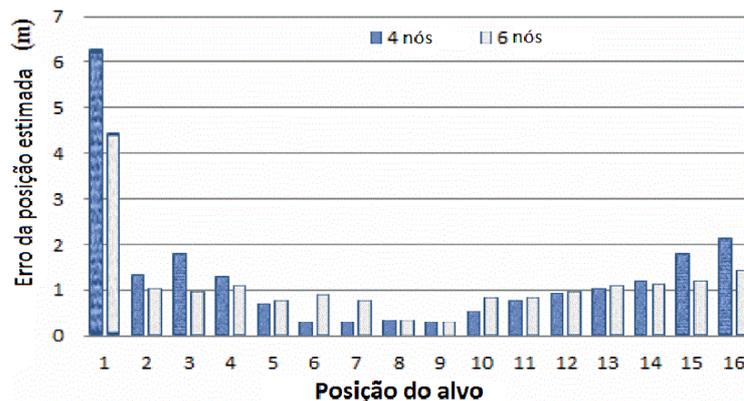


Figura 13 Erro da posição por lateração (CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011).

Um segundo experimento foi realizado, mantendo as mesmas características do ambiente e infraestrutura instalada, porém a técnica de análise de cenário é empregada. Como a análise de cenário consiste em duas fases, calibração e estimação da posição, a fase de

calibração consistiu em coletar os valores de RSSI do nó alvo em posições conhecidas e distanciadas em 1 m, tanto em x como em y, conforme apresentado na Figura 14.

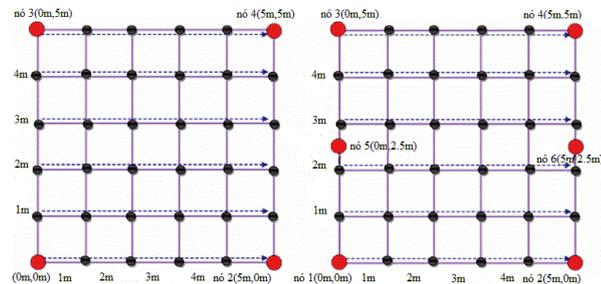


Figura 14 Posições das impressões digitais (CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011).

Semelhante ao experimento de localização por lateração, o alvo iniciou na origem ($x=0$ e $y=0$) seguindo um percurso na diagonal até o limite da área ($x=5$ e $y=5$), respeitando um deslocamento de 0,33 m entre as posições em que foram realizadas as coletas de RSSI para estimar a posição do alvo (ver Figura 12).

Com intuito de comparar as técnicas de lateração e análise de cenário, os experimentos foram conduzidos da mesma forma. O erro da posição estimada para cada posição do nó alvo utilizando análise de cenário, para os experimentos com 4 e 6 nós de referência, é apresentado na Figura 15.

Os autores relatam (pode ser observado na Figura 15) que a maior parte dos erros de estimativa de posição é reduzida com o aumento de nós de referência, assim como ocorreu utilizando lateração. Também, pode-se observar que a técnica de análise de cenário obtém melhores resultados em comparação aos resultados da técnica de lateração.

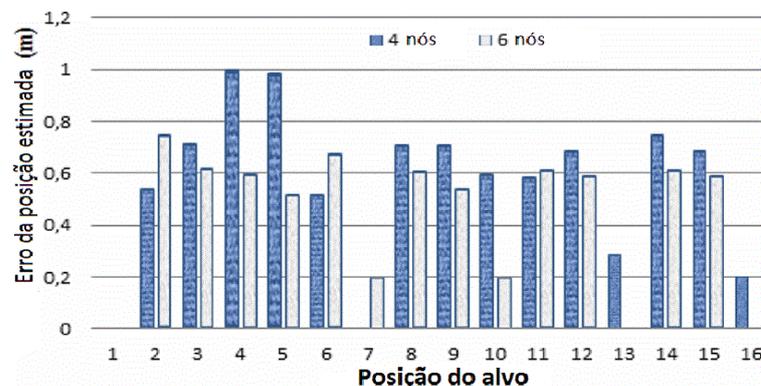


Figura 15 Resultados por análise de cenário (CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011).

Um trabalho utilizando várias tecnologias de RF é apresentado em (RODRIGUES, 2011). Neste trabalho, o autor estuda diferentes tecnologias sem fio, Wi-Fi, ZigBee e Bluetooth, aplicadas em sistemas de localização em interiores. As técnicas utilizadas para estimar a posição do robô são: análise de cenário e lateração. O robô utilizado nos experimentos pode ser visto na Figura 16.

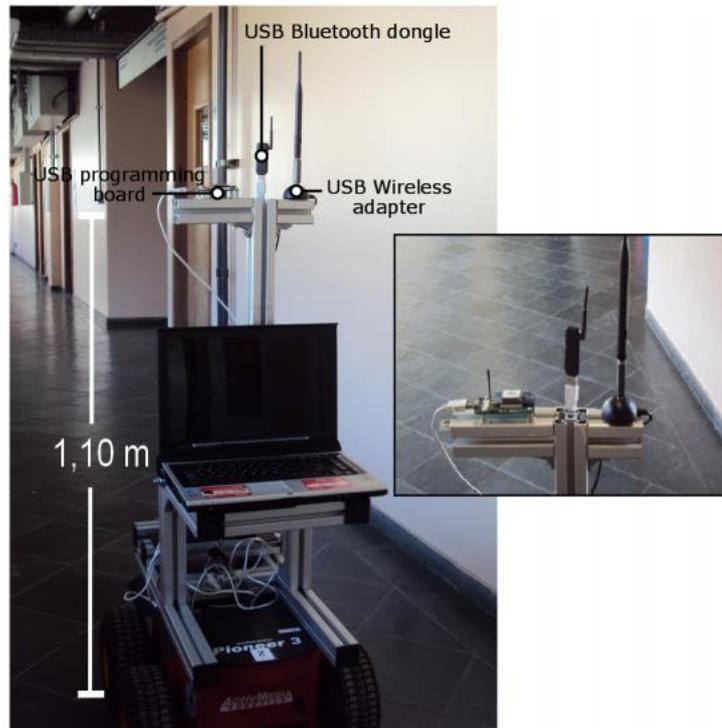


Figura 16 Robô utilizado no projeto desenvolvido em (RODRIGUES, 2011).

O autor avaliou várias combinações das tecnologias de RF em simulações e experimentos, relatando que a utilização das três tecnologias simultaneamente geram os melhores resultados, possivelmente pelo aumento do número de dispositivos e o aumento da área de cobertura para a localização.

Os experimentos conduzidos para avaliar a técnica de análise de cenário foram diferentes dos conduzidos para lateração. Na análise de cenário, o ambiente de testes utilizado é o terceiro andar de um prédio, formado por uma área de 33 m x 22 m, onde se encontram 8 módulos Zigbee, 6 módulos Bluetooth e 12 pontos de acesso Wi-Fi. As impressões digitais foram coletas em um intervalo de 1,5 m, totalizando 49 pontos de treinamento.

Os experimentos realizados foram os mais diversos, verificando principalmente a interferência entre as tecnologias (quando combinadas), a influência do aumento do número de módulos (ZigBee e Bluetooth) ou pontos de acesso (Wi-Fi) e a robustez do sistema quando o alvo se encontra em uma posição que não é conhecida pelo mapa de intensidade (posição não treinada na primeira fase da análise de cenário).

A Figura 17 apresenta os resultados alcançados pelo autor com diversas combinações de tecnologias RF. Vale salientar que o eixo horizontal dos gráficos apresentados na Figura 17 representa os valores de k do algoritmo KNN aplicado para estimar a posição do robô.

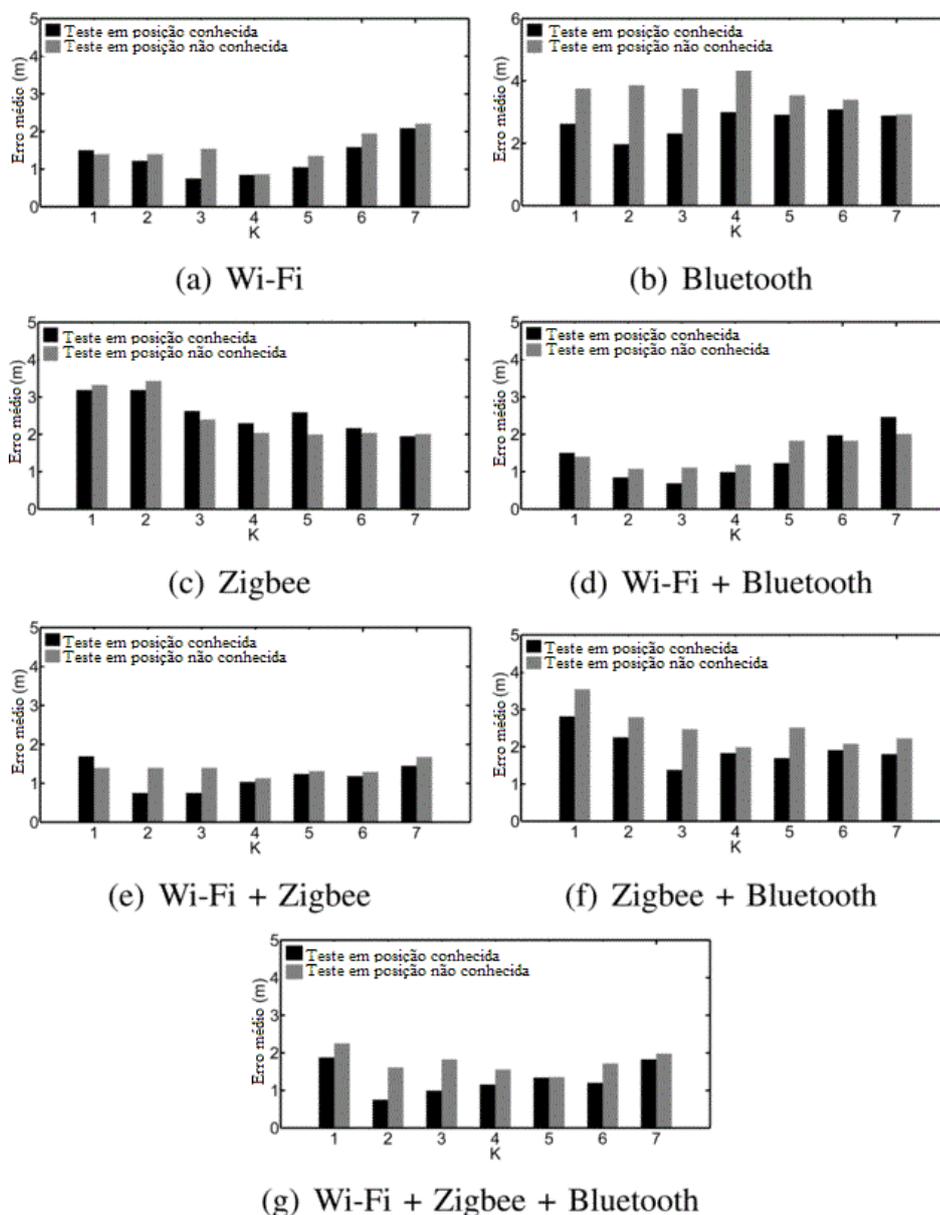


Figura 17 Resultados alcançados por análise de cenário (RODRIGUES, 2011).

Os experimentos utilizando lateração foram realizados em um ambiente diferente do utilizado para avaliar a técnica de análise de cenário. Além das três tecnologias baseadas em RF, Wi-Fi, ZigBee e Bluetooth, o autor incorporou odometria no processo de localização e fundiu as informações através de um Filtro de Kalman Estendido (EKF).

O autor não relata qual foi o erro obtido para esse método proposto. Entretanto, é relatada que a combinação das três tecnologias RF, junto com a odometria e EKF, gera os melhores resultados em comparação à utilização de somente uma ou duas tecnologias RF. A Figura 18 apresenta os resultados do método proposto com várias combinações de tecnologias RF. Vale salientar que o *ground truth* (valor de referência) representa o valor real da posição do robô, e esse valor foi obtido utilizando o método de Monte Carlo em conjunto com o sensor laser Sick LMS 200.

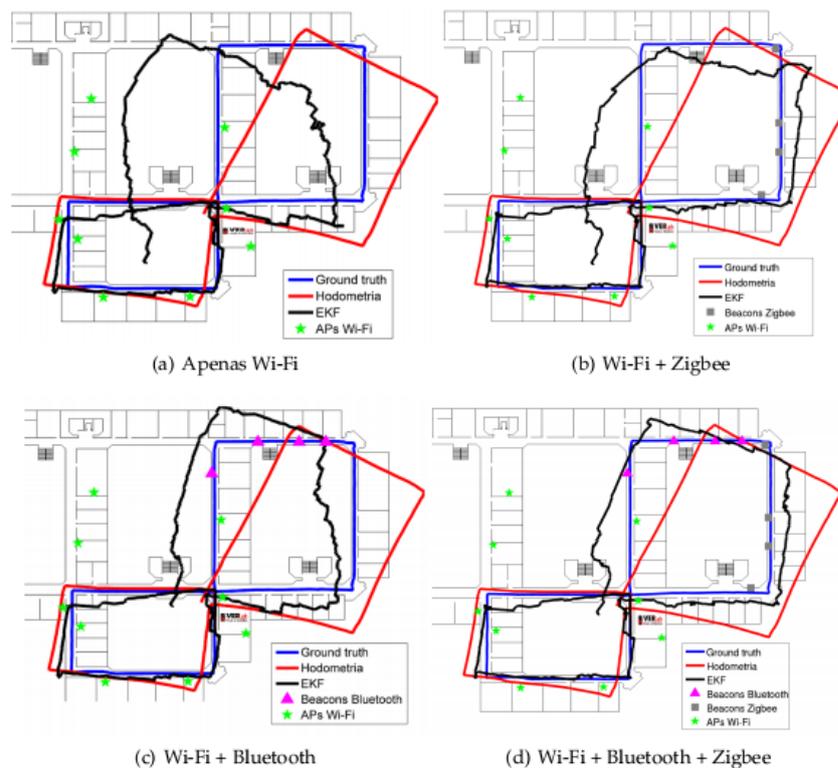


Figura 18 Estimativas de posição por lateração (RODRIGUES, 2011).

Na mesma linha de pesquisa de (RODRIGUES, 2011), o trabalho apresentado em (MENEGATTI *et al.*, 2009) realiza a fusão das informações de uma RSSF (lateração por RSSI) e odometria a partir de um EKF para estimar a localização de um robô. Além disso, foi

desenvolvido um algoritmo chamado *Simultaneous Localization and mapping* (SLAM), localização e mapeamento simultâneos, para localizar e mapear os nós sensores na RSSF.

O sistema utilizado é baseado em Zigbee, e os nós de referência enviam mensagens periodicamente para o robô, que por sua vez obtém o RSSI para as estimativas de posição. Como o sinal de RSSI é ruidoso, os autores aplicaram um filtro de pré-processamento de RSSI antes da utilização do EKF, com intuito de reduzir as variações devido às interferências e reflexos do sinal, o que melhora a estimativa final de localização do robô. Segundo os autores, o erro de localização varia entre 0,5m e 1m no ambiente de testes.

A Figura 19 mostra o robô navegando com o auxílio do sistema de localização desenvolvido em (MENEGATTI *et al.*, 2009).



Figura 19 Robô navegando a partir do sistema de localização (MENEGATTI *et al.*, 2009).

3.2 SISTEMAS BASEADOS EM RFID

Como descrito na seção 2.4.3.2, os sistemas de localização por proximidade da fonte normalmente dependem de uma densa rede de antenas (ou receptores, no caso de infravermelho), com suas posições conhecidas (dispositivos de referência). Quando um alvo é detectado por uma única antena, é considerado que o alvo encontra-se na zona de cobertura da respectiva antena que o detectou.

Os trabalhos mais recentes utilizam a tecnologia RFID para desenvolver sistemas de localização baseados em proximidade da fonte. Há outros trabalhos baseados em RFID que utilizam outras técnicas para localização, como por exemplo, lateração por RSSI, mas os trabalhos apresentados nesta dissertação fazem uso da técnica proximidade da fonte.

Dessa forma, no trabalho apresentado em (PARK & HASHIMOTO, 2009) os autores desenvolveram um sistema de navegação em interiores para um robô a partir de um leitor RFID HF (High Frequency – alta frequência), um algoritmo baseado em funções trigonométricas e coordenadas cartesianas, e uma distribuição regular de etiquetas RFID.

O sistema desenvolvido é capaz de estimar tanto a posição do robô como a sua orientação. Em abordagens convencionais, a orientação do robô só poderia ser estimada por um sistema com duas antenas RFID ou por outros sensores acoplados (PARK & HASHIMOTO, 2009). Entretanto, com o algoritmo proposto pelos autores, a estimação da orientação é possível utilizando apenas um leitor/antena RFID, uma vez que a sequência de etiquetas RFID lidas é armazenada, possibilitando a estimação da orientação do robô em função das etiquetas lidas.

O experimento para validar o sistema desenvolvido consiste em uma sala sem obstáculos de dimensões 4,2 m x 6,2 m, com etiquetas RFID HF espalhadas uniformemente por um intervalo de 34 cm, totalizando 198 etiquetas, conforme a Figura 20.

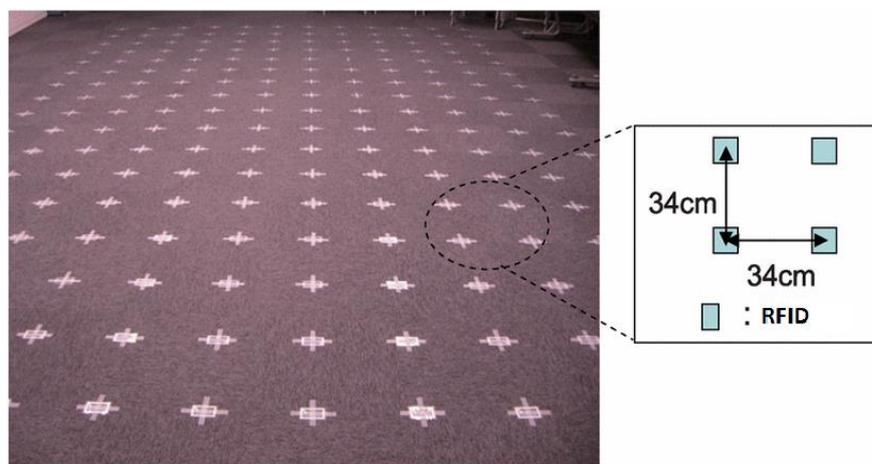


Figura 20 Ambiente de teste do projeto desenvolvido em (PARK & HASHIMOTO, 2009).

Segundo os autores, com o método proposto, o erro de localização do robô atinge valores de 13,3 cm para o eixo x e 5,7 cm para o eixo y. A Figura 21 apresenta o robô navegando do ponto de origem ao ponto de destino em 85 segundos.

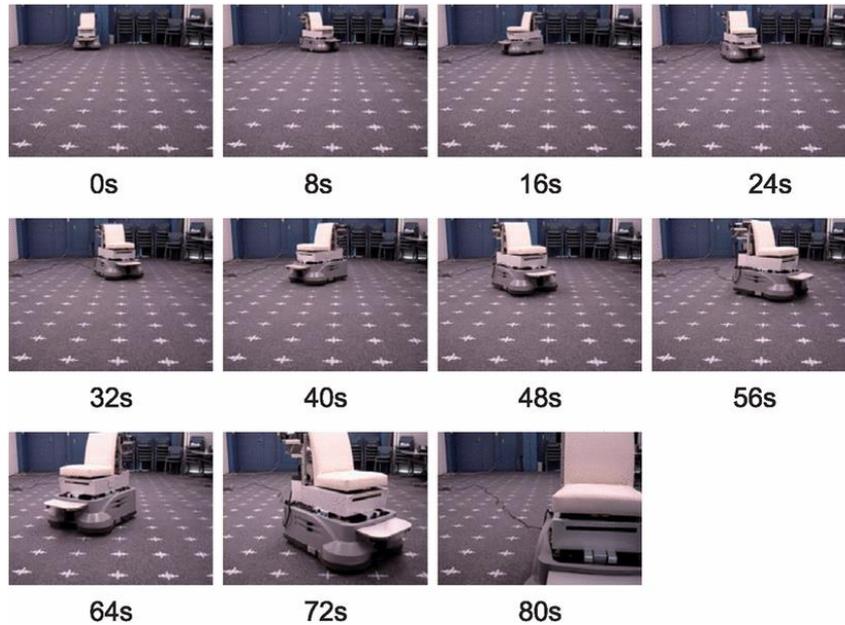


Figura 21 Experimento realizado em (PARK & HASHIMOTO, 2009).

Como visto no trabalho de (PARK & HASHIMOTO, 2009), para obter uma estimativa de posição mais próxima da posição real em um sistema de localização baseado em proximidade da fonte é necessário ter uma grande quantidade de pontos de referência (no caso, etiquetas RFID). Tendo em vista esse problema, o trabalho apresentado em (CHOI *et al.*, 2011) compensa as limitações do sistema RFID utilizando dispositivos ultrassônicos para a localização de um robô em ambiente interno.

No trabalho apresentado em (CHOI *et al.*, 2011), o ambiente de teste é um ambiente interno bem estruturado, onde os obstáculos presentes possuem formas geométricas primitivas, ou seja, linha reta com inclinação regular e circular com curvatura regular, conforme visto na Figura 22. O objetivo de se ter um ambiente estruturado é reduzir a incerteza associada com as medições do sistema de ultrassom. Já para o sistema RFID, são colocadas uniformemente etiquetas RFID HF no chão de um corredor de 6 m x 2,4 m, seguindo dois padrões: com intervalo de 0,3 m e com intervalo de 0,5 m.



Figura 22 Experimento realizado no projeto desenvolvido em (CHOI *et al.*, 2011).

Os autores propõem uma divisão do conjunto, onde o sistema RFID é responsável pelo processo de estimativa da posição global (*Global Position Estimation – GPE*), e o sistema ultrassônico é responsável pelo reconhecimento do ambiente local (*Local Environment Cognition – LEC*). Um algoritmo de localização hierárquico é proposto para estimar a posição do robô a partir da fusão das informações de GPE e LEC.

O sistema de localização composto por um robô, com 9 sensores ultrassônicos e um leitor RFID HF (Figura 23), dentro do ambiente de teste apresentou um erro médio de 1,58 cm para o espaçamento entre etiquetas de 0,3 m, e 2,42 cm para o espaçamento de 0,5 m.

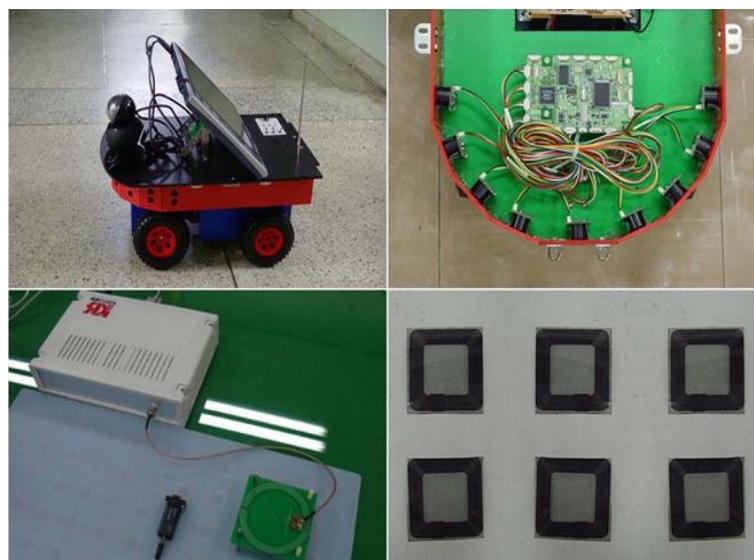


Figura 23 Robô utilizado no projeto desenvolvido em (CHOI *et al.*, 2011).

3.3 COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO BASEADOS EM RSSF E RFID

Os trabalhos apresentados refletem o estado da arte em sistemas de localização em interiores baseados em RSSF e RFID. A Tabela 2 apresenta o resumo das principais características dos sistemas apresentados.

Tabela 2 Resumo das principais características dos sistemas apresentados.

Trabalho apresentado em	Tecnologia	Técnica	Erro médio	Vantagem	Desvantagem	Observação
(CHERTANOMWONG & SUROSO, 2011)	RSSF (padrão ZigBee)	Lateração	Em torno de 1,2 m	Técnica simples de ser implementada	Menor exatidão em comparação a técnica de análise de cenário	O ambiente de teste permite uma linha visada entre os dispositivos da rede e não tem nenhum objeto ou parede próximos à rede que possa alterar o comportamento do sinal RF
		Análise de cenário	Em torno de 0,4 m	A exatidão é maior em comparação à técnica de lateração	Necessita de muito tempo para a fase de calibração. Mudanças no cenário exigem novas calibrações	
(RODRIGUES, 2011)	Wi-Fi, ZigBee e Bluetooth	Lateração	Não informado no trabalho	Técnica viável e de baixo custo	A dificuldade de se obter um modelo de propagação de sinal adequado inviabiliza sua aplicação em diversos casos	Figuras são apresentadas para demonstrar o desempenho dos sistemas, mas o erro não é quantizado. A técnica de lateração não é experimentada sozinha, ela é combinada com odometria e um filtro EKF
		Análise de cenário	Em torno de 1,5 m	Em geral, esses sistemas são mais exatos que os baseados em lateração	Grande trabalho manual. Mudanças no ambiente ou nas posições dos nós da rede exigem novas calibrações	Como não foi informado o erro do sistema por lateração, não é possível compará-lo com a técnica de análise de cenário
(MENEGATTI <i>et al.</i> , 2009)	RSSF e odometria	Lateração	Entre 0,5 e 1 m	Exatidão elevada para sistemas baseado em lateração	A odometria é suscetível ao erro acumulativo. Exige a aplicação de vários filtros	No trabalho não fica muito claro como os autores obtiveram o erro relatado
(PARK & HASHIMOTO, 2009)	RFID	Proximidade da fonte	13,3 cm para o eixo x e 5,7 cm para o eixo y	Exatidão elevada	Necessário ter uma grande quantidade de pontos de referência	O ambiente de teste não possui nenhum obstáculo
(CHOI <i>et al.</i> , 2011)	RFID e ultrassom	Proximidade da fonte	1,58 cm (para 0,3 m) e 2,42 cm (para 0,5 m)	Exatidão muito elevada	Custo elevado devido aos sensores ultrassônicos e grande número de etiquetas RFID	Ambiente de teste sem obstáculos e estruturado. Espaçamentos entre etiquetas experimentados de 0,3 m e 0,5 m

Na análise dos trabalhos apresentados verifica-se que os sistemas com melhores estimativas dependem de uma grande quantidade de pontos de referência, no caso da técnica de proximidade da fonte, o que eleva o custo de implementação e o tempo de instalação da infraestrutura.

Os trabalhos de (PARK & HASHIMOTO, 2009) e (CHOI *et al.*, 2011) são semelhantes e os resultados são próximos um do outro. O desempenho do segundo sistema é melhorado com a adição dos sensores de ultrassom. Entretanto, em ambos os casos, os ambientes de testes são densamente povoados de etiquetas RFID e não possuem nenhum obstáculo que possa dificultar a localização do alvo, diferente das características de um ambiente real. As estimativas de posição alcançadas com essa técnica, com as mesmas características do ambiente e da infraestrutura apresentadas em (PARK & HASHIMOTO, 2009) e (CHOI *et al.*, 2011), são muito próximas da posição real. Entretanto, essa técnica exige um elevado custo de implementação e tempo de instalação, e, além disso, o sistema não é flexível, uma vez que após as etiquetas RFID serem fixadas, a tarefa de realocá-las e reconfigurar o sistema é extremamente trabalhosa e demorada.

A técnica de análise de cenário é uma solução interessante para sistemas de localização baseados em RSSI, quando o objetivo é melhorar a estimativa do sistema, pois, em geral, essa técnica resulta em um sistema mais exato em comparação aos sistemas baseados em lateração. Entretanto, essa técnica necessita de muito tempo para a fase de calibração, e mudanças no cenário exigem novas calibrações.

O sistema apresentado em (CHERNTANOMWONG & SUROSO, 2011), utilizando a técnica de análise de cenário, obteve bons resultados comparando com outros trabalhos encontrados na literatura que utilizam essa mesma técnica. Mas, vale observar que o ambiente de teste permite uma linha visada entre os dispositivos da rede e não tem nenhum objeto ou parede próximos à rede que possa alterar o comportamento do sinal RF (ver Figura 11),

fazendo com que o resultado esperado seja superior aos resultados obtidos em um ambiente com obstáculos e paredes. Além disso, 6 dos 16 pontos de coleta da fase de localização (pontos 1, 5, 7, 10, 13, 16) foram utilizados na fase de calibração (ver Figuras 12 e 14). Logo, para esses pontos a estimativa de posição é mais próxima da posição real em relação aos pontos que não fizeram parte da fase de calibração, e, com isso, a média do erro da posição estimada é reduzida. (ver Figura 15).

Os sistemas baseados em lateração possuem uma menor exatidão em comparação aos trabalhos apresentados, mas são de simples e rápida implementação. Entretanto, a combinação desta técnica com outras técnicas, como por exemplo, a odometria em (MENEGATTI *et al.*, 2009), pode melhorar a estimativa do sistema. Entretanto, para aplicar essa técnica é necessário modelar o comportamento do alvo e aplicar um filtro, como por exemplo, o EKF, para obter um desempenho satisfatório.

Neste trabalho são exploradas lacunas encontradas na literatura, que motivaram o desenvolvimento do sistema de localização proposto. Os sistemas de localização baseados em RSSF, RSSI e lateração dependem de uma fase de calibração dos parâmetros experimentais necessários para a correta estimativa da posição do alvo. Essa tarefa não é tão exaustiva e demorada quanto à fase de calibração da técnica de análise de cenário, mas mesmo assim é necessário realizar coletas manualmente.

Já os sistemas baseados em RFID dependem de uma grande quantidade de pontos de referência para obter um resultado satisfatório, o que eleva o custo da implementação. O diferencial da proposta deste trabalho consiste em combinar essas duas tecnologias, RSSF e RFID, desempenhando um papel diferente dos encontrados na literatura.

O sistema de localização proposto neste trabalho obtém os parâmetros experimentais da RSSF de uma forma automática, dispensando a calibração necessária nos trabalhos anteriores. E para efetuar essa tarefa, a tecnologia RFID é utilizada como marcos de

referência. Sendo assim, o sistema de localização proposto apresenta três vantagens importantes em relação aos sistemas baseados em localização tradicionais: primeiramente, eleva o nível de exatidão, segundo, dispensa a tarefa de calibração dos parâmetros experimentais de forma manual, e, por fim, torna o sistema flexível, uma vez que o sistema calibra os parâmetros sempre que a cadeira de rodas passa pelas etiquetas RFID, adequando-se as possíveis mudanças nas características do ambiente, como por exemplo, na movimentação de objetos e mobília. No próximo capítulo é relatado como cada tecnologia é empregada no sistema proposto.

4 ARQUITETURA DO SISTEMA DESENVOLVIDO

Neste capítulo são apresentados os aspectos envolvidos na estimativa de posição da cadeira de rodas automatizada através do sistema de localização desenvolvido. A técnica utilizada para calcular a posição da cadeira de rodas é apresentada na seção 2.4.1.1, do capítulo 2, a lateração, em conjunto com a técnica de estimação de distância baseada na intensidade do sinal recebido, o modelo de propagação do sinal através do RSSI, apresentada na seção 2.4.1.1.4, do capítulo 2.

A contribuição desta dissertação é a avaliação da combinação de uma RSSF e da tecnologia RFID para sistemas de localização em interiores. Dessa forma, as etiquetas RFID são utilizadas como marcos de referências para a calibração automática dos parâmetros experimentais necessários no processo de localização da cadeira de rodas a partir da RSSF.

4.1 METODOLOGIA

Nesta seção é discutida a metodologia utilizada na abordagem do sistema desenvolvido, que utiliza o modelo de propagação do sinal de RF em conjunto com a técnica de lateração de uma RSSF e a tecnologia RFID, empregada como marco de referência, em um sistema de localização em interiores para uma cadeira de rodas automatizada. Primeiro, é apresentada uma visão geral do sistema desenvolvido. Posteriormente, são descritos os modelos de propagação utilizados no projeto e sua correlação. Em seguida, é descrito como a característica de identificação automática das etiquetas RFID pode ser aproveitada como marco de referência geométrica. Por fim, são apresentados o algoritmo utilizado na estimativa de posição pelo modelo de propagação de sinal e lateração, e a proposta de calibração automática dos parâmetros experimentais da rede a partir da informação da etiqueta RFID.

4.1.1 Visão geral

Conforme descrito no capítulo 1, esta dissertação visa propor um sistema capaz de estimar a posição de uma cadeira de rodas automatizada em um ambiente inteligente. É importante destacar que a cadeira de rodas automatizada utilizada neste trabalho refere-se a algo mais que uma cadeira de rodas motorizada, trata-se de uma cadeira que possui recursos inteligentes, como por exemplo, computador de bordo, controle sobre o motor e luzes, acesso à rede de dados e a possibilidade de integração com sensores. Entretanto, a proposta visa atender qualquer tipo de cadeira de rodas, desde que ela possa ser equipada com um rádio RF compatível com os nós da RSSF, um leitor RFID e uma fonte de alimentação para esses equipamentos eletrônicos.

O ambiente inteligente refere-se a algo mais complexo que um ambiente automatizado, sendo possível o usuário interagir com o ambiente, e este, por sua vez, se adaptar as necessidades do usuário de forma pervasiva.

Com base no contexto apresentado, a escolha das tecnologias utilizadas no sistema teria que considerar as características da cadeira de rodas e do ambiente inteligente. As RSSF desempenham um importante papel nas funções de sensoriamento, processamento e comunicação de dados em ambientes inteligentes (STOJMENOVIC, 2005), e por se tratar de uma infraestrutura flexível, não depende de fios na interligação dos dispositivos e a rede pode ser composta por dispositivos sensores multifuncionais, de baixo custo e de baixa potência (HUSSAIN, 2009). Sendo assim, as RSSF apresentam-se como uma alternativa ao desenvolvimento de sistemas de localização em ambientes inteligentes. Neste trabalho, a técnica de lateração e o modelo de propagação do sinal através do RSSI são empregados no sistema de localização utilizando uma RSSF.

Assim como a RSSF, a utilização da tecnologia RFID também se apresenta como uma solução interessante para identificação automática de pessoas e objetos em ambiente

inteligentes. Conforme já apresentado no capítulo 2, a tecnologia RFID é um método de identificação automática através de sinais de rádio, semelhante ao tradicional código de barras, mas utiliza ondas de rádios em vez da radiação infravermelha para a identificação da etiqueta pelo leitor (LI & BECERIK-GERBER, 2011).

A capacidade de armazenar informações (ID da etiqueta), o fato de não necessitar de linha visada para a leitura e o curto alcance de leitura de algumas etiquetas (poucos centímetros) proporcionam uma característica particular aos sistemas RFID que vem sendo explorada em pesquisas da área de sistemas de localização, a utilização de etiquetas RFID como marcos de referência, popularmente chamado de *landmark* (PARK & HASHIMOTO, 2009; CRUZ, 2010; LI & BECERIK-GERBER, 2011).

Diferente dos trabalhos encontrados na literatura que utilizam somente a tecnologia RFID (PARK & HASHIMOTO, 2009) ou cruzam as informações das etiquetas com as informações de sensores ultrassônicos (CHOI *et al.*, 2011), ou outros sensores, neste projeto as etiquetas RFID desempenham um papel de marco de referência para a calibração automática dos parâmetros do sistema. Este método apresenta-se como uma nova solução para a calibração dos parâmetros experimentais necessários para a estimação de posição utilizando RSSF, que tradicionalmente é realizada através de uma tarefa demorada e exaustiva de coleta de dados em vários pontos do ambiente (RODRIGUES, 2011; MOTTER *et al.*, 2011).

Após contextualizar a utilização das técnicas e tecnologias para o sistema proposto, é possível descrever o comportamento da comunicação entre os nós da rede e o papel das etiquetas RFID na calibração dos parâmetros experimentais da RSSF.

Inicialmente é necessário informar para o sistema alguns parâmetros do ambiente e da RSSF, como as dimensões do ambiente, as posições dos nós fixos da rede (por padrão, a interface do programa está pronta para suportar um *gateway* e três nós fixos), a potência de

saída do nó móvel (que se encontra junto à cadeira de rodas) e o ID de cada etiqueta RFID junto com a respectiva coordenada que ela representa no ambiente. Conhecendo essas informações o sistema pode realizar a estimativa de posição da cadeira de rodas e calibrar os parâmetros experimentais da RSSF.

Os parâmetros experimentais da RSSF recebem valores *default* no início da execução do programa. Esses valores têm como base as características de um ambiente interno e dos dispositivos que formam a RSSF, e são condizentes com a literatura e com experimentos preliminares realizados neste projeto. Uma descrição clara e detalhada sobre os parâmetros experimentais da RSSF é realizada na seção 4.1.2.

A RSSF possui um nó móvel instalado junto à cadeira de rodas, três nós fixos em posições conhecidas e um nó *gateway*, também com posição conhecida, para realizar a interface entre a RSSF e o computador responsável pelo cálculo de estimação da posição da cadeira de rodas. Todos os nós encontram-se a uma distância 1,8 m em relação ao chão, ficando, assim, acima da altura do cadeirante. A rede troca informações somente a pedido do nó *gateway*, que continuamente solicita que o nó móvel lhe responda. A resposta do nó móvel é tipo *broadcast*, ou seja, todos os nós da rede recebem essa mensagem. A mensagem pode conter a informação de leitura de uma etiqueta RFID ou pode estar vazia. O importante neste processo é que todos os nós fixos possam obter o RSSI da mensagem transmitida pelo nó móvel, inclusive o *gateway*.

Assim que cada nó fixo receber a mensagem do nó móvel e obter o RSSI desta mensagem, o nó *gateway* solicita a cada nó fixo o RSSI obtido. Após reunir as informações, o *gateway* adiciona ao pacote o RSSI que ele obteve e envia essas informações para o computador, para posteriormente estimar a posição da cadeira de rodas. O comportamento (ciclo) da RSSF foi baseado no trabalho de (MOTTER *et al.*, 2011) e (TRENTIN, 2011), e é resumido na Figura 24.

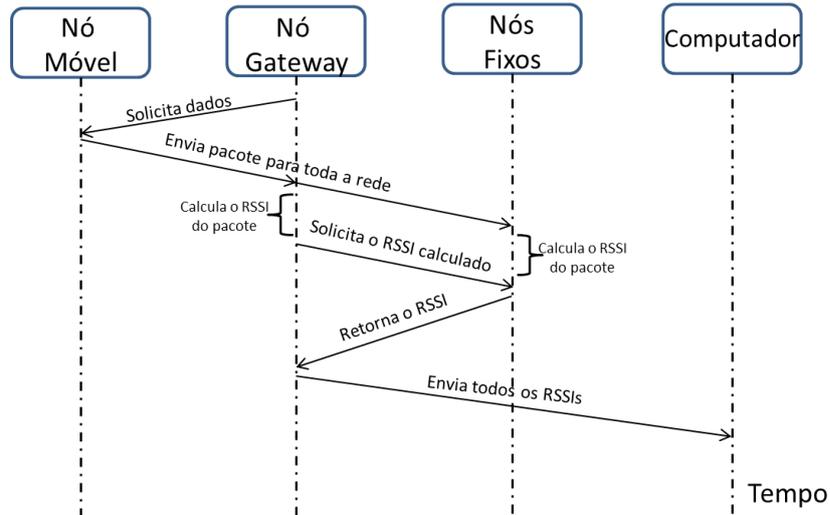


Figura 24 Comportamento da RSSF.

Após contextualizar o comportamento da RSSF, é realizada a descrição da calibração da RSSF. A calibração automática dos parâmetros da RSSF se dá quando a cadeira de rodas, equipada com o leitor RFID, passa por cima de uma etiqueta RFID próxima o suficiente para o leitor realizar a leitura. A informação lida (ID da etiqueta) é recebida pelo nó móvel, instalado na cadeira de rodas. Posteriormente, o nó móvel aguarda o nó *gateway* solicitar que essa informação seja enviada até ele, que, por fim, envia para o computador calibrar os parâmetros experimentais da RSSF. Esse processo de calibração é apresentado na Figura 25.

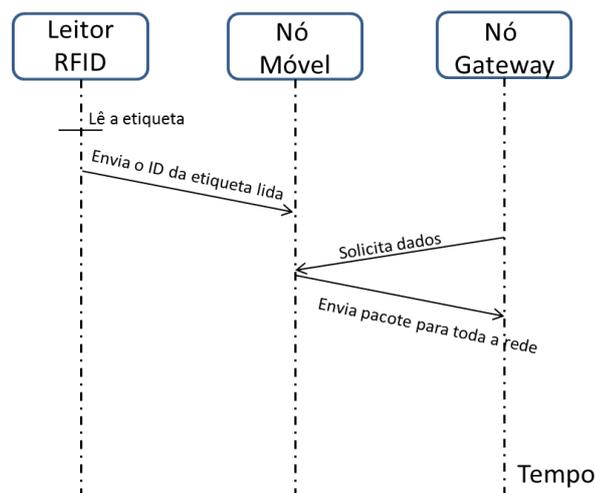


Figura 25 Resumo do processo de calibração da RSSF.

Os experimentos realizados neste trabalho consistem em mover a cadeira de rodas de uma localização inicial a uma localização final, coletando os valores de RSSI em pontos

pré-definidos, onde pode ter ou não etiquetas RFID fixadas no chão. A cadeira de rodas não estava em movimento nos experimentos, ou seja, no momento da coleta dos valores de RSSI a cadeira encontrava-se parada sobre o ponto de coleta.

O sistema é executado continuamente em função da capacidade da rede de trocar informações, ou seja, depende do tempo de processamento do *hardware* e do tempo de comunicação sem fio. Nos experimentos realizados neste trabalho, observou-se que cada ciclo de operação do sistema (ver Figura 24) demora em média entre 100 ms a 160 ms para ser executado por completo.

Em cada ponto de coleta, a cadeira de rodas permanecia parada em torno de 1 minuto. Como o objetivo inicial deste trabalho é investigar o desempenho do sistema proposto em uma situação em que a cadeira de rodas permanecia parada sobre os pontos de coleta, e não em movimento pelo ambiente, para cada ponto analisado foram selecionadas manualmente 150 amostras de RSSI do conjunto de amostras coletadas em 1 minuto (em torno de 15 a 40 segundos). O critério de seleção adotado consiste em selecionar os valores de RSSI recebidos quando estes se encontravam estabilizados, ou seja, quando os valores de RSSI repetiam continuamente ou sofriam pequenas variações.

O processo de calibração automática dos parâmetros segue a mesma metodologia de seleção das 150 amostras de RSSI, quando no ponto de coleta existir uma etiqueta RFID, sendo que a primeira amostra de RSSI é utilizada para a calibração dos parâmetros. Este processo é realizado sempre que a cadeira de rodas passa e para sobre uma etiqueta RFID próxima o suficiente para o leitor realizar a leitura.

4.1.2 Modelagem da propagação do sinal de RF

Os principais protocolos utilizados em RSSF são baseados no padrão IEEE 802.15.4, como por exemplo, ZigBee (BARONTI *et al.*,2007) e WirelessHart (MULLER *et al.*,2010).

Esse padrão define as características das camadas física e de controle de acesso ao meio físico, do inglês *Media Access Control* (MAC), para redes pessoais sem fio de baixa taxa (IEEE, 2011).

Segundo (IEEE, 2011), “A medida Link Quality Indicator (LQI) é uma caracterização da intensidade e/ou a qualidade de um pacote recebido. A medida pode ser obtida usando o receptor Energy Detection (ED), uma estimativa da relação sinal/ruído, ou uma combinação desses dois métodos”. Ainda segundo (IEEE, 2011), “Ele (receptor Energy Detection) é uma estimativa da potência do sinal recebido dentro da largura de banda do canal”.

O padrão IEEE 802.15.4 não é objetivo no que se diz respeito à implementação do LQI nos rádios baseados nesta norma. Dessa forma, fica a critério do fabricante a escolha do método a ser utilizado para o LQI. Existe uma discussão na literatura sobre a diferença entre LQI e RSSI (BENKIC *et al.*, 2008; MEGHJI, 2013). Como é critério do fabricante a forma de obter o LQI, fica evidente que ocorra uma discórdia sobre a forma de implementação. Essa discussão foge do escopo deste trabalho, por isso não será abordada com maiores detalhes.

Com intuito de não gerar discussão sobre o papel do LQI e do RSSI nos rádios baseados no padrão IEEE 802.15.4, alguns fabricantes disponibilizam os dois parâmetros no rádio. Esse é o caso do fabricante Texas Instruments nos rádios CC2420 (TEXAS, 2013). Nesse tipo de rádio o LQI é relacionado com a presença de ruído, já o RSSI é relacionado com a intensidade do sinal. Como será visto e discutido na seção 4.2, os rádios utilizados neste projeto disponibilizam o LQI, mas o LQI está diretamente ligado à intensidade do sinal da mensagem recebida e, conseqüentemente, à distância entre o rádio transmissor e receptor. Por isso, o LQI fornecido pelos rádios será tratado como RSSI neste trabalho, para manter a coerência com a literatura.

Como visto na seção 2.4.1.1.4, um sinal transmitido sofre atenuação durante o percurso entre o transmissor e o receptor, respeitando o modelo de propagação de ondas

eletromagnéticas no espaço livre. O RSSI é a forma que os rádios têm para representar essa atenuação (perda de intensidade ou dissipação de energia) do sinal de uma mensagem quando chega ao receptor. Os modelos de propagação do sinal de RF tentam representar a relação entre a potência do sinal recebido e a distância entre o transmissor e o receptor.

A propagação do sinal RF é afetada por vários fatores, como por exemplo, reflexão, difração e espalhamento (RAPPAPORT, 2002). Por isso, a modelagem de sinais RF é uma tarefa desafiadora, principalmente em ambiente interno. Nesse ambiente, os fenômenos citados são potencializados devido à presença de obstáculos, como móveis, paredes etc.

A literatura é rica em modelos que buscam explicar a propagação do sinal RF em ambientes internos e externos. A descrição de todos os modelos foge do escopo desse trabalho. Em (RAPPAPORT, 2002), são apresentadas informações abrangentes e a descrição detalhada de diversos modelos.

Neste trabalho são utilizados dois modelos de propagação de sinal. Esses modelos têm como base o modelo com atenuação pela distância, do inglês *path loss model*. Os modelos tipo atenuação com a distância baseiam-se em diversas análises experimentais e teóricas que relacionam o RSSI com a distância de separação entre o transmissor e o receptor (RAPPAPORT, 2002). O porquê de utilizar dois modelos será discutido na seção 4.1.4.

O primeiro modelo é descrito pelas equações 2 e 3 (RAPPAPORT, 2002).

$$P_R(d) = P_t - PL(d) \quad (2)$$

Onde:

P_R : potência do sinal recebido, expresso em dBm;

P_t : potência de transmissão, expresso em dBm;

d : distância entre transmissor e receptor, expresso em metros;

PL : atenuação do sinal pela distância d , expresso em dB.

Sendo a atenuação PL que o sinal sofre ao se propagar do transmissor até o receptor expressa por:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (3)$$

Onde:

PL : atenuação do sinal em função da distância, expresso em dB;

$PL(d_0)$: atenuação do sinal pela distância de referência, expresso em dB;

n : fator de atenuação, adimensional;

d_0 : distância de referência, expresso em metros.

Manipulando as equações 2 e 3, e expressando a distância em função do RSSI obtém-se a equação 4.

$$d = 10^{\left(\frac{A-RSSI}{10n}\right)} \cdot d_0 \quad (4)$$

O termo da equação 4, A , representa o valor do RSSI obtido à distância d_0 do emissor.

Na literatura é comum encontrar este termo representando o valor do RSSI obtido a 1 m de distância. Logo, d_0 recebe o valor 1, podendo ser dispensado na equação 4 (CHEN *et al.*, 2009; HU, 2011).

O segundo modelo, apresentado em (FARAHANI, 2008), é baseado em vários experimentos que consideram ambientes internos reais, onde parte do sinal transmitido pode ser absorvido por diferentes materiais, ou refletido em vários objetos ou pode sofrer atrasos, sendo adicionado atrasado no sinal original devido aos multicaminhos. Todos estes fenômenos podem alterar a potência do sinal recebido. A equação 5 descreve o modelo apresentado em (FARAHANI, 2008).

$$RSSI = P_t - 10n \log(f) - 10n \log(d) + 30n - 32,44 \quad (5)$$

Onde:

P_t : potência de transmissão, expressa em dBm;

n : expoente de atenuação, adimensional;

f : frequência do sinal, expressa em MHz;

d : distância entre transmissor e receptor, expressa em metros.

Considerando-se que os rádios utilizados na parte experimental desta dissertação possuem a portadora em 2405 MHz e que a potência de saída do rádio móvel também é constante, 2,81 dBm, logo, pode-se manipular a equação 5 e expressar a distância em função do RSSI, obtendo a equação 6.

$$d = 10^{\left(\left(\frac{-RSSI - 29,63}{10n} \right) - 0,3811 \right)} \quad (6)$$

A vantagem do segundo modelo se dá pelo fato de possuir apenas um parâmetro experimental, o n , diferente dos três parâmetros do primeiro modelo, n , A e d_0 . Adicionalmente, como não necessita de nenhuma amostra de RSSI do ambiente (no primeiro modelo, A é o RSSI a uma distância de referência), com um único ponto é possível calibrar-se o parâmetro n . Essa questão será discutida na seção 4.1.4. A desvantagem na aplicação do segundo modelo se dá pela necessidade de conhecer a frequência do sinal e a potência de saída do rádio.

Existe uma relação matemática entre os dois modelos. Se igualarmos a equação 4 à equação 6, e consideramos a distância d_0 igual a 1, obtemos a relação apresentada pela equação 7.

$$A = -29,63 - 3,811n \quad (7)$$

A equação 7 significa que: para uma distância de referência d_0 igual a 1 m, e se o valor de A do primeiro modelo respeitar a equação 7, os resultados de distância para a equação 4 e 6 serão os mesmos para o mesmo valor de n .

Os ditos parâmetros experimentais, A do primeiro modelo e n de ambos os modelos, são obtidos tradicionalmente através de uma tarefa demorada e exaustiva de coleta de dados em vários pontos do ambiente. Os valores típicos de n são tabelados em função do tipo de ambiente, como pode ser visto em (RAPPAPORT, 2002; FARAHANI, 2008).

Entretanto, cada ambiente possui suas peculiaridades e o sinal RF pode variar seu comportamento em função dos objetos que se encontram no ambiente. Dessa forma, é difícil generalizar esses parâmetros. Um dos objetivos desse trabalho é mostrar que para o mesmo ambiente é possível ter diferentes valores para n , e se for possível determiná-los, a exatidão do sistema de localização pode ser melhorada.

4.1.3 Etiquetas RFID como marco de referência

Como relatado na seção 4.1.1, as etiquetas RFID desempenham um papel de marco de referência para a calibração automática de parâmetros no sistema de localização proposto. Este método apresenta-se como uma nova solução para a calibração dos parâmetros experimentais necessários para a estimação de posição utilizando RSSF, que tradicionalmente é realizada através de uma tarefa demorada e exaustiva de coleta de dados em vários pontos do ambiente.

Para desempenhar o papel de marco de referência as etiquetas RFID utilizadas são passivas (não possuem fonte própria de energia) e operam em baixa frequência, (*Low Frequency* – LF). Essas etiquetas possuem um curto alcance de leitura, em torno de 15 cm, tornando-as próprias para o uso como referência geométrica.

A cadeira de rodas precisa passar e parar sobre a etiqueta RFID, que se encontra fixada ao chão, próximo o suficiente para o leitor lê-la (ver Figura 83). O leitor RFID está instalado na cadeira a uma altura de 7,5 cm do chão, e, devido ao seu formato retangular, a zona de leitura formada abrange aproximadamente 6 cm no plano longitudinal e 5 cm no plano transversal, do centro do leitor ao centro da etiqueta lida.

A informação lida (ID da etiqueta) é recebida pelo nó móvel, instalado na cadeira de rodas. Posteriormente, o nó móvel aguarda a solicitação do nó *gateway* para enviar essa informação a ele, que, por fim, envia para o computador calibrar os parâmetros experimentais.

Um dos problemas de utilizar as etiquetas RFID LF como marco de referência é o fato de não ser possível determinar a posição absoluta da etiqueta dentro da zona de leitura do leitor. Como discutido em (PARK & HASHIMOTO, 2009), se a etiqueta RFID encontra-se na origem de um plano cartesiano, existem inúmeras possibilidades para o leitor ler a etiqueta, desde que a etiqueta esteja dentro da zona de leitura, conforme mostra a Figura 26.

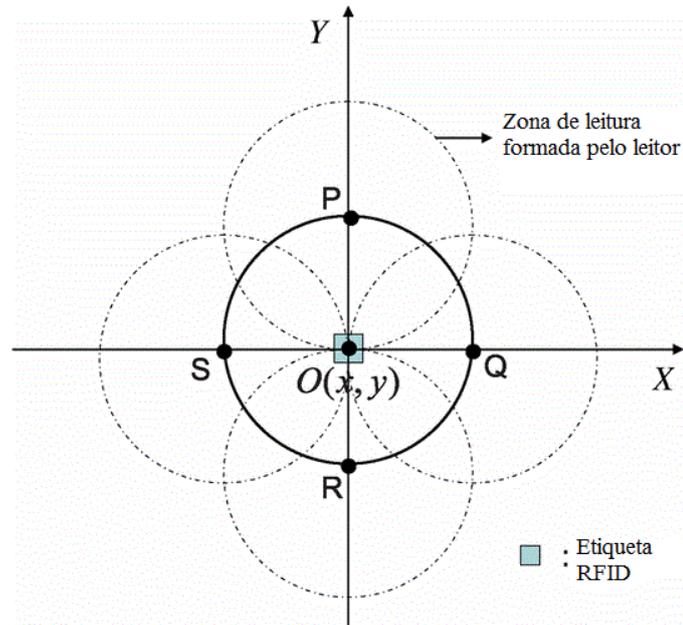


Figura 26 Incerteza da posição da etiqueta – Adaptado de (PARK & HASHIMOTO, 2009).

Como pode ser visto na Figura 26, se a etiqueta encontra-se na origem do plano cartesiano, o leitor pode estar na posição O, P, Q, R ou S que a leitura será realizada, e não será possível determinar a posição absoluta da etiqueta.

O problema em questão é mais crítico em sistemas de localização com elevada resolução. Neste projeto, o problema não produz grande impacto, pois em um sistema de localização baseado em RSSI, a incerteza da posição associada à leitura da etiqueta é muito inferior à incerteza do sistema sem fio. Dessa forma, a estimativa de posição da etiqueta pode ser considerada absoluta, ou pelo menos a mais próxima da real, devido à pequena resolução do sistema proposto.

O leitor RFID utilizado, assim como a maioria dos leitores RFID LF, não possui sistema anti-colisão, ou seja, o leitor é capaz de ler apenas uma etiqueta por vez. Caso tenha

duas ou mais etiquetas na zona de leitura, o leitor não lerá nenhuma delas. Dessa forma, é preciso ter cuidado na instalação das etiquetas no chão, uma vez que a distância entre as etiquetas deve ser maior que o diâmetro da zona de leitura para que não haja colisão no momento da leitura.

4.1.4 Algoritmo de localização

A parte lógica e de desenvolvimento de algoritmos pode ser dividida em duas partes: estimação da posição e calibração automática dos parâmetros. A estimação da posição é executada continuamente na medida em que a RSSF obtém pelo menos 3 valores de RSSI dos nós fixos, incluindo o do nó *gateway*. Já a calibração dos parâmetros ocorre sempre que uma etiqueta RFID responde à requisição do leitor RFID, ou seja, sempre que a cadeira tenha uma etiqueta RFID dentro do campo de leitura do leitor RFID. Os algoritmos são executados em função da capacidade da rede de trocar informações, ou seja, depende do tempo de processamento do *hardware* e do tempo de comunicação sem fio.

Primeiramente, a RSSF obtém os valores de RSSI conforme descrito na seção 4.1.1 e exemplificado na Figura 24. Após o nó *gateway* reunir todos os valores de RSSI, ele transfere essa informação para o computador através de uma conexão *Universal Serial Bus* (USB). A entrada de dados pela USB gera uma chamada no algoritmo de estimação da posição para a leitura e organização desses dados. O pacote recebido contém os valores de RSSI obtidos por cada nó fixo da rede e, no caso, a informação de que algum nó não conseguiu obter o RSSI. Também, é informado se foi lida alguma etiqueta.

Após a organização dos dados, o valor de RSSI de cada nó é tratado. O tratamento consiste em realizar a média das últimas 5 amostras de RSSI coletadas. Quando se obtém a amostra de RSSI atual, ela é inserida no vetor das últimas 5 amostras e a última amostra do vetor é excluída do cálculo da média desses valores. No caso do nó não obter o RSSI naquele

ciclo, a última amostra de RSSI recebida é repetida no vetor das últimas 5 amostras. Sendo assim, o algoritmo só considera que um nó fixo esteja fora de operação (não obtém mais o RSSI ou não responde) quando 5 ciclos sucessivos ocorram sem obter um RSSI válido. O objetivo dessa fase é diminuir a variação que o RSSI sofre em função das interferências e reflexos do sinal RF no ambiente interno.

A próxima etapa consiste em estimar as distâncias formadas entre o nó móvel (cadeira de rodas) e os nós fixos. Nesta etapa são aplicados os modelos de propagação de sinal RF descritos na seção 4.1.2. As posições dos nós fixos são conhecidas pelo sistema, pois são informadas no início da execução do programa através da interface com o usuário.

O algoritmo necessita de pelo menos 3 distâncias conhecidas da cadeira de rodas em relação aos nós fixos da rede para prosseguir para a próxima etapa, na qual a posição da cadeira de rodas é obtida por lateração. Para tornar mais claro o funcionamento do método da lateração, toma-se como base a Figura 27.

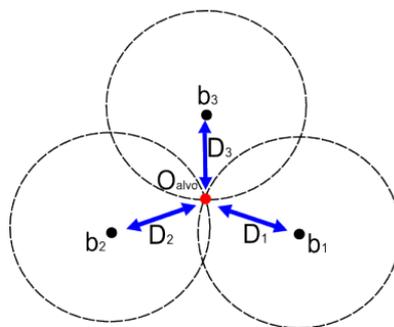


Figura 27 Exemplo de localização por lateração (RODRIGUES, 2011).

Os pontos b_1 , b_2 e b_3 representam os nós fixos da RSSF, ou os centros dos círculos na técnica de lateração. As distâncias, ou os raios dos círculos, d_1 , d_2 e d_3 são as distâncias estimadas dos nós fixos em relação ao alvo (nó móvel ou cadeira de rodas), e são calculadas a partir do RSSI e o modelo de propagação do sinal RF. Seja x_0 e y_0 o par de coordenadas do alvo, e x_i e y_i o par de coordenadas dos i nós fixos da rede (neste exemplo, são 3). Para obter a posição do alvo (x_0 e y_0) é necessário satisfazer o conjunto de equações do sistema 8.

$$\begin{cases} (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 = d_1^2 \\ (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 = d_2^2 \\ (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (8)$$

Entretanto, na prática as estimativas de distância têm uma incerteza associada, e os círculos não se interceptam como mostrado na Figura 27. Em função dessas incertezas é mais provável que ocorra o caso apresentado na Figura 28.

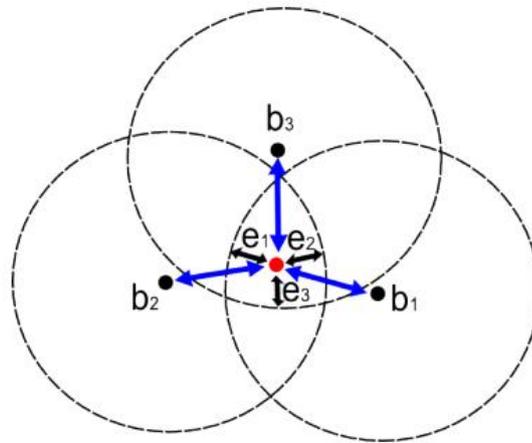


Figura 28 Exemplo de localização por lateração com incertezas (RODRIGUES, 2011).

Dessa forma, o conjunto de equações do sistema 8 não pode ser aplicado. O sistema deve ser adaptado para considerar o erro e_i , e a nova formulação do sistema é representada pelo conjunto de equações do sistema 9.

$$\begin{cases} (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 - d_1^2 = e_1 \\ (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 - d_2^2 = e_2 \\ (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 - d_3^2 = e_3 \end{cases} \quad (9)$$

A partir da nova formulação tem-se um problema de otimização, onde o objetivo é encontrar x_0 e y_0 que minimiza a soma dos erros. E para solucionar esse problema foi aplicado o método de otimização por Mínimos Quadrados, onde o número de equações do sistema 9 é o mesmo que o número de nós fixos da RSSF. Maiores detalhes sobre a modelagem do método mínimos quadrados e a aplicação no sistema de localização utilizando RSSF pode ser encontrado em (SUGANO *et al.*, 2006).

O fluxograma da Figura 29 apresenta o processo de estimação da posição.

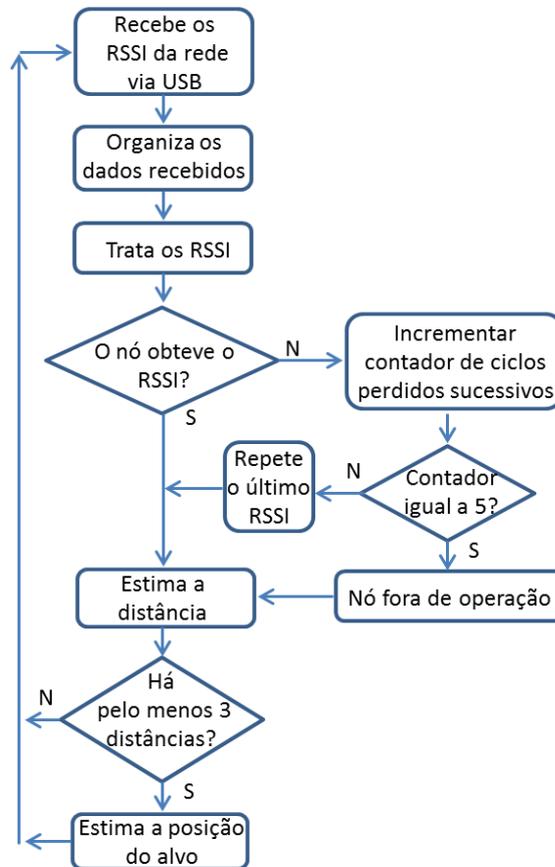


Figura 29 Fluxograma do algoritmo de estimação da posição.

O algoritmo de calibração automática dos parâmetros é executado sempre que a cadeira de rodas passa e para sobre uma etiqueta RFID próxima o suficiente para o leitor realizar a leitura. A posição da etiqueta lida pelo leitor é de conhecimento do sistema, pois no início da execução do programa os IDs das etiquetas e as suas respectivas coordenadas no ambiente são informados através da interface com o usuário.

Quando o ID da etiqueta é obtido e chega até o computador, o sistema verifica se o ID corresponde ao um ID registrado. Se o ID está registrado no sistema, com a coordenada no ambiente que este ID representa é possível determinar a distância entre a cadeira de rodas e os nós fixos da rede. A equação 10 é utilizada para calcular a distância entre a cadeira de rodas e um nó fixo da rede.

$$(x_i - x_{tag})^2 + (y_i - y_{tag})^2 = d_i^2 \quad (10)$$

Onde x_i e y_i é o par de coordenadas de um dos i nós fixos da rede, e x_{tag} e y_{tag} é o par de coordenadas da etiqueta RFID lida. Conhecendo a distância e aplicando o inverso das equações 4 e 6 dos modelos de propagação do sinal RF é possível determinar o parâmetro experimental n .

Vale lembrar que o primeiro modelo (equação 4) necessita de três parâmetros experimentais, n , A e d_0 , e o segundo modelo (equação 6) somente de um parâmetro, n . Sendo assim, o primeiro modelo não pode ser aplicado na primeira etiqueta lida, pois neste momento não se tem conhecimento do A e d_0 , visto que somente na primeira leitura é que esses parâmetros são armazenados no sistema. Por isso, no sistema proposto, sempre na primeira etiqueta lida é aplicado o segundo modelo para calcular o n . Neste momento também são armazenados o A e d_0 , dependendo do método que recalcula os parâmetros da RSSF (ver seção 5.2).

O fluxograma da Figura 30 apresenta o processo de calibração dos parâmetros.

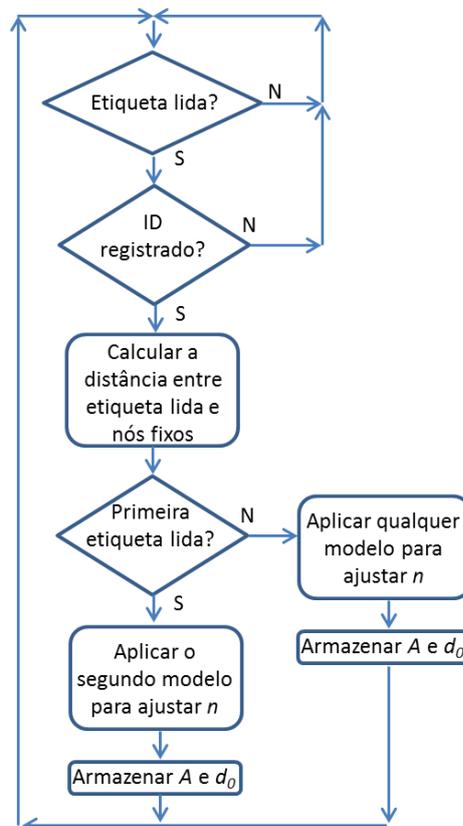


Figura 30 Fluxograma do algoritmo de calibração dos parâmetros.

4.2 APARATO EXPERIMENTAL

O aparato experimental pode ser dividido em quatro partes principais: a rede de sensores sem fio, o sistema RFID, a cadeira de rodas automatizada e o programa responsável pelo algoritmo de estimação da posição e calibração automática dos parâmetros.

A RSSF é formada por cinco módulos (nós) AirGate-Modbus da empresa Novus (NOVUS, 2013). Este rádio, como mostrado na Figura 31, é um equipamento capaz de formar uma rede sem fio padrão IEEE 802.15.4. Os rádios são baseados no circuito integrado MC1322x da Freescale e o *firmware* foi programado e depurado em linguagem de programação C com a plataforma de desenvolvimento da IAR Systems. As principais características desses rádios são:

1. dispositivo sem fio 2.4 GHz;
2. processador 32 bit ARM7, 128 KB Flash, 96 KB RAM e 80 KB ROM;
3. dois módulos UART dedicados com taxa de 2 Mbps e suporte CTS/RTS;
4. cristal Oscilador de 32.768 KHz;
5. módulo ZFSM-201-1 da CEL, baseado na plataforma MC13224V com transceptor IEEE 802.15.4 combinado com Power Amplifier de 100 mW;
6. conector SMA para antena;
7. potência de transmissão de até 100 mW;
8. sensibilidade de recepção de -96 dBm;
9. dois conectores para uma interface RS485 Modbus RTU;
10. tensão de alimentação de 10 a 35 VCC;
11. porta USB para interface dos módulos UART com o computador;
12. leds indicadores de estado.

Como discutido na seção 4.1.2, os rádios utilizados disponibilizam o LQI, ao invés do tradicional RSSI. Entretanto, o LQI disponível possui o mesmo comportamento do conceito do RSSI encontrado na literatura, ou seja, ele está relacionado com a intensidade do sinal de uma mensagem recebida e, conseqüentemente, está relacionado com a distância entre o transmissor e o receptor.



Figura 31 Módulo AirGate-Modbus da Novus (NOVUS, 2013).

O LQI do rádio varia de 0x00 a 0xFF e é convertido para -15 dBm (sinal ótimo) a -100 dBm (sinal ruim) a partir da equação 11, sendo que o passo (resolução) é de 0x03, ou seja, a equação nunca resultará um número fracionário, sempre será inteiro.

$$LQI(dBm) = (LQI / 3) - 100 \quad (11)$$

O sistema RFID é composto basicamente por etiquetas LF passivas e um leitor LF (baixa frequência (125 kHz) e baixo alcance). As etiquetas são do tipo disco em PVC de 18 mm, como pode ser visto na Figura 32.

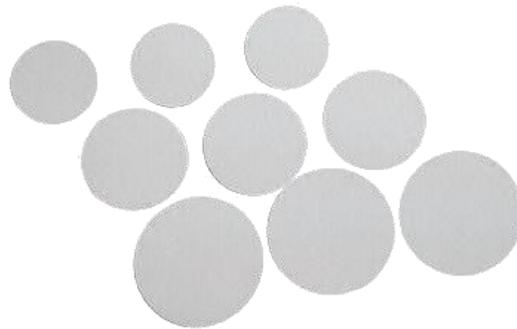


Figura 32 Etiquetas RFID LF utilizadas no projeto.

O leitor RFID utilizado é o modelo GP25A LF da empresa Promag (PROMAG, 2009). Ele é um leitor de proximidade com pequenas dimensões e de alto desempenho. A tensão de alimentação pode ser de 5 a 12,5 VCC e a saída de dados é configurável nos formatos *Wiegand*, *Magstripe*, *Clock/Data* e RS232. Opera como somente leitura (*read only*), possui

antena interna e Led e *buzzer* sinalizadores de leitura. A Figura 33 apresenta o leitor RFID GP25A LF da Promag.



Figura 33 Leitor RFID GP25A LF da Promag utilizado no projeto (PROMAG, 2009).

A cadeira de rodas utilizada nos experimentos é o modelo Freedom “L” da empresa Freedom (FREEDOM, 2012), adquirida no âmbito do projeto de pesquisa na área de Tecnologias Assistivas desenvolvido pelo GCAR - UFRGS, que recebe o título de arquitetura para uma Cadeira de Rodas Integrada em um Ambiente Inteligente (CRAI), financiado pela instituição Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Esse modelo possui um *joystick* remoto para ser instalado em qualquer parte da cadeira, computador de bordo com diversas funções, faróis, sinaleiras e buzina. A cadeira é equipada com 2 motores elétricos de corrente contínua e ímã permanente de 400 W cada, driver microprocessado de 50 A que permite aceleração e desaceleração linear e velocidade de 0 a 7 km/h, e duas baterias de 12 V / 50 A, que possibilitam autonomia de até 30 km, recarregáveis por carregador inteligente microprocessado multivoltagem (neste projeto, as baterias fornecem a alimentação do nó móvel e do leitor RFID que se encontram instalados na cadeira de rodas).

A cadeira de rodas Freedom "L" é apresentada na Figura 34.



Figura 34 Cadeira de rodas Freedom "L" utilizado no projeto (FREEDOM, 2012).

O programa principal foi criado e executado nos experimentos em um *notebook* da marca HP, modelo DV6-1360us, com 4 GB de memória RAM e 500 GB de disco rígido, e processador Intel Core 2 Duo de 2,13 GHz. O sistema operacional do *notebook* é o Windows 7 Ultimate de 64 bits. Além da implementação dos algoritmos apresentados na seção 4.1.4, uma interface com usuário foi desenvolvida no programa principal para informar alguns parâmetros necessários para o sistema e visualizar os resultados obtidos.

Para obtenção da posição real da cadeira de rodas nos experimentos foi utilizada a trena digital a laser da empresa Bosch, modelo DLE 40 Professional (BOSCH, 2009) – vide Figura 35. Este trena possui uma faixa de trabalho de 0,05 a 40 m e uma precisão de medição de $\pm 1,5$ mm.



Figura 35 Trena digital a laser DLE 40 Professional (BOSCH, 2009).

5 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentados os experimentos realizados utilizando o sistema de localização proposto. A primeira análise avalia os diferentes métodos propostos utilizando a RSSF e a tecnologia RFID, onde os modelos de propagação de sinal RF são avaliados individualmente e, também, combinados no processo de estimação da distância entre o nó móvel e os nós fixos da rede e no processo de calibração dos parâmetros experimentais da RSSF. Além desses métodos, é proposta uma abordagem diferente de calibração automática dos parâmetros experimentais utilizando a regressão simples por mínimos quadrados.

A base de comparação para o sistema proposto neste trabalho é o sistema de localização tradicional encontrado na literatura, que utiliza somente RSSF e o modelo de propagação do sinal RF, e depende de uma fase anterior ao processo de localização do alvo para a calibração dos parâmetros da RSSF. O sistema tradicional e as diferentes variações do sistema proposto (diversificação dos modelos de propagação e o método de calibração por regressão simples por mínimos quadrados) são comparados com o intuito de verificar qual gera os melhores resultados a partir da métrica de avaliação adotada.

Foram realizados também experimentos que permitissem a análise da influência de outros parâmetros, tais como: o número de nós e a disposição (leiaute) da rede sem fio, o número e a distribuição de etiquetas RFID etc. As análises estão divididas, e apresentadas nas próximas seções, nas seguintes categorias:

1. análise dos métodos propostos;
2. análise da quantidade de nós da rede;
3. análise do sentido do percurso;
4. análise do leiaute da rede.

Os experimentos realizados neste trabalho seguem uma metodologia experimental, respeitando as seguintes condições:

1. os experimentos consistem em mover a cadeira de rodas de uma localização inicial a uma localização final, coletando os valores de RSSI em pontos pré-definidos, onde pode ter ou não etiquetas RFID fixadas no chão;
2. o experimento não é realizado em movimento, a cadeira encontrava-se parada no momento da coleta dos RSSI;
3. a cada ponto pré-definido a cadeira de rodas permanece parada por aproximadamente 1 minuto para a coleta dos valores de RSSI;
4. a partir do conjunto de amostras obtido com a cadeira de rodas parada sobre o ponto de coleta são selecionadas manualmente 150 amostras de RSSI de cada nó fixo;
5. a rede possui 1 nó móvel fixado na cadeira de rodas, 1 nó *gateway* para a interface entre RSSF e computador, e 3 nós fixos, todos instalados a uma distância de 1,8 m em relação ao chão;
6. os nós fixos e o nó *gateway* têm suas posições conhecidas pelo sistema, pois são informadas no início da execução do programa através da interface com o usuário;
7. as posições das etiquetas RFID, e seus respectivos IDs, são informadas ao sistema no início da execução do programa através da interface com o usuário.
8. o tamanho do ambiente é informado ao sistema no início da execução do programa através da interface com o usuário, e é utilizado pelo algoritmo do programa para que a estimativa de posição nunca fique fora dos limites da sala;
9. nas figuras apresentadas nas próximas seções, adota-se a seguinte representação gráfica: o *gateway* e os nós fixos 1, 2 e 3, são representados respectivamente por um triângulo vermelho, um quadrado verde, um círculo amarelo e um triângulo preto. Um losango azul claro é utilizado para representar um ponto de coleta pré-definido com etiqueta RFID e um losango laranja representa um ponto de coleta pré-definido sem etiqueta RFID;
10. todos os experimentos, exceto o estudo de caso, foram realizados em uma sala de aula padrão de dimensões 8 x 7,7 m da Universidade de Caxias do Sul (UCS) – Campus Universitário da Região dos Vinhedos em Bento Gonçalves, conforme mostrada na Figura 36.



Figura 36 Ambiente utilizado na realização dos experimentos.

Por fim, é apresentando o estudo de caso, que consiste na aplicação do sistema de localização com o melhor método proposto numa aplicação de “Tecnologias Assistivas”, na qual a posição de uma cadeira de rodas automatizada inserida em um ambiente inteligente (ambiente controlado por um sistema de automação predial ou residencial) é estimada, permitindo ao sistema de automação o controle de variáveis como iluminação do ambiente, temperatura, etc. para o cadeirante.

5.1 MÉTRICA DE AVALIAÇÃO

A cada ponto de coleta nos experimentos são obtidas 150 amostras de RSSI de cada nó fixo, e, conseqüentemente, 150 estimativas de posição são geradas. Em consequência das interferências e reflexões do sinal RF em ambientes internos, os valores de RSSI sofrem variações, produzindo diferentes estimativas de posição para o mesmo ponto de coleta.

Dessa forma, para avaliar os resultados foi utilizada uma métrica de avaliação que considera o erro médio das 150 estimativas de posição da cadeira de rodas em relação à posição real. O erro médio é definido pela equação 12.

$$e_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (12)$$

Onde x_i e y_i representam a posição real, \hat{x}_i e \hat{y}_i representam a posição estimada e n representa o número de iterações do cálculo, ou seja, o número de amostras.

5.2 ANÁLISE DOS MÉTODOS PROPOSTOS

A primeira análise avalia os diferentes métodos propostos utilizando a RSSF e a tecnologia RFID, onde os modelos de propagação de sinal RF são avaliados individualmente e, também, combinados no processo de estimação da distância entre o nó móvel e os nós fixos da rede e no processo de calibração dos parâmetros experimentais da RSSF. Além desses métodos, é proposta uma abordagem diferente de calibração automática dos parâmetros experimentais utilizando a regressão simples por mínimos quadrados. E, como base de comparação, o sistema de localização tradicional, que utiliza somente RSSF, encontrado na literatura é aplicado no mesmo cenário utilizado para os experimentos do sistema proposto.

Os experimentos realizados nesta análise possuem 18 pontos de coleta, sendo 11 em sentido horizontal e 7 em sentido vertical. O intervalo (espaçamento) entre os pontos é de 30 cm, com exceção na curva, pois o último ponto do sentido horizontal está na coordenada $x=3,2$ e $y=3$, e o primeiro ponto do sentido vertical está na coordenada $x=3$ e $y=3,1$. Dessa forma, esse intervalo é um pouco menor que 30 cm (aproximadamente 23 cm).

Os experimentos iniciam na coordenada $x=6,2$ e $y=3$ (ponto mais à direita do gráfico da Figura 37), e terminam na coordenada $x=3$ e $y=4,9$ (ponto mais elevado do gráfico). Os 18 pontos e suas respectivas posições são apresentados na Tabela 3. Vale ressaltar que o nó *gateway* está na posição $x=1,5$ e $y=6,0$, o nó fixo 1 está em $x=6,5$ e $y=6,0$, o nó fixo 2 está em $x=6,5$ e $y=1,5$, e o nó fixo 3 está em $x=1,5$ e $y=1,5$.

Tabela 3 Tabela com os 18 pontos e suas respectivas posições.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Eixo X	6,20	5,90	5,60	5,30	5,00	4,70	4,40	4,10	3,80
Eixo Y	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Pontos	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Eixo X	3,50	3,20	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Eixo Y	3,00	3,00	3,10	3,40	3,70	4,00	4,30	4,60	4,90

Foram realizados 5 testes variando o número de etiquetas RFID e o espaçamento entre elas. No teste inicial as etiquetas foram colocadas com um espaçamento de 30 cm, ou seja, todos os pontos de coleta possuem uma etiqueta RFID. A Figura 39 apresenta esta primeira distribuição das etiquetas. Com intuito de facilitar a compreensão, a primeira distribuição das etiquetas é chamada de DE1 no decorrer do texto, assim como as sucessivas distribuições de etiquetas. Vale lembrar que, assim como foi relatado no início deste capítulo, o losango azul claro nas figuras representa um ponto de coleta pré-definido com etiqueta RFID e o losango laranja um ponto de coleta pré-definido sem etiqueta RFID. E o *gateway* e os nós fixos 1, 2 e 3, são representados respectivamente por um triângulo vermelho, um quadrado verde, um círculo amarelo e um triângulo preto.

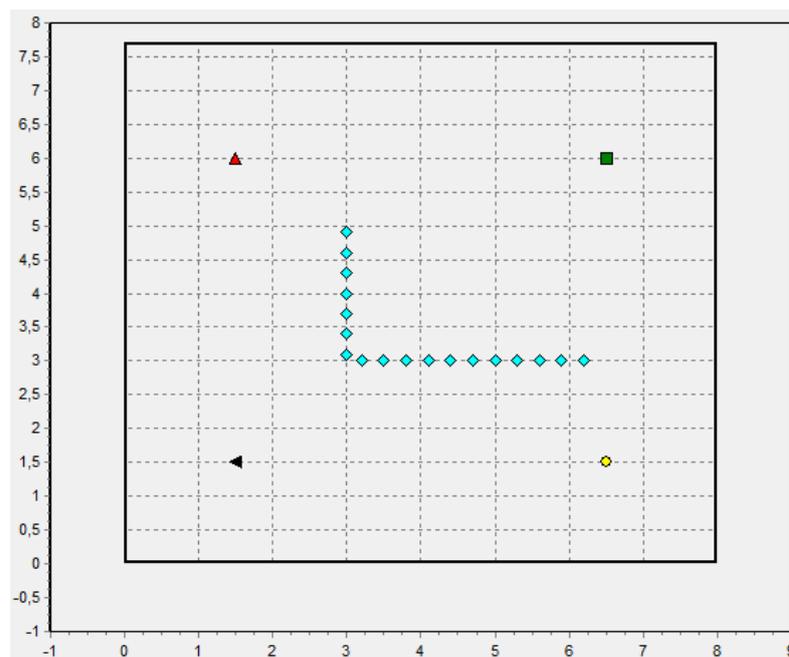


Figura 37 Primeira distribuição das etiquetas.

Na segunda distribuição (DE2) são retiradas 8 etiquetas, obtendo-se um espaçamento de 60 cm entre elas. Entretanto, são coletados os valores de RSSI nos mesmos 18 pontos pré-definidos em DE1 (ou seja, os pontos de coleta de dados estão espaçados de 30 cm). A Figura 38 exemplifica a segunda distribuição das etiquetas.

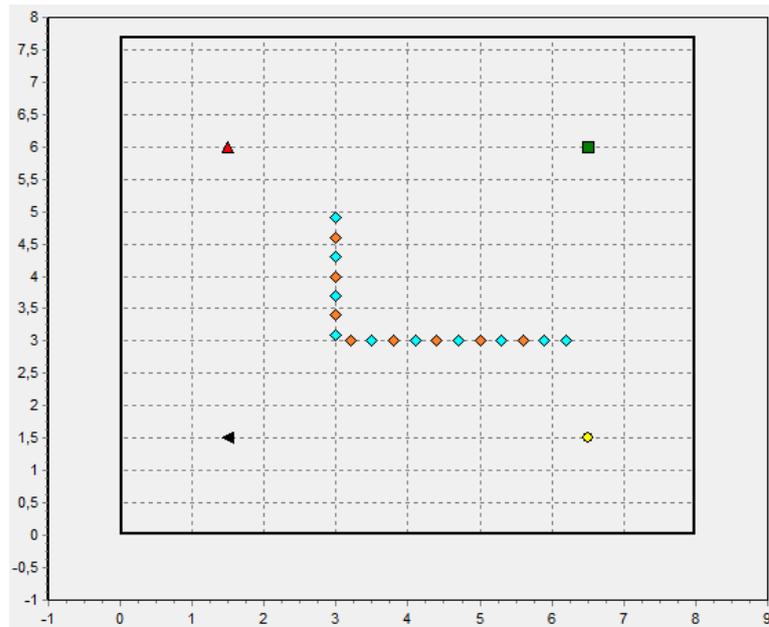


Figura 38 Segunda distribuição das etiquetas.

Na terceira distribuição (DE3) são retiradas 10 etiquetas, obtendo-se um espaçamento de 90 cm entre elas, vide Figura 39.

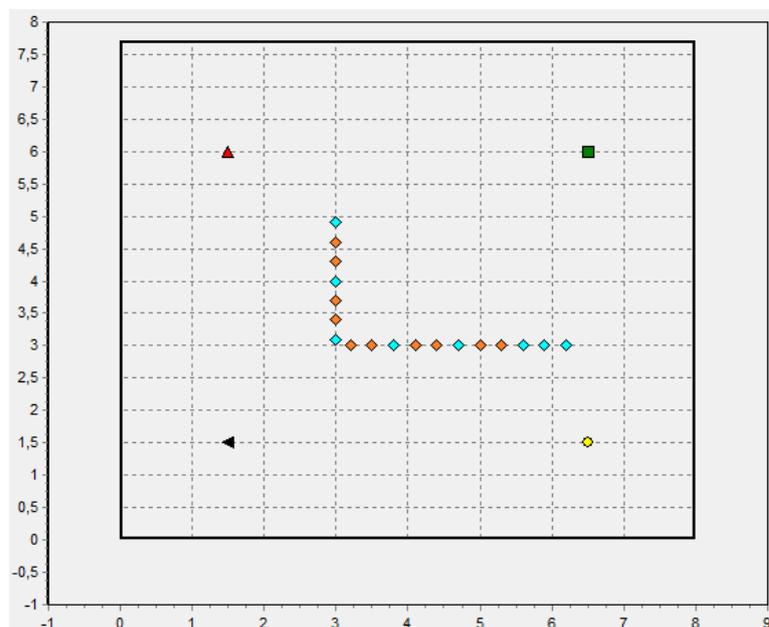


Figura 39 Terceira distribuição das etiquetas.

Na quarta distribuição (DE4) são retiradas 12 etiquetas, obtendo-se um espaçamento de 1,2 m entre elas, conforme apresentado na Figura 40.

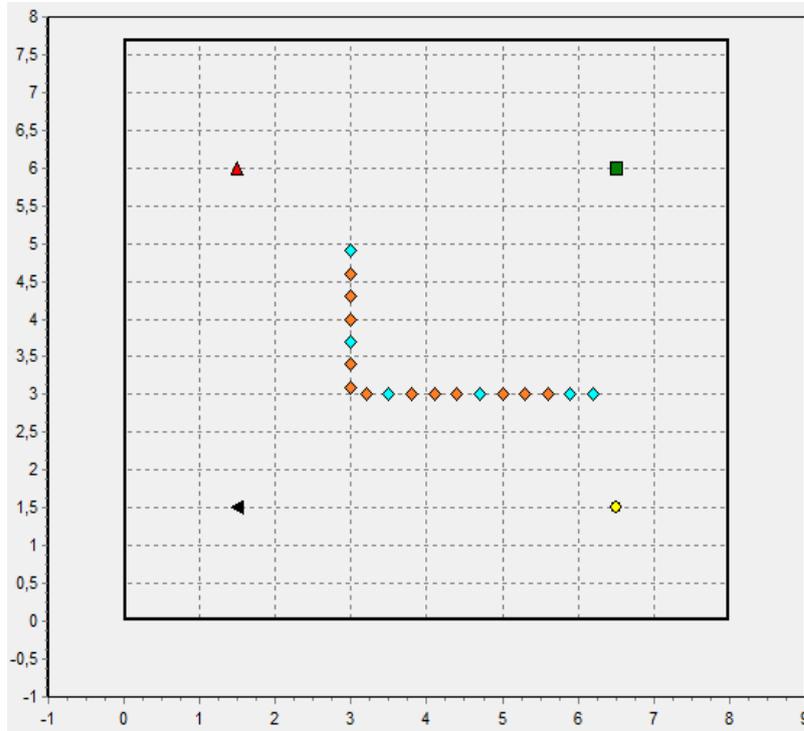


Figura 40 Quarta distribuição das etiquetas.

Na quinta distribuição (DE5) são retiradas 12 etiquetas, obtendo-se um espaçamento de 1,5 m entre elas, conforme apresentado na Figura 41.

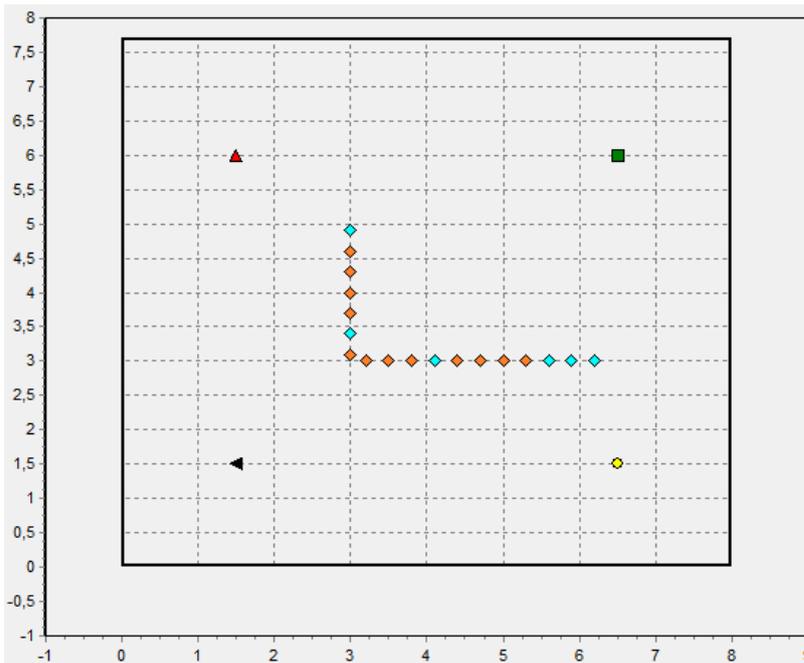


Figura 41 Quinta distribuição das etiquetas.

Nessa primeira análise foram utilizados 4 métodos propostos, com base nos modelos de propagação do sinal RF, para o processo de estimação da distância entre o nó móvel e os nós fixos da rede e para o processo de calibração dos parâmetros experimentais da RSSF. Além desses métodos, é proposta uma abordagem diferente de calibração automática dos parâmetros experimentais utilizando a regressão simples por mínimos quadrados. E, como base de comparação, o sistema de localização tradicional encontrado na literatura é aplicado no mesmo cenário utilizado para os experimentos do sistema proposto. Todos esses sistemas (métodos) são aplicados em cada uma das 5 distribuições das etiquetas (representada por DE1, DE2, DE3, DE4 e DE5). Os métodos propostos são descritos individualmente nas próximas seções e, também, os seus respectivos resultados são apresentados.

5.2.1 Método 1

Nos experimentos utilizando o primeiro método, quando a primeira etiqueta RFID é lida, o parâmetro n é ajustado através da equação 6, e os valores de d_0 (distância de referência) e A (RSSI obtido à distância d_0) são armazenados. A partir da segunda etiqueta lida, somente o n é ajustado, e agora através da equação 4. Em todos os casos, o cálculo da distância é realizado com a equação 4.

Os resultados alcançados com o método 1 para DE1 são mostrados na Figura 42.

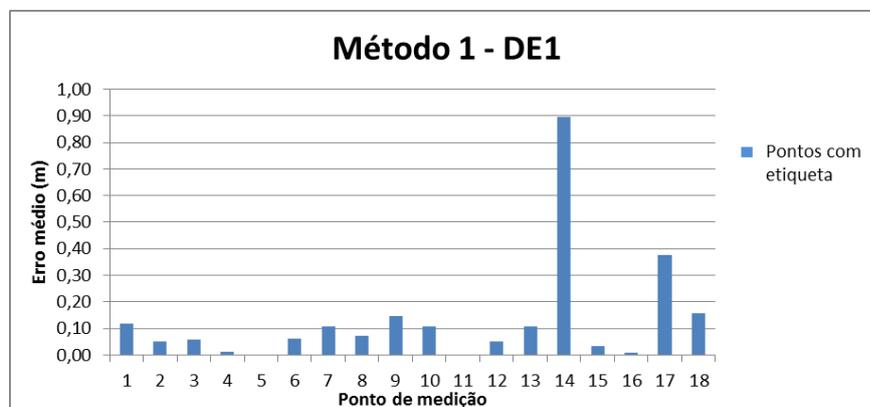


Figura 42 Resultados alcançados com o método 1 para DE1.

Os resultados alcançados com o método 1 para DE2 são mostrados na Figura 43.

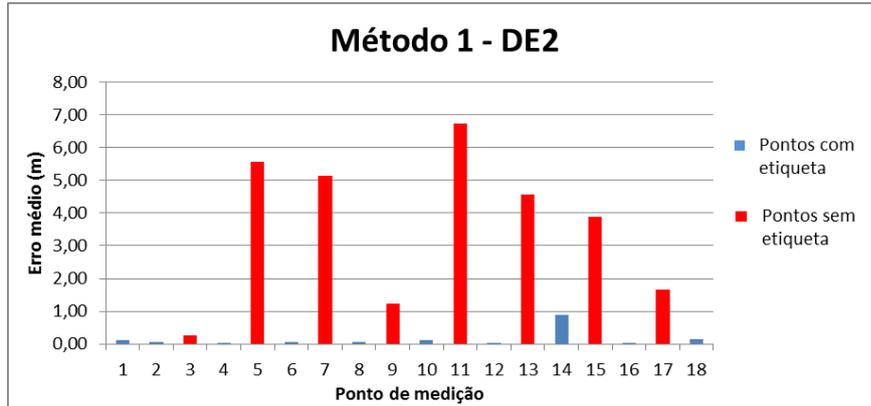


Figura 43 Resultados alcançados com o método 1 para DE2.

Os resultados alcançados com o método 1 para DE3 são mostrados na Figura 44.

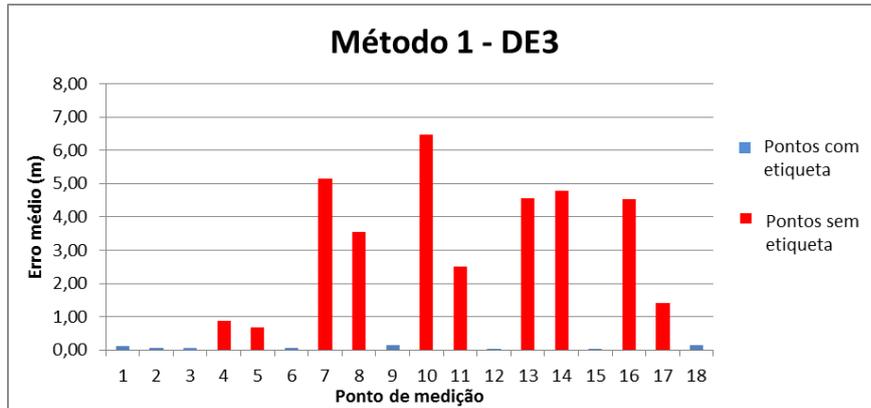


Figura 44 Resultados alcançados com o método 1 para DE3.

Os resultados alcançados com o método 1 para DE4 são mostrados na Figura 45.

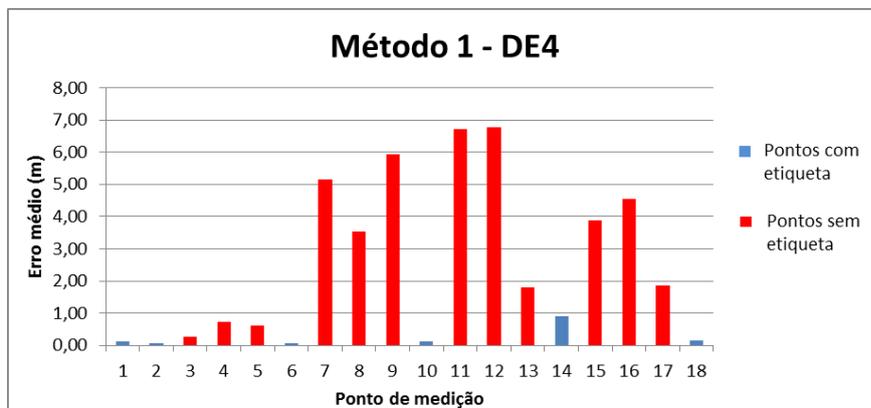


Figura 45 Resultados alcançados com o método 1 para DE4.

Os resultados alcançados com o método 1 para DE5 são mostrados na Figura 46.

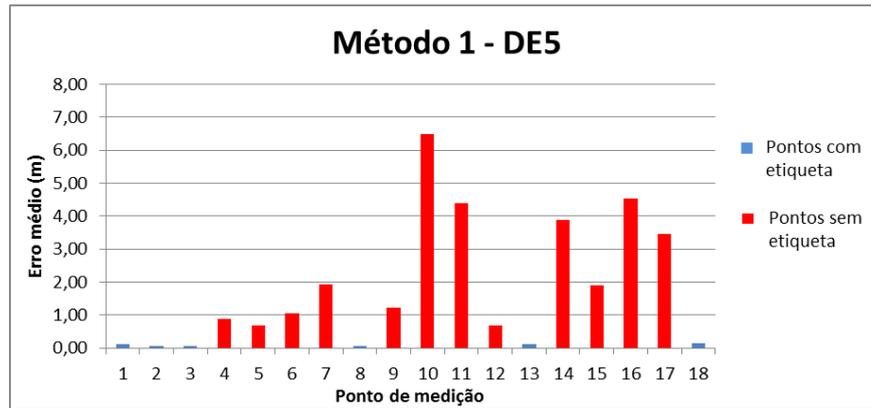


Figura 46 Resultados alcançados com o método 1 para DE5.

A Tabela 4 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 18 pontos de medição nas 5 distribuições de etiquetas.

Tabela 4 Tabela com o resumo do método 1 aplicado nas 5 distribuições de etiquetas.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DE1	0,118	0,051	0,058	0,013	0,002	0,061	0,109	0,074	0,147	0,110	0,003
DE2	0,118	0,051	0,278	0,013	5,576	0,061	5,139	0,074	1,236	0,110	6,718
DE3	0,118	0,051	0,058	0,877	0,673	0,061	5,139	3,542	0,147	6,482	2,517
DE4	0,118	0,051	0,278	0,732	0,618	0,061	5,139	3,542	5,925	0,110	6,718
DE5	0,118	0,051	0,058	0,877	0,673	1,061	1,940	0,074	1,236	6,482	4,386
Pontos	12	13	14	15	16	17	18	Med.	Var.	Inter.	M.s/e
DE1	0,050	0,109	0,895	0,033	0,008	0,376	0,159	0,132	0,044	0,30	-
DE2	0,050	4,568	0,895	3,886	0,008	1,653	0,159	1,699	5,401	0,60	3,632
DE3	0,050	4,568	4,790	0,033	4,539	1,407	0,159	1,956	5,065	0,90	3,453
DE4	6,757	1,794	0,895	3,886	4,534	1,870	0,159	2,399	6,204	1,20	3,483
DE5	0,675	0,109	3,887	1,895	4,534	3,472	0,159	1,760	3,820	1,50	2,593

Os valores apresentados na Tabela 4, e demais tabelas deste capítulo, estão em metros, exceto a variância que, no caso, está em metros quadrados. A abreviatura “Med” significa a média dos resultados dos 18 pontos, sendo que o resultado de cada ponto é o erro médio das 150 estimativas de posição da cadeira de rodas em relação à posição real. A abreviatura “Var” significa a variância dos resultados dos 18 pontos. A abreviatura “Inter” significa o intervalo (espaçamento) entre as etiquetas RFID nos experimentos. A abreviatura “M. s/e” significa a média dos resultados dos pontos que não possuem etiquetas. Esses pontos sem etiquetas estão sombreados na tabela.

O primeiro método não aparenta ser eficiente, uma vez que a média dos resultados dos pontos que não possuem etiquetas é muito elevada, em média acima de 3 m. E, diferente do esperado, o erro médio do sistema com o método 1 proposto não diminuiu com o aumento do intervalo entre as etiquetas. Essa questão é notada verificando a diferença da média do DE5 em relação aos outros DE.

5.2.2 Método 2

Nos experimentos utilizando o segundo método, quando a primeira etiqueta RFID é lida, o parâmetro n é ajustado através da equação 6, e os valores de d_0 e A são armazenados. A partir da segunda etiqueta lida, somente o n é ajustado, e ainda através da equação 6. Em todos os casos, o cálculo da distância é realizado com a equação 6. Neste caso, se fosse utilizado a equação 4 para calcular a distância, os resultados produzidos seriam errôneos, pois os valores de d_0 e A não são atualizados a cada leitura de etiqueta.

Os resultados alcançados com o método 2 para DE1 são mostrados na Figura 47.

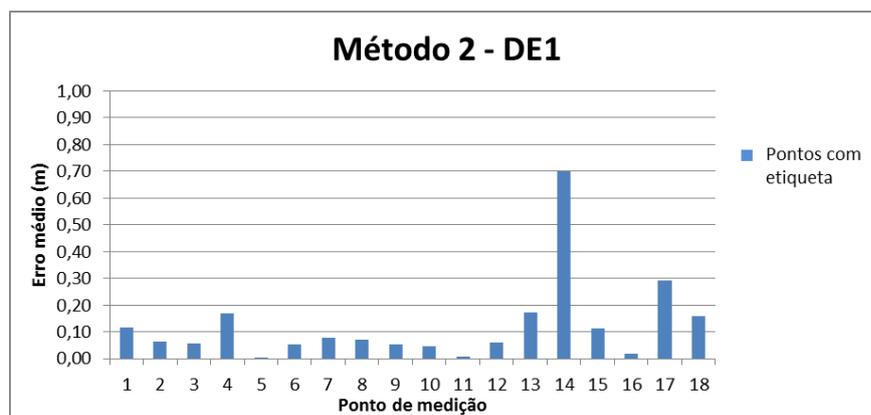


Figura 47 Resultados alcançados com o método 2 para DE1.

Os resultados alcançados com o método 2 para DE2 são mostrados na Figura 48.

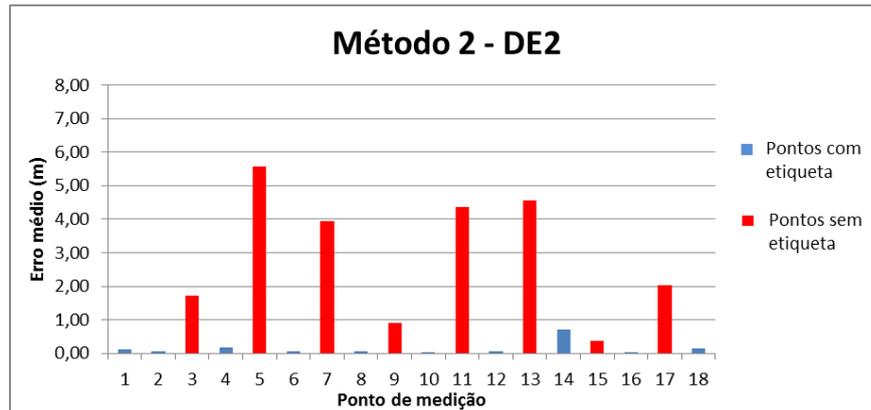


Figura 48 Resultados alcançados com o método 2 para DE2.

Os resultados alcançados com o método 2 para DE3 são mostrados na Figura 49.

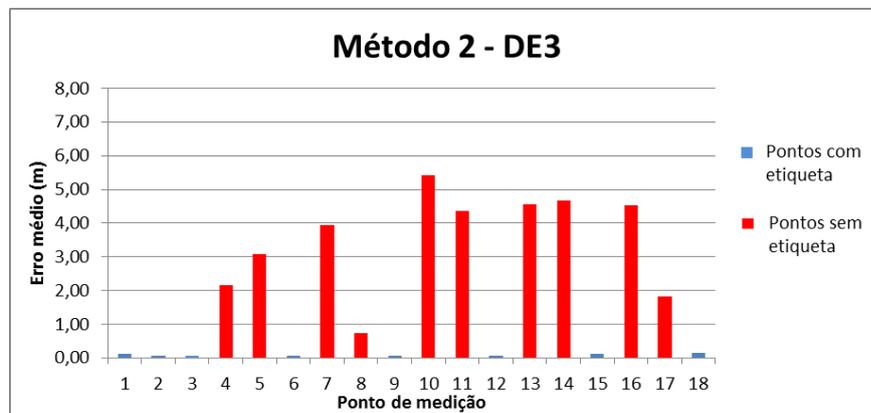


Figura 49 Resultados alcançados com o método 2 para DE3.

Os resultados alcançados com o método 2 para DE4 são mostrados na Figura 50.

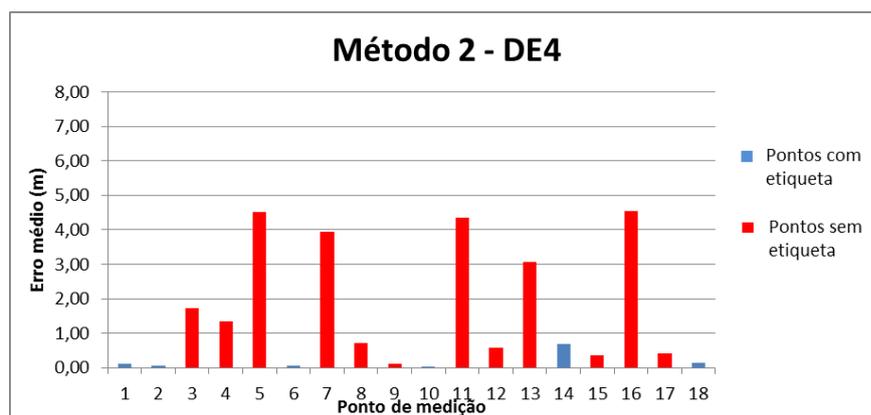


Figura 50 Resultados alcançados com o método 2 para DE4.

Os resultados alcançados com o método 2 para DE5 são mostrados na Figura 51.

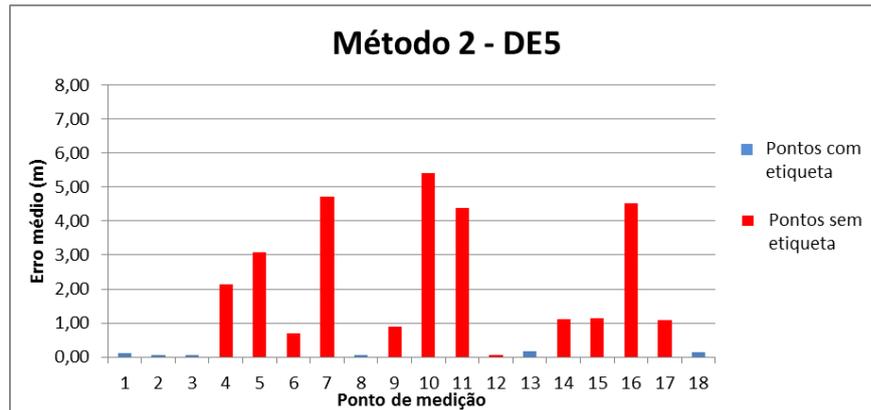


Figura 51 Resultados alcançados com o método 2 para DE5.

A Tabela 5 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 18 pontos de medição nas 5 distribuições de etiquetas.

Tabela 5 Tabela com o resumo do método 2 aplicado nas 5 distribuições de etiquetas.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DE1	0,118	0,063	0,056	0,169	0,000	0,054	0,077	0,071	0,055	0,048	0,008
DE2	0,118	0,063	1,735	0,169	5,576	0,054	3,946	0,071	0,904	0,048	4,364
DE3	0,118	0,063	0,056	2,146	3,083	0,054	3,946	0,727	0,055	5,408	4,368
DE4	0,118	0,063	1,735	1,361	4,519	0,054	3,946	0,727	0,124	0,048	4,364
DE5	0,118	0,063	0,056	2,146	3,083	0,701	4,718	0,071	0,904	5,408	4,386
Pontos	12	13	14	15	16	17	18	Med.	Var.	Inter.	M.s/e
DE1	0,060	0,173	0,699	0,115	0,018	0,293	0,158	0,124	0,026	0,30	-
DE2	0,060	4,568	0,699	0,373	0,018	2,037	0,158	1,387	3,568	0,60	2,938
DE3	0,060	4,568	4,674	0,115	4,534	1,834	0,158	1,998	4,316	0,90	3,529
DE4	0,585	3,070	0,699	0,373	4,534	0,411	0,158	1,494	3,026	1,20	2,146
DE5	0,051	0,173	1,130	1,145	4,534	1,097	0,158	1,663	3,576	1,50	2,442

O segundo método também não aparenta ser eficiente, mesmo levando em consideração que a média dos resultados dos pontos que não possuem etiquetas obteve uma ligeira melhora em relação ao primeiro método, ficando em média um pouco abaixo de 3 m. E, como no primeiro método, o erro médio do sistema não diminuiu com o aumento do intervalo entre as etiquetas.

5.2.3 Método 3

Nos experimentos utilizando o terceiro método, em todas as etiquetas RFID lidas, o parâmetro n é ajustado através da equação 6, e os valores de d_0 e A são armazenados.

Como d_0 e A são armazenados a cada etiqueta lida, tanto faz utilizar a equação 4 ou a equação 6 para calcular a distância, pois os resultados são praticamente os mesmos, conforme mostrado na Tabela 6. No método 2 e 3 o n é ajustado pela equação 6, e como independe da equação que for usada para calcular a distância, esses métodos geram os mesmos resultados.

Vale observar que não está sendo afirmado que a equação 4 é igual à equação 6; o fato é que da maneira como as equações são manipuladas para fazer os cálculos de distância e dos ajustes de parâmetros, acaba-se por produzir os mesmos resultados.

Tabela 6 Tabela comparativa entre os resultados do método 2 e do método 3.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
M2DE3	0,118	0,063	0,056	2,146	3,083	0,054	3,946	0,727	0,055	5,408	4,368
M3DE3	0,116	0,064	0,056	2,153	3,074	0,054	3,914	0,702	0,054	5,408	4,368
Pontos	12	13	14	15	16	17	18	Med.	Var.	Inter.	M.s/e
M2DE3	0,060	4,568	4,674	0,115	4,534	1,834	0,158	1,998	4,316	0,90	3,529
M3DE3	0,050	4,568	4,665	0,114	4,534	1,821	0,158	1,993	4,312	0,90	3,521

5.2.4 Método 4

Nos experimentos utilizando o quarto método, quando a primeira etiqueta RFID é lida, o parâmetro n é ajustado através da equação 6, e os valores de d_0 e A são armazenados. A partir da segunda etiqueta lida, o n é ajustado pela equação 4, e os valores de d_0 e A são armazenados. Em todos os casos, o cálculo da distância é realizado com a equação 4.

Os resultados alcançados com o método 4 para DE1 são mostrados na Figura 52.

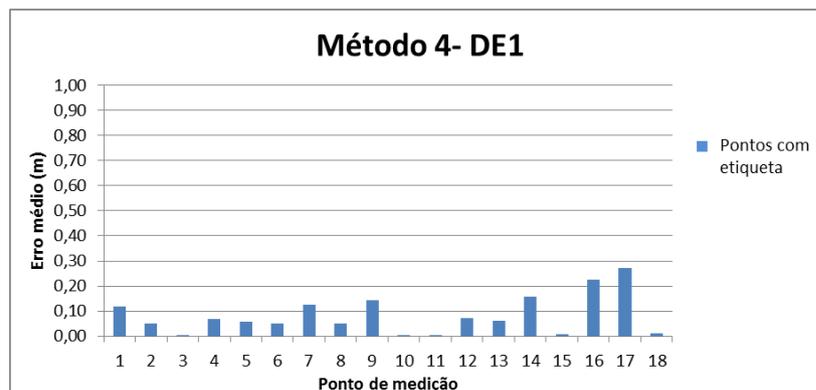


Figura 52 Resultados alcançados com o método 4 para DE1.

Os resultados alcançados com o método 4 para DE2 são mostrados na Figura 53.

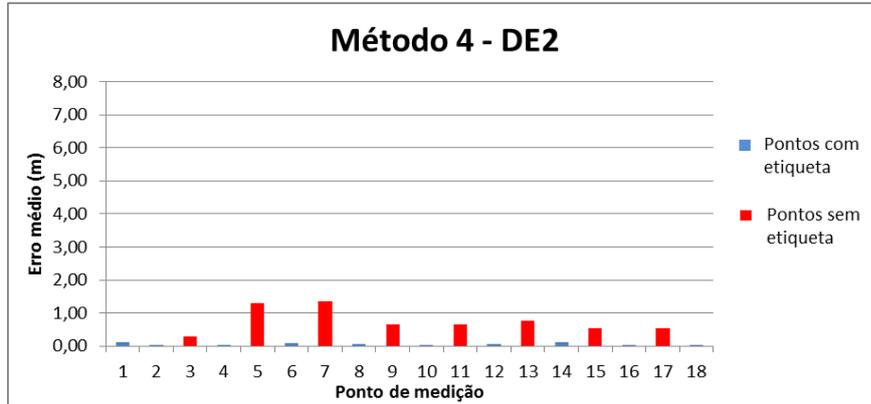


Figura 53 Resultados alcançados com o método 4 para DE2.

Os resultados alcançados com o método 4 para DE3 são mostrados na Figura 54.

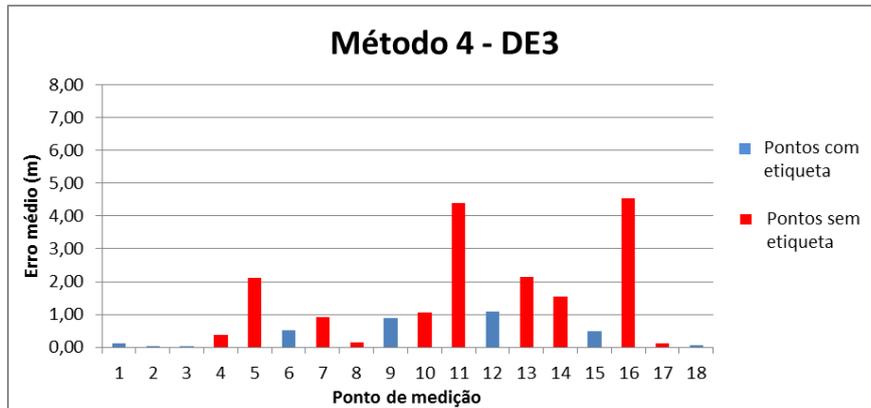


Figura 54 Resultados alcançados com o método 4 para DE3.

Os resultados alcançados com o método 4 para DE4 são mostrados na Figura 55.

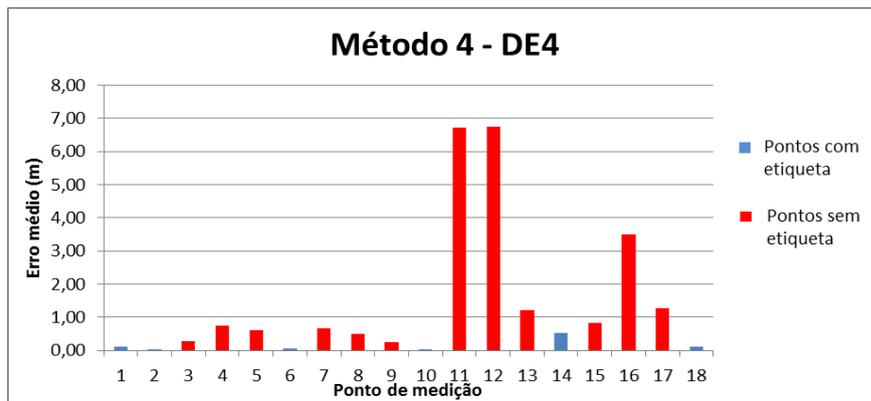


Figura 55 Resultados alcançados com o método 4 para DE4.

Os resultados alcançados com o método 4 para DE5 são mostrados na Figura 56.

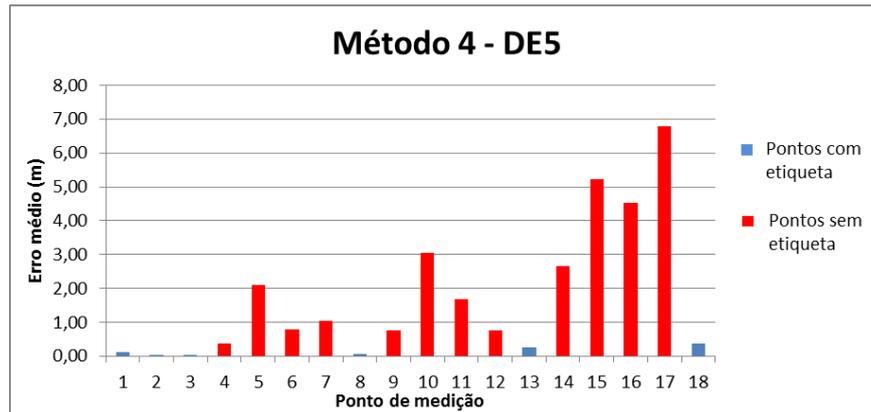


Figura 56 Resultados alcançados com o método 4 para DE5.

A Tabela 7 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 18 pontos de medição nas 5 distribuições de etiquetas.

Tabela 7 Tabela com o resumo do método 4 aplicado nas 5 distribuições de etiquetas.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DE1	0,118	0,050	0,002	0,070	0,056	0,052	0,127	0,052	0,145	0,005	0,001
DE2	0,118	0,050	0,283	0,016	1,304	0,102	1,363	0,058	0,654	0,010	0,645
DE3	0,118	0,050	0,002	0,376	2,108	0,524	0,925	0,141	0,881	1,055	4,386
DE4	0,118	0,050	0,283	0,738	0,618	0,056	0,683	0,503	0,252	0,015	6,718
DE5	0,118	0,050	0,002	0,376	2,108	0,796	1,032	0,060	0,775	3,060	1,692
Pontos	12	13	14	15	16	17	18	Med.	Var.	Inter.	M.s/e
DE1	0,071	0,061	0,158	0,010	0,224	0,271	0,013	0,082	0,006	0,30	-
DE2	0,060	0,753	0,127	0,554	0,004	0,534	0,020	0,370	0,190	0,60	0,761
DE3	1,093	2,136	1,534	0,497	4,534	0,132	0,058	1,142	1,903	0,90	1,733
DE4	6,757	1,230	0,522	0,838	3,505	1,263	0,109	1,348	4,488	1,20	1,949
DE5	0,768	0,254	2,667	5,224	4,534	6,794	0,363	1,704	4,046	1,50	2,485

O quarto método apresentou-se como o melhor entre os métodos analisados. A média dos resultados dos pontos que não possuem etiquetas obteve uma melhora significativa em relação aos outros métodos, ficando em média um pouco abaixo de 2 m. E, agora sim, como o esperado, a exatidão do sistema diminuiu com o aumento do intervalo entre as etiquetas.

5.2.5 Método de ajuste por mínimos quadrados

Nos experimentos utilizando o quinto método, quando a primeira etiqueta RFID é lida, o parâmetro n é ajustado através da equação 6, e os valores de d_0 e A são armazenados e

inseridos em uma tabela. A partir da segunda etiqueta lida, os valores de d_0 e A são novamente armazenados e inseridos em uma tabela, e com os valores da tabela é determinado n e A aplicando a regressão simples por mínimos quadrados. Em todos os casos, o cálculo da distância é realizado com a equação 4. A regressão simples por mínimos quadrados foi baseada no trabalho de (MOTTER *et al.*, 2011).

O quinto método é semelhante ao método tradicional (ver seção 5.2.6), que é frequentemente encontrado na literatura. A diferença do quinto método é fato da calibração dos parâmetros ser realizada *online*, ou seja, no momento em que está sendo feita a localização. Essa questão é diferente do método tradicional onde esses parâmetros são obtidos experimentalmente em uma fase *offline*, ou seja, anteriormente ao processo de localização.

Os resultados alcançados com o método 5 para DE1 são mostrados na Figura 57.

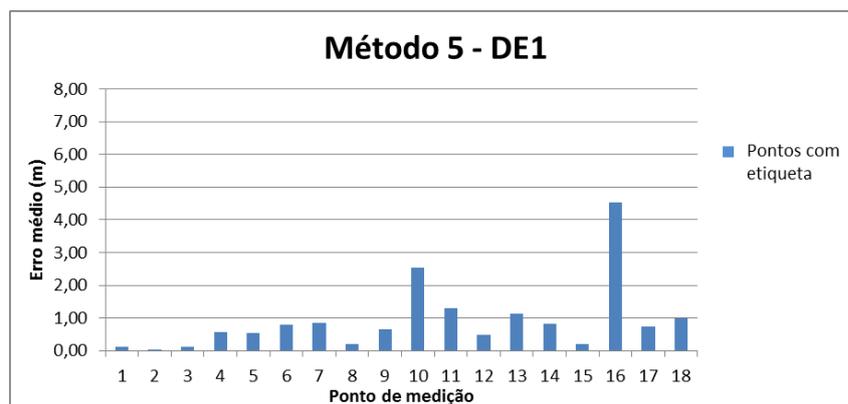


Figura 57 Resultados alcançados com o método 5 para DE1.

Os resultados alcançados com o método 5 para DE2 são mostrados na Figura 58.

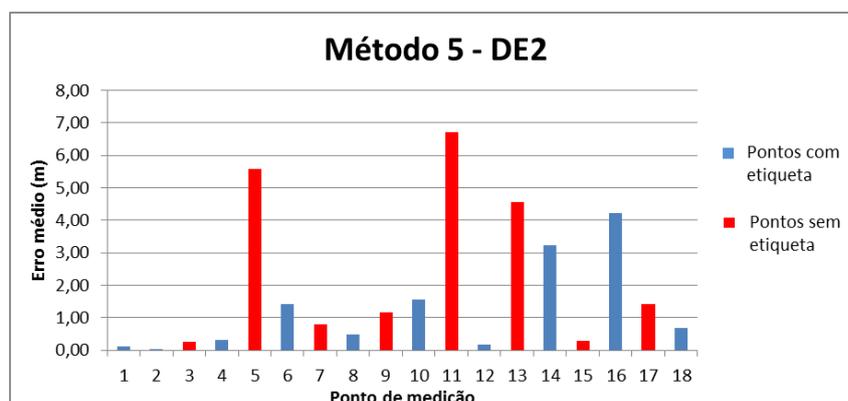


Figura 58 Resultados alcançados com o método 5 para DE2.

Os resultados alcançados com o método 5 para DE3 são mostrados na Figura 59.

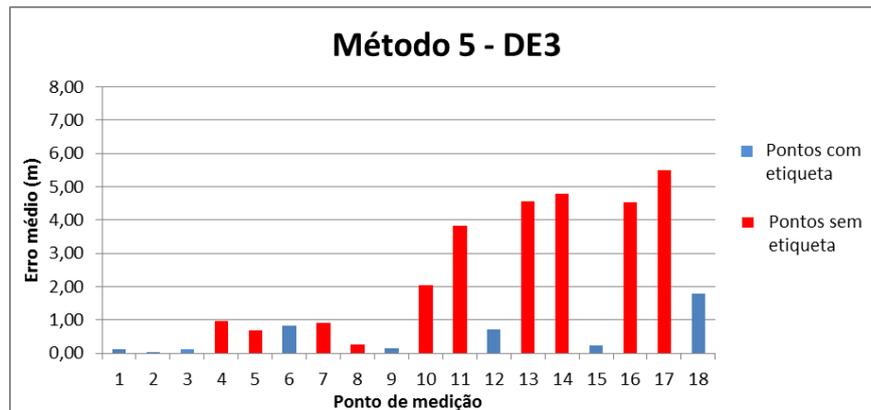


Figura 59 Resultados alcançados com o método 5 para DE3.

Os resultados alcançados com o método 5 para DE4 são mostrados na Figura 60.

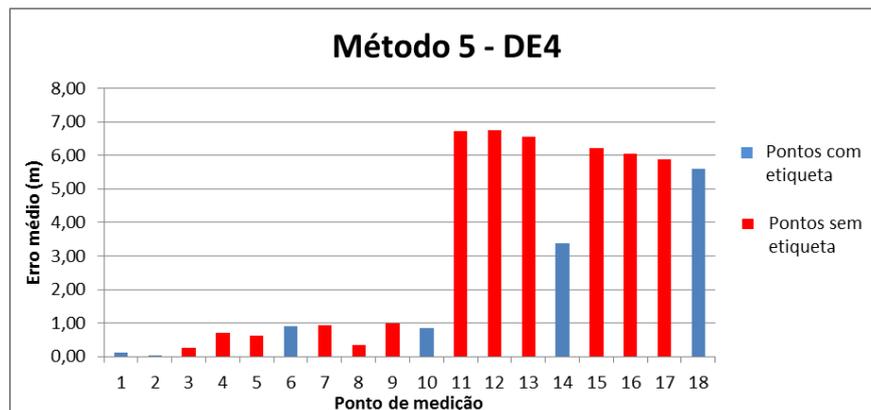


Figura 60 Resultados alcançados com o método 5 para DE4.

Os resultados alcançados com o método 5 para DE5 são mostrados na Figura 61.

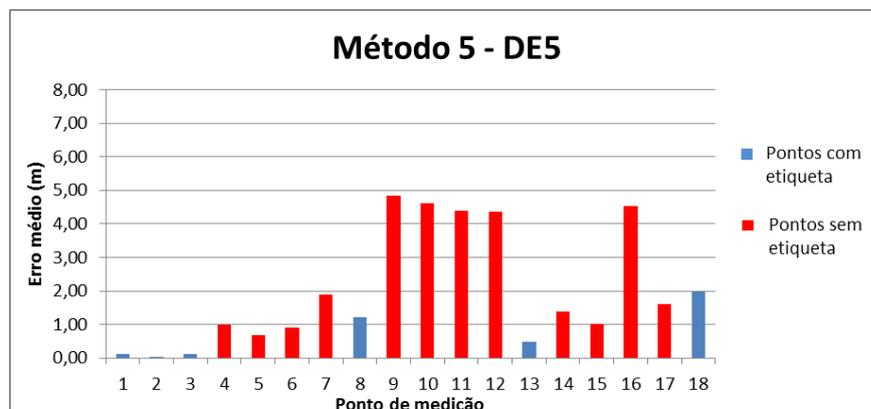


Figura 61 Resultados alcançados com o método 5 para DE5.

A Tabela 8 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 18 pontos de medição nas 5 distribuições de etiquetas.

Tabela 8 Tabela com o resumo do método 5 aplicado nas 5 distribuições de etiquetas.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DE1	0,118	0,025	0,119	0,578	0,529	0,785	0,841	0,199	0,663	2,548	1,288
DE2	0,118	0,025	0,249	0,332	5,575	1,431	0,797	0,491	1,169	1,556	6,718
DE3	0,118	0,025	0,119	0,979	0,681	0,828	0,900	0,276	0,152	2,056	3,816
DE4	0,118	0,025	0,249	0,710	0,614	0,901	0,922	0,353	0,993	0,858	6,718
DE5	0,118	0,025	0,119	0,979	0,681	0,905	1,877	1,218	4,841	4,610	4,386
Pontos	12	13	14	15	16	17	18	Med.	Var.	Inter.	M.s/e
DE1	0,485	1,119	0,832	0,215	4,534	0,731	0,998	0,923	1,152	0,30	-
DE2	0,170	4,568	3,241	0,286	4,209	1,430	0,685	1,836	4,361	0,60	2,599
DE3	0,729	4,568	4,795	0,245	4,534	5,492	1,797	1,784	3,703	0,90	2,810
DE4	6,757	6,557	3,390	6,220	6,046	5,883	5,606	2,940	7,967	1,20	3,502
DE5	4,349	0,472	1,384	1,014	4,534	1,607	1,967	1,949	3,053	1,50	2,597

O quinto método não apresentou melhores resultados que os métodos anteriores. Entretanto, em alguns pontos esse método obteve um resultado mais próximo do real do que os outros métodos.

5.2.6 Método tradicional

O sexto método é o método tradicional encontrado na literatura aplicado no processo de localização utilizando RSSF e o modelo de propagação do sinal RF. Este método depende de uma calibração *offline*, ou seja, uma fase anterior ao processo de localização do alvo. Essa calibração consiste em obter os valores de RSSI em pontos pré-definidos no ambiente, onde a distância até os rádios fixos é conhecida. A partir da informação da distância e do RSSI é aplicada a regressão simples por mínimos quadrados para obter o valor de n e A que representam o ambiente em questão (RODRIGUES, 2011; MOTTER *et al.*, 2011). Em todos os casos, o cálculo da distância é realizado com a equação 4.

Os resultados alcançados com o método 6 para DE1 são mostrados na Figura 62.

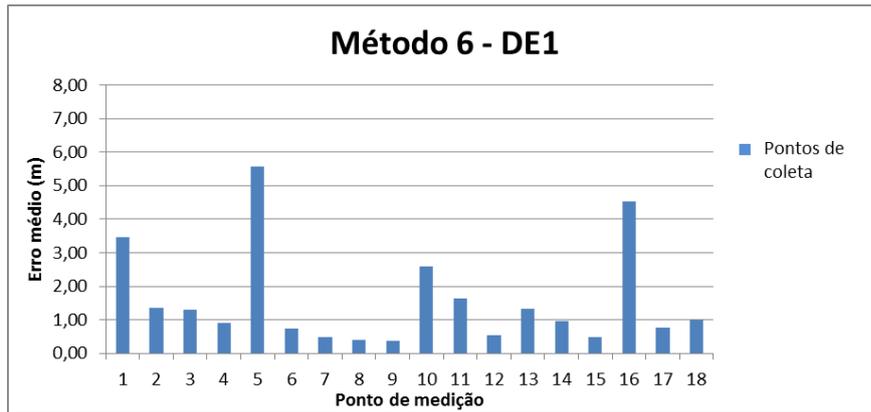


Figura 62 Resultados alcançados com o método 6 para DE1.

Os resultados alcançados com o método 6 para DE2 são mostrados na Figura 63.

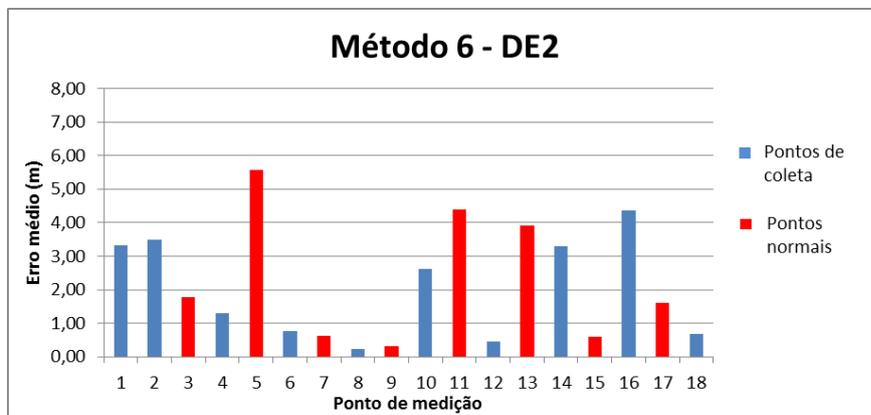


Figura 63 Resultados alcançados com o método 6 para DE2.

Os resultados alcançados com o método 6 para DE3 são mostrados na Figura 64.

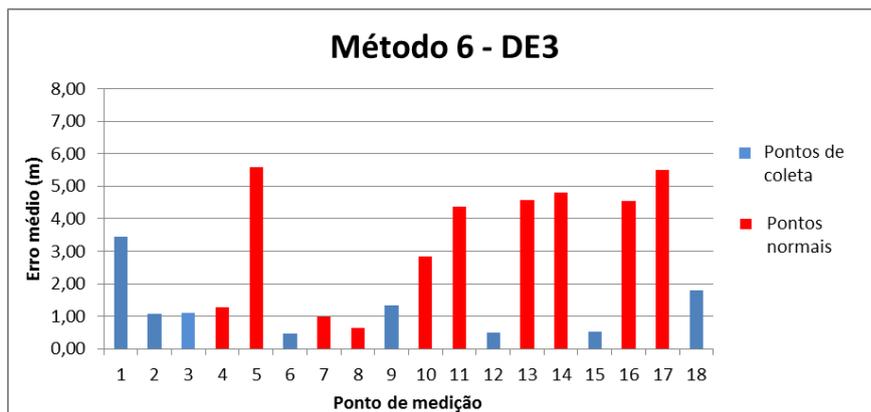


Figura 64 Resultados alcançados com o método 6 para DE3.

Os resultados alcançados com o método 6 para DE4 são mostrados na Figura 65.

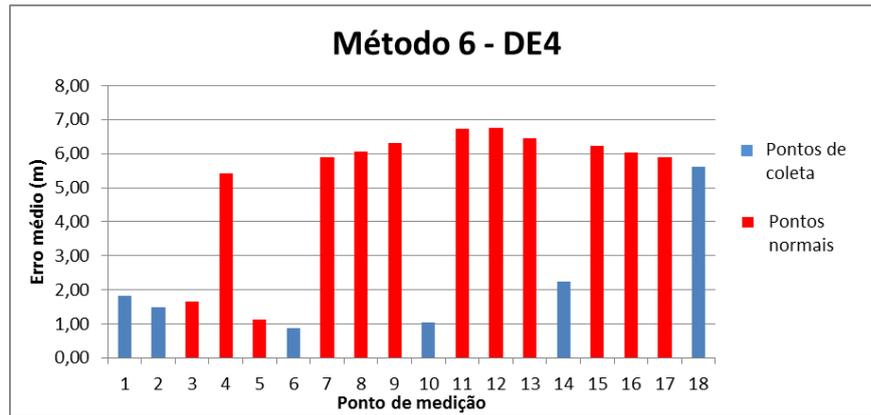


Figura 65 Resultados alcançados com o método 6 para DE4.

Os resultados alcançados com o método 6 para DE5 são mostrados na Figura 66.

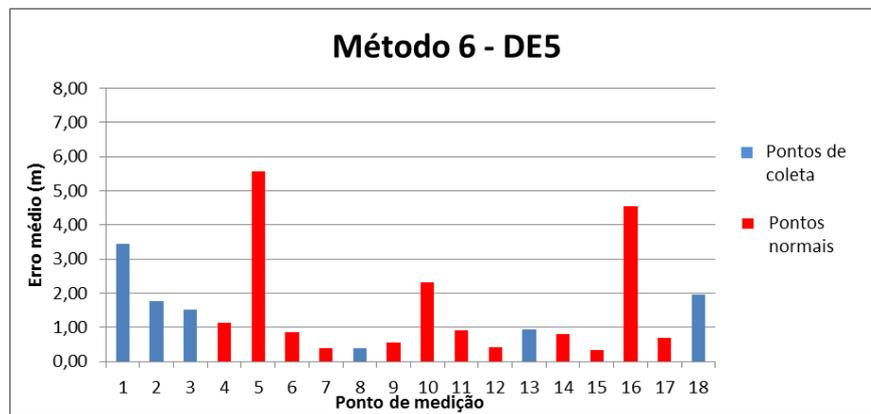


Figura 66 Resultados alcançados com o método 6 para DE5.

A Tabela 9 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 18 pontos de medição nas 5 distribuições de etiquetas.

Tabela 9 Tabela com o resumo do método 6 aplicado nas 5 distribuições de etiquetas.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DE1	3,456	1,367	1,307	0,896	5,576	0,743	0,488	0,392	0,374	2,591	1,625
DE2	3,333	3,496	1,785	1,293	5,576	0,758	0,632	0,241	0,321	2,614	4,386
DE3	3,456	1,081	1,112	1,280	5,576	0,477	0,992	0,630	1,333	2,839	4,386
DE4	1,808	1,474	1,657	5,420	1,123	0,878	5,881	6,069	6,303	1,031	6,718
DE5	3,456	1,767	1,526	1,132	5,576	0,859	0,400	0,399	0,558	2,315	0,913
Pontos	12	13	14	15	16	17	18	Med.	Var.	Inter.	M.s/e
DE1	0,544	1,329	0,952	0,489	4,534	0,759	0,998	1,579	2,254	0,30	-
DE2	0,467	3,917	3,289	0,594	4,364	1,615	0,685	2,187	2,897	0,60	-
DE3	0,500	4,568	4,795	0,528	4,534	5,492	1,797	2,521	3,630	0,90	-
DE4	6,757	6,448	2,251	6,220	6,046	5,883	5,606	4,310	5,660	1,20	-
DE5	0,411	0,942	0,808	0,329	4,534	0,695	1,967	1,588	2,274	1,50	-

O sexto método (tradicional) não apresenta bons resultados em comparação aos outros métodos analisados. Além disso, a tarefa de coleta de dados em vários pontos do ambiente é demorada e exaustiva, e mudanças no ambiente exigem novas calibrações.

Analisando os dados foi possível observar uma questão importante. Diferente do que encontrado em alguns trabalhos na literatura (MOTTER *et al.*, 2011), onde é relatado que quanto maior o número de pontos para a calibração menor será o erro médio do sistema, nos experimentos realizados a escolha dos pontos para a calibração é mais importante que quantidade deles.

O desafio está em determinar quais os pontos serão utilizados. Isso pode ser observado, por exemplo, na comparação entre DE4 e DE5. Ambos utilizaram 6 pontos para a calibração, mas em função da posição dos pontos escolhidos de DE5, este ficou quase 3 vezes mais exato que DE4 (na média). E, também, DE5 foi mais exato que DE2 e DE3, que utilizaram 10 e 8 pontos, respectivamente.

5.2.7 Comparação dos métodos analisados

Nessa seção os métodos analisados são comparados. Para tornar mais clara a comparação é apresentada no mesmo gráfico a média do erro médio dos 18 pontos para cada um dos 6 métodos propostos e para cada uma das 5 distribuições das etiquetas (DE), conforme mostrado na Figura 67. Em suma, a primeira barra do gráfico apresenta a média do erro médio dos 18 pontos aplicando o primeiro método na distribuição das etiquetas 1 (DE1); a segunda barra a média aplicando o segundo método na mesma distribuição, assim sucessivamente até chegar ao sexto método, passar para a próxima distribuição e retornar para o primeiro método. O método 3 não é apresentado, pois produz os mesmos resultados que o método 2 (ver seção 5.2.3).

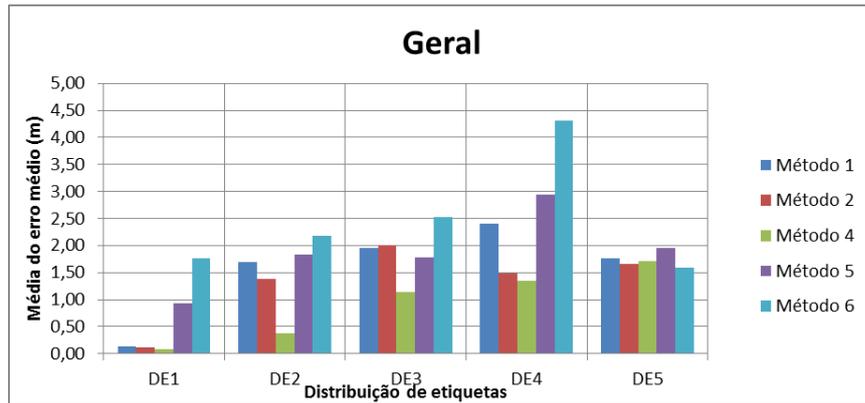


Figura 67 Média de todos os métodos para todas as DE.

Como relatado na seção 5.2.4, o quarto método apresenta os melhores resultados em comparação com os demais. Somente na DE5 o quarto método não é o mais exato, mas nessa distribuição todos os métodos possuem uma média muito próxima uma da outra. E comparando ao método tradicional (método 6), em geral os resultados do método 4 são satisfatoriamente melhorados utilizando apenas algumas etiquetas RFID, e dispensa a tarefa demorada e exaustiva de coletar dados para calibrar o sistema, lembrando que mudanças no ambiente exigem novas calibrações.

Vale observar que os quatro primeiros métodos avaliados realizam a calibração dos parâmetros de uma forma local, ou seja, os parâmetros são ajustados para uma determinada região em que se encontra a etiqueta RFID no ambiente. Diferenciando dessa forma local, o quinto método propõe uma calibração de forma abrangente, ou seja, os parâmetros são ajustados para que atenda todo o ambiente, por isso, na média, os resultados alcançados com esse método não são os melhores.

Após comparar os métodos propostos e verificar que o quarto método produz os melhores resultados, algumas questões foram levantadas, como por exemplo, de que forma um aumento da quantidade de nós na rede influencia na exatidão do sistema, bem como a influência de uma inversão no sentido do percurso da cadeira de rodas nos resultados, e finalmente a influência do leiaute dos nós no desempenho do sistema. Essas questões são analisadas nas próximas seções.

5.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE NÓS DA REDE

Nessa seção é apresentada a análise realizada para verificar de que modo um aumento na quantidade de nós da rede pode influenciar na exatidão do sistema. Para isto realizou-se um experimento utilizando 3 e 4 nós fixos.

No trabalho de (MOTTER *et al.*, 2011) relata-se que utilizar os maiores valores de RSSI e excluir os piores (menores), neste caso utilizar 3 dos 4 valores de RSSI obtidos dos nós fixos da rede, pode gerar estimativas de posição mais próximas da posição real do alvo. Essa técnica também é avaliada neste trabalho.

A suposição apresentada em (MOTTER *et al.*, 2011) se baseia na equação logarítmica do modelo de propagação do sinal RF, pois quanto menor o valor do RSSI maior é o passo (resolução) do resultado do cálculo da distância entre um dBm e o outro.

Para facilitar a compreensão da questão levantada em (MOTTER *et al.*, 2011), toma-se como base um exemplo com valores reais: seja n igual a 2,8, d_0 igual a 1 m e A igual a -28 dBm, aplicando a equação 4 para valores de RSSI próximos a zero, como por exemplo, -32 dBm e -33 dBm, as distâncias resultantes são 1,39 m e 1,51 m, respectivamente; já para valores de RSSI mais afastados do zero, como por exemplo, -62 dBm e -63 dBm, as distâncias resultantes são 16,38 m e 17,78 m, respectivamente. Observa-se que no primeiro caso a diferença entre as distâncias resultantes para a variação de 1 dBm (passo) é de 0,12 m, inferior à diferença para a mesma variação do RSSI do segundo caso, de 1,4 m.

Com isso, conclui-se que quanto menor o valor do RSSI menor a diferença entre as distâncias resultantes para a variação de 1 dBm, o que implica em um menor impacto na estimação da posição do alvo utilizando a técnica de lateração, uma vez que, neste caso, a variação de 1 dBm é pouco sentida pela técnica de lateração, pois a diferença entre as distâncias resultantes é pouco significativa.

O ambiente utilizado para a realização desses experimentos é o mesmo das análises anteriores. Entretanto, a distribuição das etiquetas tem um novo leiaute, como pode ser visto na Figura 68. A distribuição das etiquetas foi modificada em relação às análises anteriores com o intuito de avaliar, além da influência da quantidade de nós da rede no desempenho do sistema, a capacidade do sistema localizar alvos fora da área formada pelos nós fixos da RSSF. Essa avaliação é raramente encontrada na literatura, por este motivo foi analisada neste trabalho.

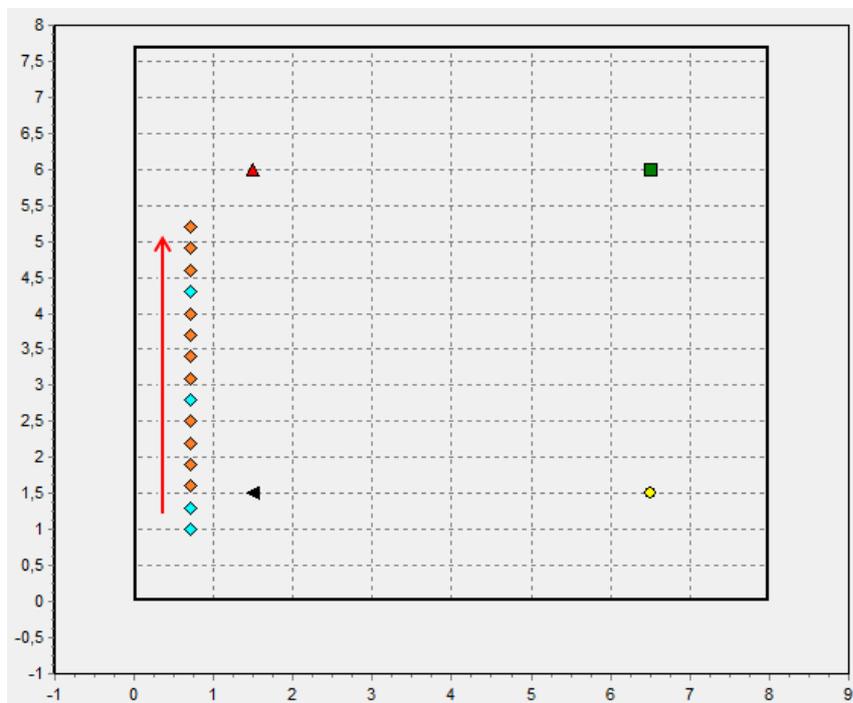


Figura 68 Distribuição das etiquetas para a análise da quantidade de nós da rede.

Os experimentos realizados nesta análise possuem 15 pontos de coleta, sendo 4 pontos com etiqueta RFID. O intervalo (espaçamento) entre os pontos de coleta é de 30 cm, e entre as etiquetas é de 1,5 m. Os experimentos iniciam na coordenada $x=0,7$ e $y=1$, e seguem até a coordenada $x=0,7$ e $y=5,2$. Os 15 pontos e suas respectivas posições são apresentados na Tabela 10.

Vale lembrar que o quarto nó da rede é o triângulo preto, logo, na avaliação dos 3 nós, é este nó que não participa dos cálculos de estimação da posição da cadeira de rodas.

Tabela 10 Tabela com os 15 pontos e suas respectivas posições.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8
Eixo X	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Eixo Y	1,00	1,30	1,60	1,90	2,20	2,50	2,80	3,10
Pontos	9	10	11	12	13	14	15	
Eixo X	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
Eixo Y	3,40	3,70	4,00	4,30	4,60	4,90	5,20	

Para avaliar a influência da quantidade de nós da rede na exatidão do sistema foram realizadas duas análises para o mesmo cenário, a primeira utilizando o método 4 e a segunda utilizando o método tradicional. Na primeira análise, a distribuição das etiquetas está de acordo com a Figura 68, onde o intervalo entre as etiquetas é de 1,5 m (exceto entre as duas primeiras etiquetas que é de 30 cm).

Já na segunda análise (aplicando o sistema tradicional) foram utilizados os parâmetros experimentais n e A obtidos ainda nos experimentos relatados na seção 5.2.6, pois se trata do mesmo ambiente. Foi realizada uma tentativa de obter os parâmetros experimentais a partir dos pontos de coleta do cenário utilizado nesta análise (ver Figura 68). Entretanto, os parâmetros obtidos não puderam ser utilizados, pois não condizem com as características do ambiente, gerando estimativas de posição inexatas, praticamente errôneas.

Uma explicação plausível para o fato de não ser possível utilizar os parâmetros obtidos neste cenário não é trivial. Uma possível explicação seria o fato dos nós fixo 1 e 2 (quadrado verde e círculo amarelo, respectivamente) estarem muito afastados da cadeira de rodas, pois os parâmetros obtidos para esses dois nós fixos não são condizentes com a realidade do ambiente e com os parâmetros obtidos nas análises anteriores.

Uma comparação dos resultados obtidos com o uso de 3 nós fixos e com 4 nós fixos é apresentada na Figura 69. Esta figura também apresenta os resultados obtidos quando 4 nós fixos são utilizados, mas apenas os 3 nós com maior valor de RSSI são utilizados na estimativa de posição. Vale lembrar que os pontos com etiquetas são o 1, 2, 7 e 12.

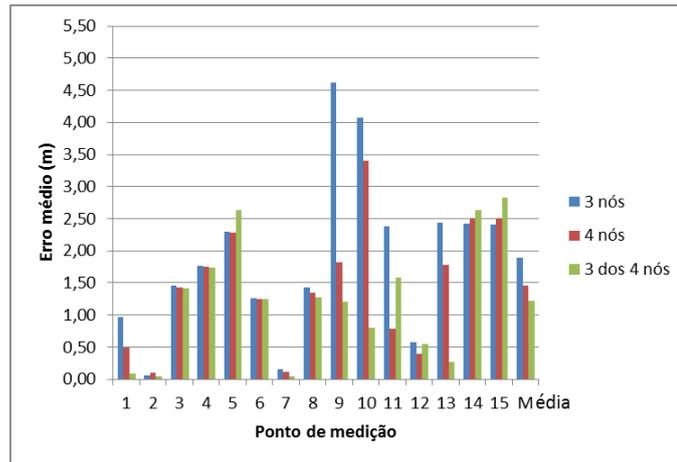


Figura 69 Primeira análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós.

A Tabela 11 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 15 pontos de medição da primeira análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós.

Tabela 11 Tabela com o resumo da primeira análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3 nós	0,963	0,051	1,454	1,765	2,294	1,263	0,152	1,429	4,621
4 nós	0,485	0,104	1,435	1,755	2,288	1,253	0,110	1,340	1,818
3 de 4	0,089	0,050	1,416	1,744	2,635	1,251	0,041	1,276	1,202
Pontos	10	11	12	13	14	15	Med.	Var.	M.s/e
3 nós	4,071	2,378	0,575	2,434	2,424	2,408	1,886	1,662	2,413
4 nós	3,408	0,789	0,394	1,778	2,500	2,500	1,464	0,944	1,897
3 de 4	0,799	1,579	0,553	0,262	2,633	2,824	1,224	0,900	1,602

Nessa análise pode-se perceber que o acréscimo de um nó na rede resultou em uma redução no erro médio do sistema, como era esperado. A utilização de 4 nós resulta em um erro médio menor em comparação com a utilização de 3 nós em praticamente todos os pontos. E, neste caso, a utilização de 3 dos 4 nós que possuem o maior valor de RSSI resulta no sistema mais exato (na média) entre as 3 técnicas propostas. Vale lembrar que -15 dBm (sinal ótimo) representa a menor distância possível entre transmissor e receptor, e -100 dBm (sinal ruim) a maior distância possível.

Com intuito de reforçar a investigação, uma segunda análise é realizada utilizando o método tradicional. Os parâmetros n e A são os mesmos obtidos no experimento DE1 relatados na seção 5.2.6.

A segunda análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós pode ser observada no gráfico da Figura 70.

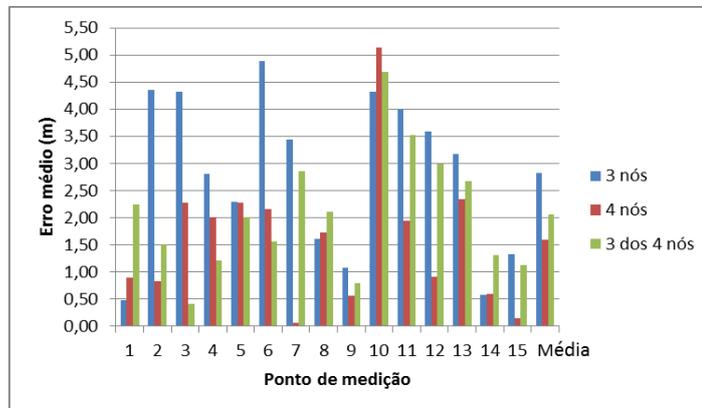


Figura 70 Segunda análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós.

A Tabela 12 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 15 pontos de medição da segunda análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós.

Tabela 12 Tabela com o resumo da segunda análise utilizando 3 nós, 4 nós e 3 dos 4 nós.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3 nós	0,477	4,355	4,318	2,807	2,294	4,892	3,444	1,616	1,075
4 nós	0,894	0,834	2,275	2,003	2,269	2,163	0,059	1,727	0,552
3 de 4	2,243	1,501	0,403	1,211	2,001	1,550	2,862	2,115	0,784
Pontos	10	11	12	13	14	15	Med.	Var.	M.s/e
3 nós	4,326	4,002	3,588	3,172	0,576	1,327	2,818	2,227	-
4 nós	5,128	1,938	0,903	2,334	0,590	0,147	1,588	1,619	-
3 de 4	4,683	3,527	2,993	2,665	1,308	1,128	2,065	1,289	-

Nessa segunda análise nota-se novamente que o acréscimo de um nó na rede resultou em um aumento da exatidão do sistema, como na primeira análise. A utilização de 4 nós resulta em um erro médio menor em comparação com a utilização de 3 nós em 10 dos 15 pontos. E, neste caso, a utilização de 3 dos 4 nós que possuem o maior valor de RSSI resulta em um sistema menos exato em comparação com a utilização dos 4 nós, mas seu desempenho continua superior em relação ao sistema utilizando apenas 3 nós fixos.

Conclui-se com a investigação dessa seção que o aumento na quantidade de nós na rede produz uma redução no erro médio do sistema. E, possivelmente como ocorre em (HONKAVIRTA *et al.*, 2009), na investigação da quantidade de pontos de acesso para um

sistema de localização utilizando WLAN e análise de cenário, depois de um determinado limiar não ocorre nenhuma melhora no sistema com a adição de mais nós.

A suposição relatada em (MOTTER *et al.*, 2011), de que utilizar os maiores valores de RSSI obtidos dos nós fixos da rede pode gerar estimativas de posição mais próximas da posição real do alvo, é verificada nas duas análises quando essa técnica é comparada com a utilização de 3 nós fixos na rede. Entretanto, não se observa a mesma situação quando se compara com o sistema utilizando 4 nós fixos na rede. Neste caso, os resultados alcançados com a técnica de 3 dos 4 nós nem sempre são melhores que os resultados utilizando 4 nós fixos. Vale salientar que deveria ser realizado um número maior de experimentos para afirmar essas suposições com base científica.

5.4 ANÁLISE DO SENTIDO DO PERCURSO

Nessa seção é apresentada a análise realizada para verificar a influência do corpo humano (neste caso, o usuário da cadeira de rodas) em relação ao sentido de deslocamento da cadeira de rodas. Nesta análise observam-se os valores de RSSI coletados e, conseqüentemente, a posição estimada pelo método de localização proposto.

Essa análise se faz necessária em função da cadeira de rodas não ser simétrica e da posição onde o nó móvel é instalado na cadeira (ver Figura 82). Com essas características é de se esperar que haja diferença nos resultados e este experimento visa confirmar esta hipótese.

Primeiramente, o ambiente utilizado para a realização desses experimentos é o mesmo das análises anteriores. Entretanto, a distribuição das etiquetas tem um novo leiaute, como pode ser visto na Figura 71 e 72. Para avaliar a influência do sentido de deslocamento da cadeira, o primeiro caminho seguido para realizar as medições tem um sentido negativo, e o segundo caminho tem um sentido positivo, ou seja, os sentidos são opostos, como pode ser visto na Figura 71 e 72, respectivamente.

Os experimentos nesta análise utilizam o quarto método, por ter sido considerado o melhor entre os métodos avaliados. Nos experimentos foram utilizados 15 pontos de coleta, onde 5 pontos possuem etiquetas RFID (com intervalo de 1,2 m entre elas, exceto entre as duas primeiras, que é de 30 cm). O ponto inicial no sentido positivo está na coordenada $x=2$ e $y=3$, e os pontos “seguem para a direita” até a coordenada $x=6,2$ e $y=3$, respeitando um intervalo entre pontos de 30 cm. No sentido negativo, o ponto inicial e final são invertidos.

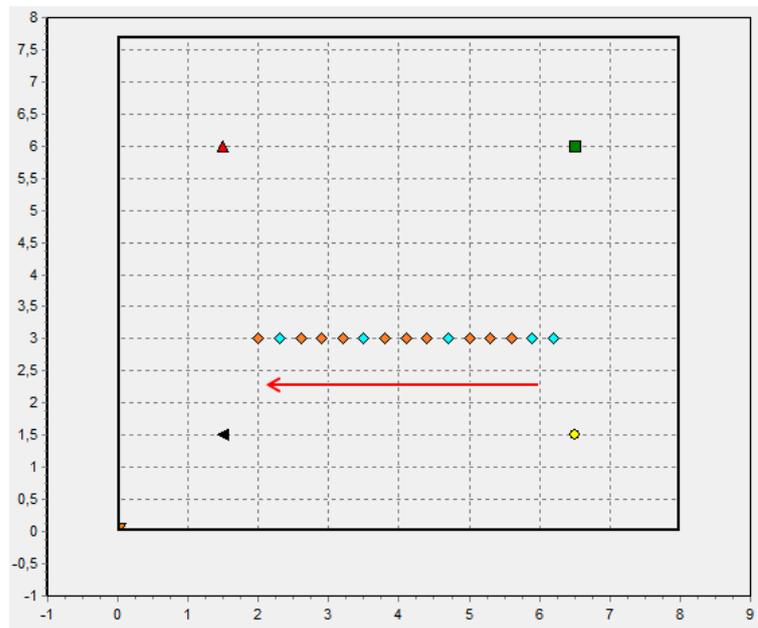


Figura 71 Sentido negativo na análise do sentido do percurso.

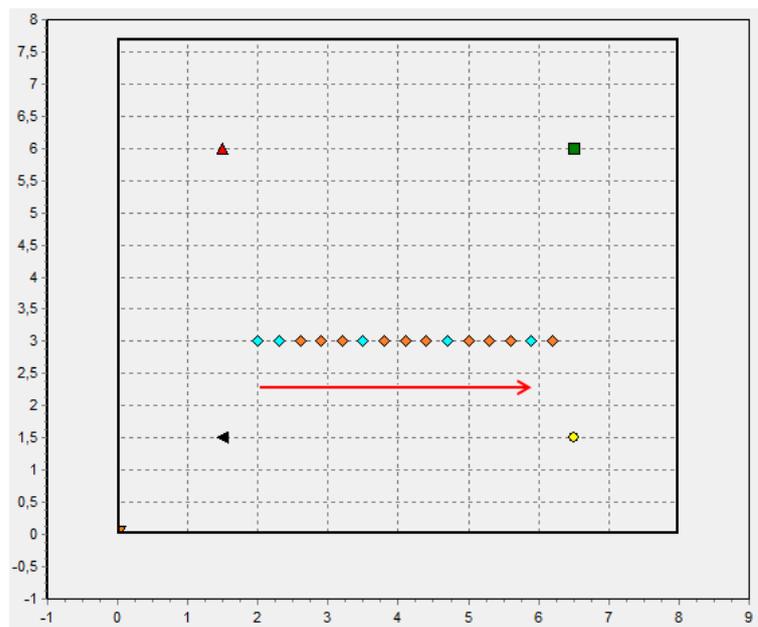


Figura 72 Sentido positivo na análise do sentido do percurso.

A Tabela 13 apresenta os 15 pontos e suas respectivas posições no sentido positivo. No sentido negativo, o ponto e sua respectiva posição é mantida para facilitar a comparação. Entretanto, as posições das etiquetas são diferentes nos extremos.

Tabela 13 Tabela com os 15 pontos e suas respectivas posições.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8
Eixo X	2,00	2,30	2,60	2,90	3,20	3,50	3,80	4,10
Eixo Y	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Pontos	9	10	11	12	13	14	15	
Eixo X	4,4	4,7	5,00	5,30	5,60	5,90	6,20	
Eixo Y	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	

Nesta análise algumas questões são observadas, como, por exemplo, os valores de n para o mesmo ponto e sentido diferente, uma vez que a distância de referência (d_0) e o RSSI de referência (A) são diferentes nos extremos para cada sentido, pois as posições das etiquetas são diferentes nos extremos.

Os resultados alcançados nesta análise da influência do sentido do percurso podem ser observados no gráfico da Figura 73. Vale lembrar que os pontos com etiquetas para o sentido negativo são o 15, 14, 10, 6 e 2, e para o sentido positivo são o 1, 2, 6, 10 e 14.

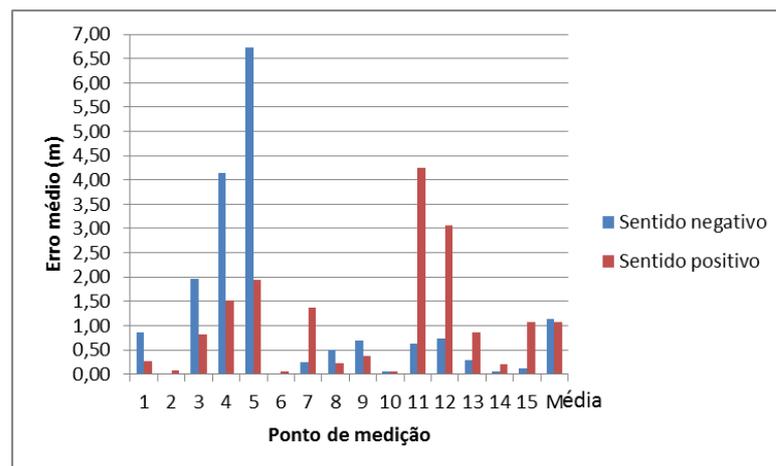


Figura 73 Resultados alcançados na análise da influência do sentido do percurso.

A Tabela 14 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 15 pontos de medição da análise da influência do sentido do percurso.

Tabela 14 Tabela com o resumo da análise da influência do sentido do percurso.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sent. -	0,870	0,007	1,952	4,137	6,718	0,015	0,252	0,503	0,683
Sent. +	0,260	0,070	0,819	1,511	1,937	0,058	1,374	0,232	0,370
Pontos	10	11	12	13	14	15	Med.	Var.	M.s/e
Sent. -	0,056	0,618	0,738	0,283	0,050	0,118	1,133	3,526	1,675
Sent. +	0,064	4,243	3,054	0,856	0,213	1,063	1,075	1,483	1,546

Inicialmente, o que se pode concluir com essa análise é que o sentido do percurso em que a cadeira de rodas segue não produz grande impacto em relação à exatidão do sistema proposto neste trabalho, quando se avalia a média do erro médio dos 15 pontos, pois o sistema se adapta a essas condições.

Entretanto, os valores de RSSI são diferentes para cada sentido testado. E, em consequência, os parâmetros calculados também são diferentes. A tabela 15 apresenta os valores de RSSI do ponto 2 para ambos os sentidos.

Tabela 15 Tabela com os valores de RSSI do ponto 2 para ambos os sentidos.

Ponto 2	Gateway	Fixo 1	Fixo 2	Fixo 3
Sentido -	-49	-49	-42	-47
Sentido +	-38	-56	-53	-39

Uma questão interessante observada nesta análise é que quando o cadeirante encontra-se de frente para os 2 nós fixos, seja eles os nós *gateway* e fixo 3 (triângulo vermelho e triângulo preto, respectivamente, na Figura 71) no sentido negativo ou os nós fixos 2 e 3 (quadrado verde e círculo amarelo, respectivamente, na Figura 72) no sentido positivo, e na medida em que a cadeira se aproxima desses nós, o parâmetro n varia com maior intensidade de um ponto para o outro, ou seja, as condições do ambiente que o parâmetro n representa nessas regiões sofre uma grande variação em uma curta distância de um ponto para o outro, o que demandaria a colocação de mais etiquetas nestas regiões.

Essa variação do parâmetro n não ocorre pela flutuação do RSSI em um mesmo ponto, e sim pela necessidade de atualizar com mais frequência (menor intervalo entre etiquetas) os parâmetros do sistema, pois as características do ambiente são peculiares nessas regiões. Essa

questão fica mais clara quando são invertidos os resultados do experimento do sentido negativo e comparados com os resultados do sentido positivo, como observado na Figura 74.

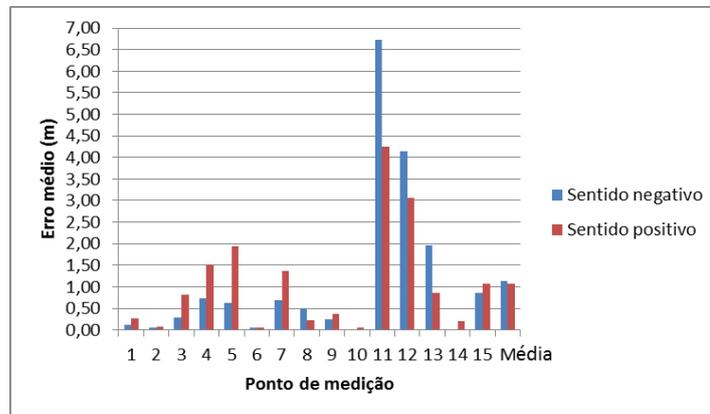


Figura 74 Resultados do experimento com o sentido negativo invertido.

5.5 ANÁLISE DO LEIAUTE DA REDE

Nessa seção é apresentada a análise realizada para verificar se o leiaute dos nós da rede influencia no desempenho do sistema de localização proposto. Para isso, dois leiautes dos nós foram experimentados. O primeiro leiaute, já utilizado nas outras análises, possui formato de retângulo, e o segundo possui o formato de losango. O ambiente de testes é o mesmo das análises anteriores e o quarto método continua sendo utilizado para a determinação dos parâmetros.

O primeiro leiaute já foi apresentado anteriormente, mas vale lembrar que o nó *gateway* está na posição $x=1,5$ e $y=6,0$, o nó fixo 1 está em $x=6,5$ e $y=6,0$, o nó fixo 2 está em $x=6,5$ e $y=1,5$, e o nó fixo 3 está em $x=1,5$ e $y=1,5$.

No segundo leiaute, no formato de losango, o nó *gateway* está na posição $x=4,0$ e $y=6,0$, o nó fixo 1 está em $x=6,5$ e $y=4,0$, o nó fixo 2 está em $x=4,0$ e $y=2,0$, e o nó fixo 3 está em $x=1,5$ e $y=4,0$. O leiaute em formato de losango pode ser visto na Figura 75.

Para avaliar a questão do leiaute dos nós da rede são realizados dois testes com distribuições de etiquetas diferentes. A primeira distribuição (1DE) é a mesma da Figura 71,

para o leiaute dos nós no formato de retângulo. Essa mesma distribuição de etiquetas com o leiaute dos nós no formato de losango é apresentado na Figura 75.

Os resultados alcançados na análise com a primeira distribuição de etiquetas e para os dois leiautes dos nós da rede podem ser observados no gráfico da Figura 76. Vale lembrar que para essa distribuição de etiquetas o percurso inicia no ponto 15 e termina no ponto 1.

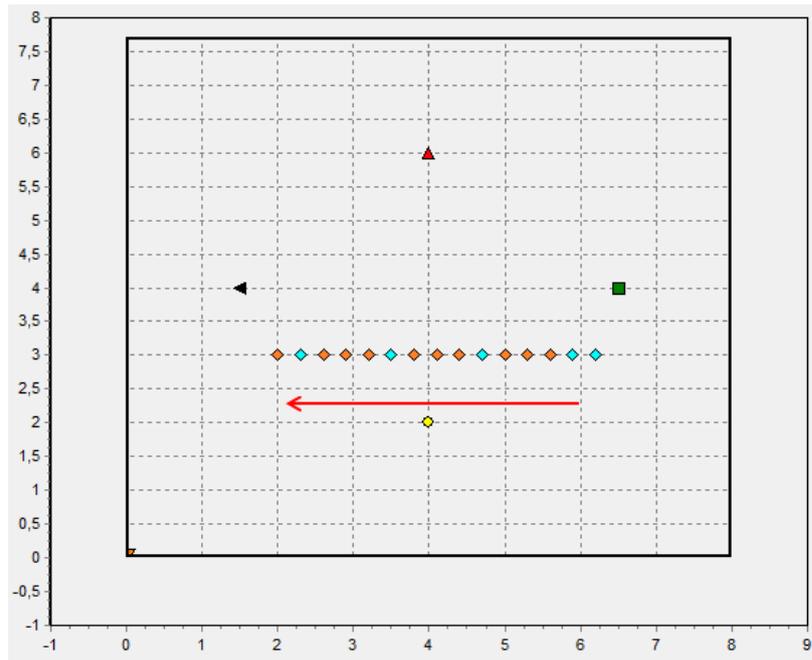


Figura 75 Leiaute no formato de losango com a primeira distribuição de etiquetas.

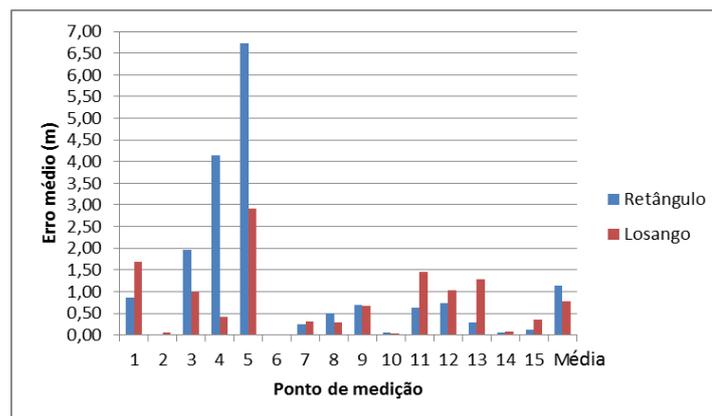


Figura 76 Resultados alcançados na primeira análise com os dois leiautes dos nós da rede.

Para o teste com a segunda distribuição de etiquetas (2DE), as etiquetas foram organizadas de tal forma que algumas ficassem fora da área formada pelos nós fixos da rede, tanto para o leiaute no formato de retângulo quanto para o leiaute no formato de losango.

Nesses experimentos foram utilizados 15 pontos de coleta, onde 5 pontos possuem etiquetas RFID (com intervalo de 1,2 m entre elas, exceto entre as duas primeiras, que é de 30 cm), como nas últimas análises. O ponto inicial está na coordenada $x=3$ e $y=0,7$, e os pontos “sobem” até a coordenada $x=3$ e $y=4,9$, respeitando um intervalo entre pontos de 30 cm. A segunda distribuição das etiquetas com o leiaute dos nós no formato de retângulo e de losango é apresentada na Figura 77 e 78, respectivamente.

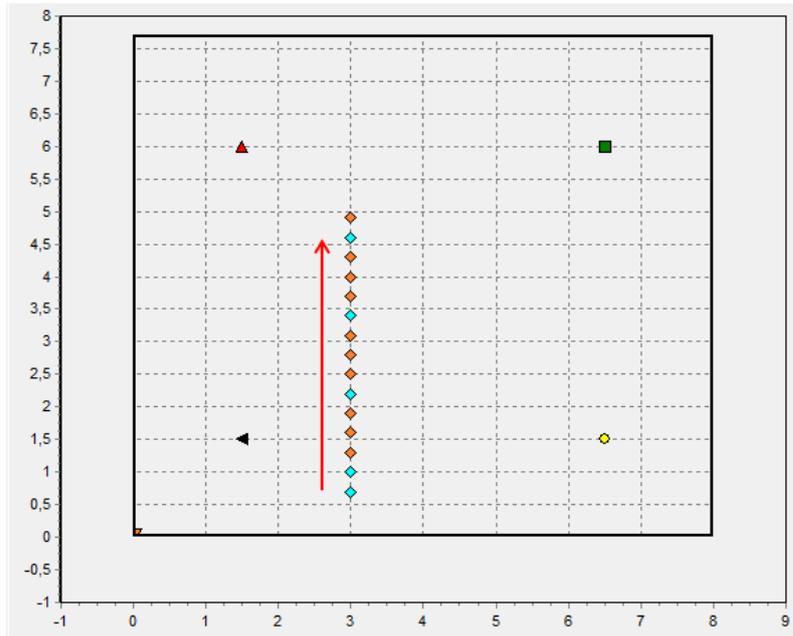


Figura 77 Leiaute no formato de retângulo com a segunda distribuição de etiquetas.

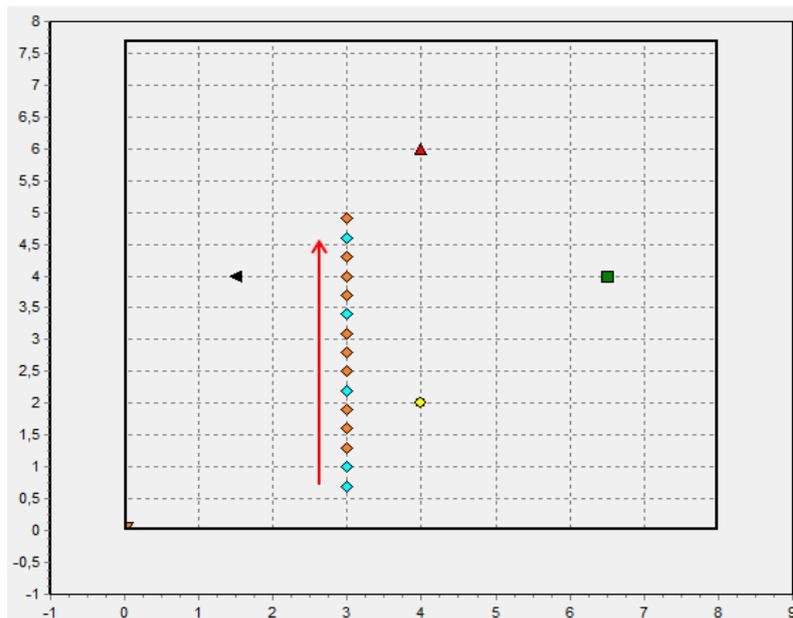


Figura 78 Leiaute no formato de losango com a segunda distribuição de etiquetas.

A Tabela 16 apresenta os 15 pontos e suas respectivas posições.

Tabela 16 Tabela com os 15 pontos e suas respectivas posições.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8
Eixo X	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Eixo Y	0,70	1,00	1,30	1,60	1,90	2,20	2,50	2,80
Pontos	9	10	11	12	13	14	15	
Eixo X	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	
Eixo Y	3,10	3,40	3,70	4,00	4,30	4,60	4,90	

Os resultados alcançados na análise com a segunda distribuição de etiquetas e para os dois leiautes dos nós da rede podem ser observados no gráfico da Figura 79.

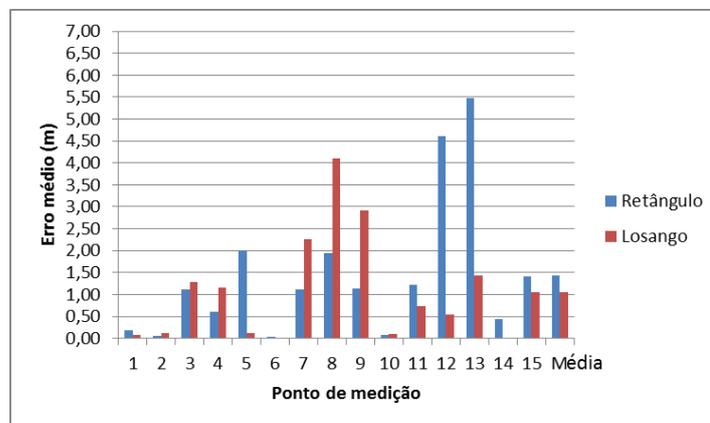


Figura 79 Resultados alcançados na segunda análise com os dois leiautes dos nós da rede.

A Tabela 17 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 15 pontos de medição da primeira e da segunda distribuição de etiquetas para ambos os leiautes dos nós da rede.

Tabela 17 Tabela com o resumo da análise do leiaute da rede.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1DE Ret	0,870	0,007	1,952	4,137	6,718	0,015	0,252	0,503	0,683
1DE Los	1,678	0,055	0,978	0,421	2,921	0,018	0,306	0,282	0,679
2DE Ret	0,189	0,055	1,123	0,610	2,005	0,026	1,110	1,943	1,136
2DE Los	0,076	0,113	1,292	1,154	0,123	0,010	2,263	4,104	2,919
Pontos	10	11	12	13	14	15	Med.	Var.	M.s/e
1DE Ret	0,056	0,618	0,738	0,283	0,050	0,118	1,133	3,526	1,675
1DE Los	0,045	1,463	1,030	1,291	0,071	0,357	0,773	0,654	1,105
2DE Ret	0,085	1,220	4,618	5,470	0,439	1,416	1,430	2,591	2,065
2DE Los	0,088	0,728	0,540	1,440	0,014	1,061	1,062	1,474	1,562

Analisando os resultados de ambas as análises com distribuições de etiquetas diferentes, o leiaute no formato de losango favoreceu o sistema de localização melhorando a exatidão do mesmo. Não é possível afirmar que para todas as situações o leiaute em losango é melhor que o em retângulo, seria necessário um número maior de experimentos para fazer essa afirmação. Além disso, muitos trabalhos têm abordado o problema da relação entre qualidade de localização e configuração geométrica dos nós, tais como em (RODRIGUES, 2011). Por esse motivo, a escolha do melhor leiaute para localização é um desafio nesta área.

Entretanto, é possível reafirmar o que foi dito no final da seção 5.4, que quando o cadeirante encontra-se de frente para os 2 nós fixos, quanto mais próximo a cadeira chega dos nós fixos, maior é a necessidade de colocar mais pontos com etiqueta, pois o parâmetro n varia com maior intensidade de um ponto para o outro, devido às características do ambiente que são peculiares nessas regiões. Chega-se nessa conclusão novamente observando os resultados dos pontos 11, 12, 13, 14 e 15 da segunda distribuição de etiquetas com o leiaute dos nós em retângulo (ver Figura 79), onde o cadeirante fica de frente para os nós *gateway* e nó fixo 1, e se aproxima dos mesmos (ver Figura 77).

5.6 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso deste projeto consiste na aplicação do sistema de localização com o melhor método proposto numa aplicação de “Tecnologias Assistivas”, na qual a posição de uma cadeira de rodas automatizada inserida em um ambiente inteligente é estimada, permitindo ao sistema de automação o controle de variáveis como iluminação do ambiente, temperatura, etc. para o cadeirante.

Com base no contexto apresentado, foram realizados experimentos na sala 301-A do prédio da Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Esta sala possui um sistema de automação predial da empresa Homesystems (HOMESYSTEMS,

2013) e foi projetada para automatizar alguns cenários de situações cotidianas de aula, como por exemplo, quando o professor chega à sala para lecionar, o sistema reconhece-o através de um leitor biométrico junto à porta de entrada, e ajusta todo o ambiente de acordo com as preferências do professor, controlando a temperatura do ar condicionado, a intensidade da iluminação, a escolha de quais lâmpadas serão ligadas, entre outras funções (PEROZZO, 2011).

Outra funcionalidade importante do sistema de automação da sala 301-A é a sua capacidade de identificar a ausência de pessoas no local e, automaticamente, desligar os dispositivos, caso estes tenham sido esquecidos ligados. Sob o ponto de vista da eficiência energética, essa função apresenta-se como solução inteligente para ambientes automatizados (PEROZZO, 2011).

Dessa forma, as características dessa sala evidenciam seu potencial para ser o ambiente inteligente do estudo de caso deste projeto. A planta baixa da sala 301-A com o sistema controlador de automação do ambiente e seus dispositivos de automação é mostrada na Figura 80.

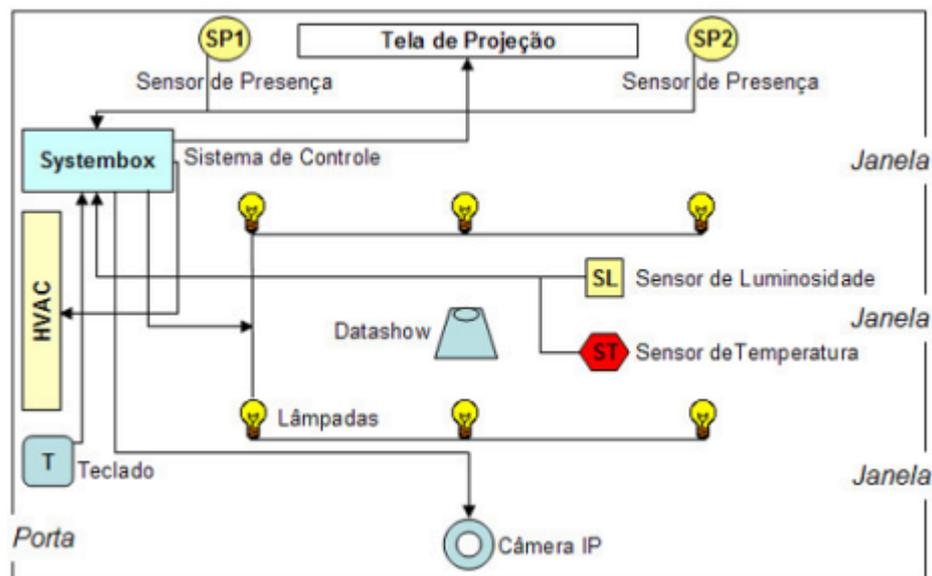


Figura 80 Planta baixa da sala 301-A – Adaptado de (PEROZZO, 2011).

A sala 301-A com o sistema de localização instalado é apresentada na Figura 81.



Figura 81 Sala 301-A com o sistema de localização.

A cadeira de rodas utilizada no projeto é apresentada na Figura 82. Vale observar que o nó móvel é instalado acima do encosto de cabeça da cadeira de rodas, a uma distância de 1,8 m em relação ao chão.



Figura 82 Cadeira de rodas automatizada utilizada no projeto.

O leitor RFID instalado na cadeira de rodas e as etiquetas fixadas ao chão são mostrados na Figura 83.



Figura 83 Leitor RFID instalado na cadeira de rodas e as etiquetas fixadas ao chão.

As dimensões da sala 301-A são 6,8 x 9,0 m. Os nós foram assim posicionados: o nó *gateway* está na posição $x=1,4$ e $y=7,0$, o nó fixo 1 está em $x=5,4$ e $y=7,0$, o nó fixo 2 está em $x=5,4$ e $y=2,0$, e o nó fixo 3 está em $x=1,4$ e $y=2,0$.

A distribuição das etiquetas RFID e dos pontos de coleta é mostrada na Figura 84. A escolha das posições das etiquetas leva em consideração o caminho usualmente percorrido pelos estudantes ao acessar a sala e os assentos.

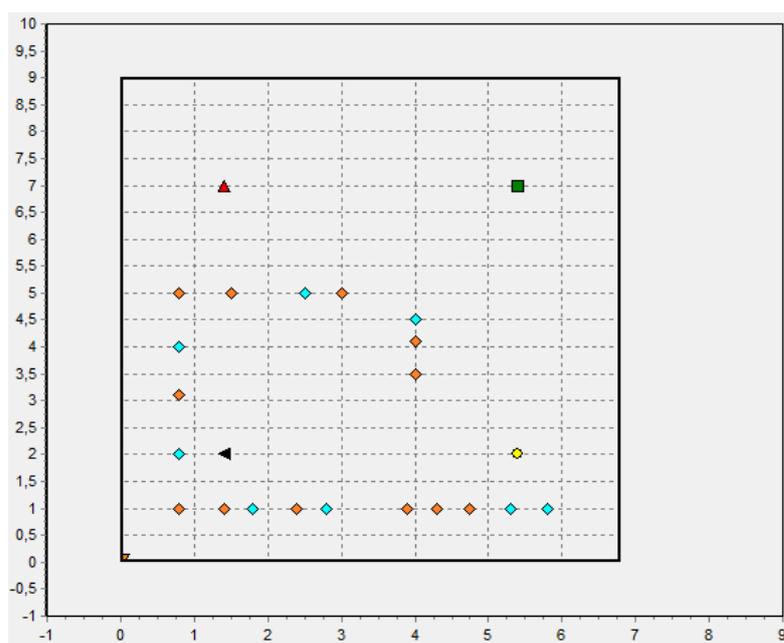


Figura 84 Distribuição das etiquetas RFID e dos pontos de coleta na sala 301-A.

O leiaute dos experimentos possui 20 pontos de coleta, sendo 8 com etiquetas RFID. Os pontos de coletas e a distribuição das etiquetas não seguem nenhum padrão de intervalo (distância) entre eles. O experimento inicia na coordenada $x=5,8$ e $y=1$ (ponto mais a direita e inferior do gráfico da Figura 84), e termina na coordenada $x=4$ e $y=3,5$ (ponto no centro do gráfico). Os 20 pontos e suas respectivas posições são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 Tabela com os 20 pontos e suas respectivas posições.

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eixo X	5,80	5,30	4,75	4,30	3,90	2,80	2,40	1,80	1,40	0,80
Eixo Y	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Pontos	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Eixo X	0,80	0,80	0,80	0,80	1,50	2,50	3,00	4,00	4,00	4,00
Eixo Y	2,00	3,10	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,50	4,10	3,50

Para avaliar o desempenho do sistema de localização proposto foi realizada uma comparação entre os seus resultados alcançados e os resultados do sistema tradicional. Os resultados do sistema proposto utilizando o quarto método são apresentados no gráfico da Figura 85.

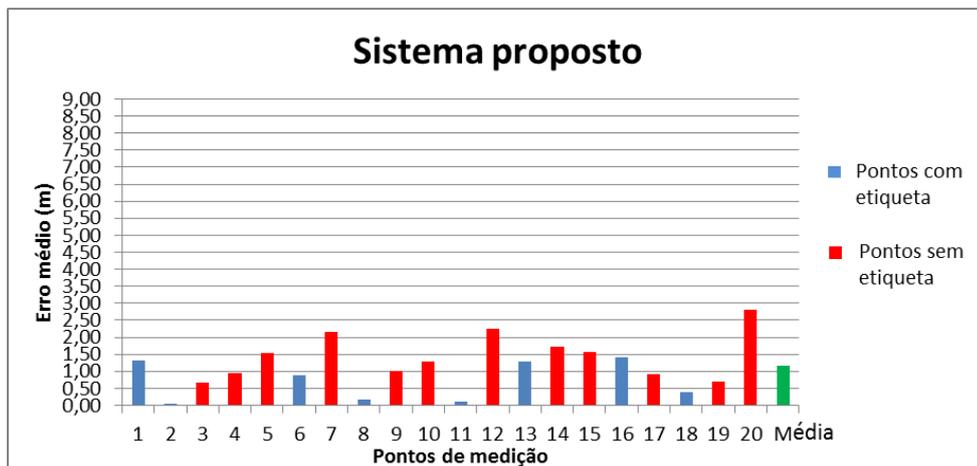


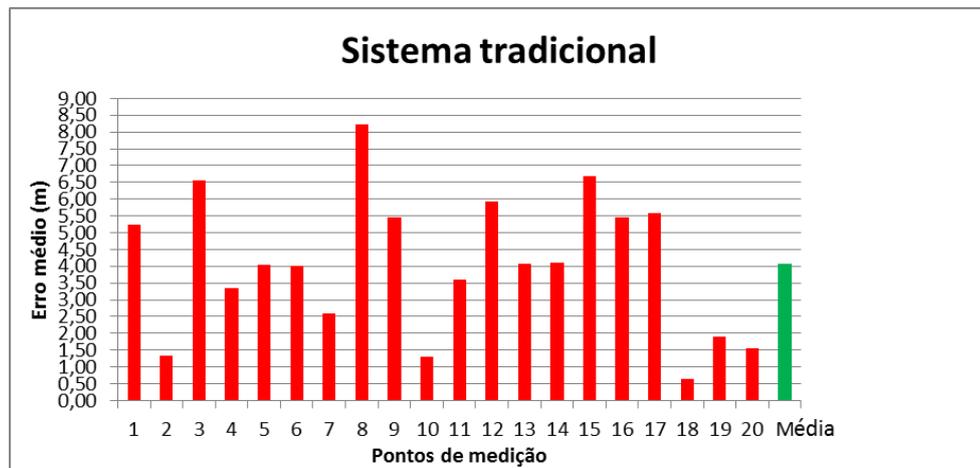
Figura 85 Resultados alcançados com o sistema proposto para o estudo de caso.

A Tabela 19 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 20 pontos de medição do sistema proposto para o estudo de caso. Vale lembrar que as células da Tabela 19 que estão sombreadas representam os pontos sem etiqueta.

Tabela 19 Tabela com o resumo do sistema proposto para o estudo de caso.

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1,324	0,051	0,663	0,938	1,520	0,887	2,143	0,186	1,007	1,288	0,094	2,243
P	13	14	15	16	17	18	19	20	Med.	Var.	M.s/e	
	1,284	1,735	1,558	1,407	0,907	0,394	0,686	2,807	1,156	0,536	1,458	

Os resultados do sistema tradicional são apresentados no gráfico da Figura 86. Vale salientar que na fase de *offline* de calibração dos parâmetros do sistema tradicional foram utilizados os mesmos 8 pontos onde se encontram as etiquetas RFID do sistema proposto.

**Figura 86 Resultados alcançados com o sistema tradicional para o estudo de caso.**

A Tabela 20 apresenta o erro médio, em metros, obtido nos 20 pontos de medição do sistema tradicional para o estudo de caso.

Tabela 20 Tabela com o resumo do sistema tradicional para o estudo de caso.

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	5,246	1,347	6,545	3,347	4,026	4,010	2,600	8,234	5,452	1,290	3,588	5,914
P	13	14	15	16	17	18	19	20	Med.	Var.		
	4,079	4,089	6,670	5,459	5,590	0,638	1,912	1,555	4,080	4,315		

Os resultados do sistema proposto e do sistema tradicional são apresentados lado a lado no gráfico da Figura 87 para facilitar a comparação.

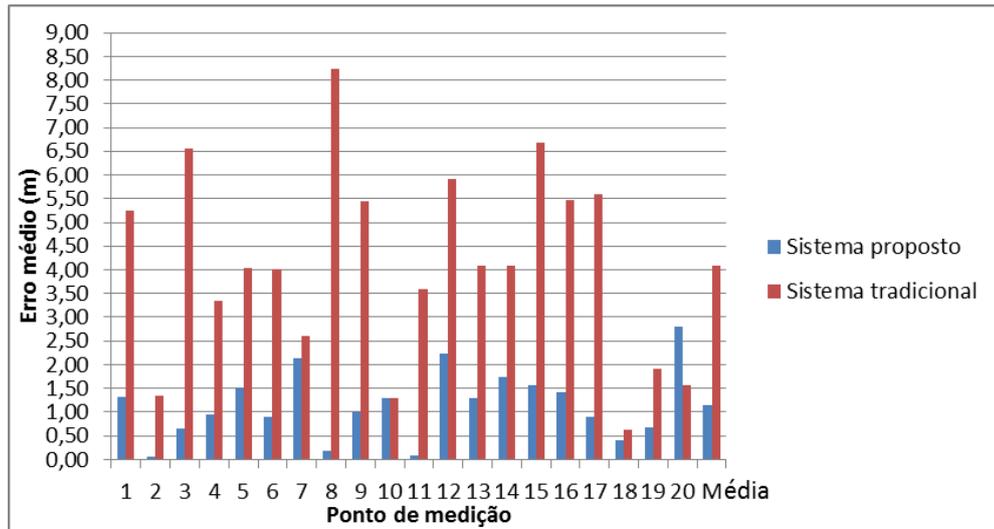


Figura 87 Resultados dos sistemas proposto e tradicional para o estudo de caso.

Após analisar os resultados de ambos os sistemas utilizados na sala 301-A, fica evidente o desempenho superior do sistema de localização proposto em relação ao sistema tradicional. Em todos os pontos de coleta o sistema proposto apresentou menor erro, com um erro médio mais de 3 vezes menor do que o erro apresentado pelo sistema tradicional. Nas outras análises realizadas neste trabalho que compara esses dois sistemas, a superioridade do sistema proposto não foi tão visível quanto neste ambiente em questão.

Não foi realizada uma análise da interferência eletromagnética da sala 301-A, mas ficou evidente nos experimentos que existia uma dificuldade maior para os nós se comunicarem em relação aos experimentos realizados na UCS. Enquanto na UCS a média de ciclos por segundo é 9, nos experimentos na UFRGS se obteve, em média, 6 ciclos por segundo. Essa influência eletromagnética não afeta os valores de RSSI, pois o RSSI dos rádios utilizados não considera a relação sinal/ruído no cálculo do RSSI, mas talvez possa ter influenciado no desempenho dos sistemas devido à reflexão, difração e dispersão dos sinais. Somente com mais experimentos seria possível confirmar essa afirmação.

Em relação à aplicação de “Tecnologias Assistivas”, onde o sistema de localização proposto estimaria a posição de uma cadeira de rodas automatizada inserida em um ambiente

inteligente, pode-se concluir que a proposta apresentada é válida e pode ser utilizada. Na próxima seção é apresentada a aplicação do sistema proposto em uma situação real.

É importante destacar que o método proposto não implica em custos elevados com a instalação de equipamentos caros, sendo que, basicamente, apenas um leitor RFID e um rádio para comunicação sem fio precisam ser instalados na cadeira de rodas e etiquetas RFID devem ser colocadas no ambiente.

5.6.1 Exemplo de aplicação do sistema proposto

A aplicação desenvolvida é bem simples, mas importante para validar o sistema proposto. Ela consiste em acionar um conjunto de lâmpadas da sala 301-A em função da posição informada pelo sistema de localização.

O sistema de automação da HomeSystems possui um protocolo proprietário para a comunicação entre seus dispositivos, o HomeSystems Network (HSNET) (HOMESYSTEMS, 2013). Entretanto, é possível enviar dados para a central do sistema de automação via comandos em HTTP. Dessa forma, foi desenvolvida junto ao programa principal uma opção para que as estimativas da posição da cadeira de rodas (posição em x e y) possam ser enviadas para a central via comandos em HTTP. Isso é possível uma vez que o computador responsável pelo programa principal está conectado na mesma rede em que a central se encontra conectada, sendo assim os comandos podem ser enviados via rede cabeada ou através de uma rede sem fio 802.11 no caso da conexão ser sem fio.

A avaliação da aplicação utilizou os resultados obtidos nos experimentos do estudo de caso (ver Figura 85). As informações da posição da cadeira de rodas foram enviadas para a central para que 2 conjuntos de lâmpadas fossem acionadas. A lógica criada para o cenário do sistema de automação atende á Tabela 21.

A abreviatura “PosX” representa a posição estimada da cadeira de rodas no eixo x, a “PosY” representa a posição estimada no eixo y, a “A. lâm” representa “Acionar lâmpadas do”, a “Fund” representada as lâmpadas do fundo (quadrante 1), a “Frent” representada as lâmpadas da frente (quadrante 2) e a “Fr/Fu” representada as lâmpadas da frente e do fundo (quadrante 3).

No ponto 7 ocorreu uma falha no sistema, representada por “Falha” na Tabela 22. Isso se deu pela estimativa errada no eixo y, que se apresentou como acima de 2,5 m, o limite máximo de y para o quadrante 2.

Por fim, é possível concluir que o sistema de localização proposto pode atender as necessidades de uma aplicação de “Tecnologias Assistivas”, na qual a posição de uma cadeira de rodas automatizada é estimada e enviada para um ambiente inteligente, que por sua vez poderá prestar serviços de forma pervasiva.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A presente dissertação de mestrado apresentou o desenvolvimento de um sistema de localização em interiores combinando uma RSSF e a tecnologia RFID, e a avaliação em uma aplicação de “Tecnologias Assistivas”, na qual a posição de uma cadeira de rodas automatizada inserida em um ambiente inteligente é estimada, permitindo ao sistema de automação o controle de variáveis como iluminação do ambiente, temperatura, etc. para o cadeirante.

O sistema de localização proposto utiliza o modelo de propagação do sinal de RF e o RSSI para estimar a distância da cadeira de rodas em relação aos nós fixos da RSSF, e a técnica de lateração para calcular a posição estimada. As etiquetas RFID são utilizadas como marcos de referências para a calibração automática dos parâmetros experimentais necessários no processo de localização a partir de uma RSSF, que em sistemas tradicionais são obtidos de forma experimental em uma fase *offline*.

Em busca do método que geraria os melhores resultados para o sistema de localização baseado em RSSF e a tecnologia RFID, foram propostos e avaliados 5 métodos, combinando diferentes modelos de propagação de sinal e diferentes formas de calibrar os parâmetros experimentais.

O método que apresentou os melhores resultados, e escolhido para ser utilizado no sistema de localização proposto, consiste em: quando a primeira etiqueta RFID é lida, o parâmetro n é ajustado através da equação 6, e os valores de d_0 e A são armazenados; a partir da segunda etiqueta lida, o n é ajustado pela equação 4, e os valores de d_0 e A são armazenados; em todos os casos, o cálculo da distância é realizado com a equação 4.

No método escolhido, o erro médio da estimativa de localização nos pontos que não possuem etiquetas obteve uma melhora significativa em relação aos outros métodos.

Os quatro primeiros métodos avaliados realizam a calibração dos parâmetros de uma forma local, ou seja, os parâmetros são ajustados para uma determinada região em que se encontra a etiqueta RFID no ambiente. Diferenciando dessa forma local, o método de ajuste por mínimos quadrados propõe uma calibração de forma abrangente, ou seja, os parâmetros são ajustados para que o sistema atenda todo o ambiente.

O método de ajuste por mínimos quadrados consiste dos seguintes passos para a calibração dos parâmetros: quando a primeira etiqueta é lida, o parâmetro n é ajustado através da equação 6, e os valores de d_0 e A são armazenados e inseridos em uma tabela; a partir da segunda etiqueta lida, os valores de d_0 e A são novamente armazenados e inseridos em uma tabela, e com os valores da tabela é determinado n e A aplicando a regressão simples por mínimos quadrados; em todos os casos, o cálculo da distância é realizado com a equação 4.

Após comparar os métodos propostos e verificar que o quarto método produz os melhores resultados, algumas questões foram levantadas, como por exemplo, de que forma um aumento da quantidade de nós na rede influencia no desempenho do sistema, bem como a influência de uma inversão no sentido do percurso da cadeira de rodas nos resultados, e finalmente a influência do leiaute dos nós no desempenho do sistema. Com a investigação sobre essas questões, relatam-se as seguintes conclusões:

1. o aumento na quantidade de nós na rede produz um aumento da exatidão do sistema. E, possivelmente como ocorre em (HONKAVIRTA *et al.*, 2009), depois de um determinado limiar, não ocorre nenhuma melhora no sistema com a adição de mais nós. E, também se conclui que a utilização de 3 dos 4 nós que possuem o maior valor de RSSI nem sempre produz os melhores resultados, ou seja, não é via de regra, pois em alguns pontos essa técnica não é a melhor solução. No caso de criar algum tipo de inteligência (classificador ou computação cognitiva) que ora escolhesse a técnica de 4 nós ora a técnica dos 3 dos 4 nós, seria possível desenvolver um sistema ainda mais exato;

2. o sentido do percurso em que a cadeira de rodas segue não produz grande impacto em relação à exatidão do sistema proposto neste trabalho, pois o sistema se adapta a essas condições. E observou-se que quando o cadeirante encontra-se de frente para os 2 nós fixos, quanto mais próximo a cadeira chega dos nós fixos, maior é a necessidade de colocar mais pontos com etiqueta, pois o parâmetro n varia com maior intensidade de um ponto para o outro, devido às características do ambiente que são peculiares nessas regiões;
3. o leiaute no formato de losango para os nós fixos apresentou melhores resultados em comparação ao leiaute no formato de retângulo. Não é possível afirmar que para todas as situações o leiaute em losango é melhor que o em retângulo, visto que seria necessário ampliar-se o número de experimentos para fazer essa afirmação. Além disso, muitos trabalhos têm abordado o problema da relação entre qualidade de localização e configuração geométrica dos nós (RODRIGUES, 2011). Por esse motivo, a escolha do melhor leiaute para localização é um desafio nesta área;

Por fim, foram realizados experimentos na sala 301-A do prédio da Engenharia Elétrica da UFRGS (caracterizado como ambiente inteligente devido às funcionalidades proporcionadas pelo sistema de automação da sala) com o objetivo de avaliar duas questões importantes: qual é a diferença entre o sistema proposto e o sistema tradicional de localização, e se o sistema proposto pode atender às necessidades de uma aplicação de “Tecnologias Assistivas”, na qual a posição de uma cadeira de rodas automatizada é estimada e enviada para um ambiente inteligente, que por sua vez poderá prestar serviços de forma pervasiva.

Primeiramente, ficou evidente o desempenho superior do sistema de localização proposto em relação ao sistema tradicional nos experimentos realizados na sala 301-A. Em todos os pontos de coleta o sistema proposto foi mais exato. Em média, o erro do sistema proposto foi de 1,15 m, superior a média de 4,08 m do sistema tradicional.

Em função do erro médio obtido pelo sistema proposto, o seu emprego limita-se a algumas aplicações, como, por exemplo, para a navegação autônoma, mas isso é normal e

uma questão muito discutida na literatura. Diferentes aplicações exigem diferentes sistemas de localização. Neste caso, as aplicações se restringem a controlar o acionamento de lâmpadas, temperatura e direção do ar condicionado e outras aplicações que demandam uma baixa precisão do sistema de localização.

As restrições de aplicação não diminuem a contribuição deste trabalho, uma vez que em sistema de localização baseado em RSSI a incerteza da posição, no melhor dos casos, é superior a 1 m e em aplicações *indoor* a incerteza fica em torno de 2 a 3 m.

Mesmo assim, a combinação da RSSF e da tecnologia RFID proporcionou um sistema com o erro médio menor que o sistema tradicional utilizando somente a RSSF. Além disso, o tempo necessário para montar a infraestrutura do sistema e iniciar o processo de localização é reduzido, uma vez que a fixação e identificação da posição das etiquetas são realizadas uma única vez, não havendo a necessidade de calibrar o sistema de forma manual, e mudanças no ambiente não afetam o sistema de localização.

Por fim, conclui-se que o sistema de localização proposto pode atender às necessidades de uma aplicação de “Tecnologias Assistivas”, onde serviços são oferecidos ao cadeirante de forma pervasiva a partir da informação de sua posição, contribuindo para independência e produtividade do usuário de cadeira de rodas.

Como trabalhos futuros pode-se citar a aplicação de um filtro no sistema de localização (como por exemplo, filtro de partículas) com o objetivo de diminuir a variação que o RSSI sofre em função das interferências e reflexos do sinal RF no ambiente interno.

O leitor RFID utilizado neste trabalho realiza uma única leitura quando a etiqueta entra na zona de leitura. Depois que a etiqueta entrar na zona de leitura e transferir seu ID para o leitor, enquanto a etiqueta permanecer na zona de leitura nenhuma outra leitura será realizada, nem mesmo da própria etiqueta que transferiu seu ID. Nem todos os leitores RFID

LF possuem essa característica de única leitura, mas essa informação é raramente informada pelo fabricante do leitor.

A utilização de um leitor RFID capaz de realizar repetidas leituras da mesma etiqueta possibilitaria ajustar mais adequadamente os parâmetros do sistema e, também, caracterizar o comportamento do sinal RF em um ponto específico. A utilização desse tipo de leitor teria maior relevância no caso de uma aplicação do sistema em uma situação em que a cadeira de rodas encontra-se em movimento. Entretanto, se os experimentos forem conduzidos com a cadeira de rodas em movimento, além do leitor de múltiplas leituras, outras características devem ser observadas, como por exemplo, a velocidade de leitura do leitor e a velocidade atingida pela cadeira de rodas, a latência etc.

Também como trabalhos futuros pode-se citar o desenvolvimento de algum tipo de inteligência (classificador ou computação cognitiva) para aplicar simultaneamente os métodos propostos e técnicas avaliadas com o intuito de elevar a exatidão do sistema.

Como trabalhos futuros adicionando outras tecnologias, a combinação da técnica de odometria (utilizando *encoders* nas rodas da cadeira) com o sistema proposto neste trabalho seria uma alternativa interessante a ser avaliada. A tecnologia RFID, além de ser utilizada para calibrar os parâmetros experimentais do processo de localização utilizando RSSF, poderia ser utilizada para reduzir o erro acumulativo gerado pela técnica de odometria. Além disso, com essa combinação é possível deslumbrar uma forma de estimar a orientação da cadeira de rodas no ambiente.

Outra tecnologia com o potencial para trabalhos futuros seria a Chirp Spread Spectrum (CSS). Apesar de não ter sua difusão maciça entre os dispositivos de rede de comunicação e de sensores sem fio, e, por isso, se tem poucos trabalhos publicados sobre o assunto, os primeiros resultados relatados sobre a aplicação em sistemas de localização mostram-se superiores as técnicas atuais (RSSI, RTOF etc.).

REFERÊNCIAS

- AL NUAIMI, K.; KAMEL, H. A survey of indoor positioning systems and algorithms. In: INNOVATIONS IN INFORMATION TECHNOLOGY (IIT), 2011, Abu Dhabi. **Proceedings...** New York: IEEE, 2011. p. 185-190.
- BARONTI, P. et al. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. **Computer communications**, Philadelphia, v. 30, n. 7, p. 1655-1695, May. 2007.
- BEAUREGARD, S.; HAAS, H. Pedestrian dead reckoning: A basis for personal positioning. In: WORKSHOP ON POSITIONING, NAVIGATION AND COMMUNICATION (WPNC'06), 3., 2006, Hannover. **Proceedings...** Herzogenrath: Shaker Verlag, 2006. p. 27-35.
- BENKIC, K. et al. Using RSSI value for distance estimation in wireless sensor networks based on ZigBee. In: SYSTEMS, SIGNALS AND IMAGE PROCESSING (IWSSIP 2008), 15., 2008, Bratislava. **Proceedings...** New York: IEEE, 2008. p. 303-306.
- BINDIGANAVALE, R.; BADLER, N. I. Motion abstraction and mapping with spatial constraints. In: MODELLING and Motion Capture Techniques for Virtual Environments. Heidelberg: Springer, 1998. p. 70-82.
- BOSCH. **DLE 40 Professional**. Bosch, 2009. Disponível em: <www.aecweb.com.br/cls/catalogos/bosch/medidor_distancia_laser_DLE40.pdf>. Acesso em: 28 out. 2013.
- BRÁS, L. M. **Desenvolvimento de sistema de localização indoor de baixo consumo**. 2009. 147 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro, 2009.
- BURGARD, W. et al. Integrating global position estimation and position tracking for mobile robots: the Dynamic Markov Localization approach. In: INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS, 1998, Victoria. **Proceedings...** New York: IEEE, 1998. p. 730-735.
- ČAPKUN, S.; HAMDI, M.; HUBAUX, J. GPS-free positioning in mobile ad hoc networks. **Cluster Computing**, Heidelberg, v. 5, n. 2, p. 157-167, Apr. 2002.
- CELESTE, W. C. **Um sistema autônomo para navegação de cadeiras de rodas robóticas orientadas a pessoas com deficiência motora severa**. 2009. 135p. Tese (Doutorado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, 2009.
- CHEN, Y.T. et al. A RSSI-based algorithm for indoor localization using ZigBee in wireless sensor network. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DISTRIBUTED MULTIMEDIA SYSTEMS (DMS 2009), 15., 2009, Redwood City. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 2009. p. 70-75.

CHERTANOMWONG, P.; SUROSO, D. J. Indoor localization system using wireless sensor networks for stationary and moving target. In: INFORMATION, COMMUNICATIONS AND SIGNAL PROCESSING (ICICS), 2011, Singapura. **Proceedings...** New York: IEEE, 2011. p. 1-5.

CHIU, D. S.; O'KEEFE, K. P. Seamless outdoor-to-indoor pedestrian navigation using GPS and UWB. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS 2008), THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 21., 2008, Savannah. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 2008. p. 322-333.

CHO, H.; KIM, S. W. Mobile robot localization using biased chirp-spread-spectrum ranging. **Industrial Electronics, IEEE Transactions on**, New York, v. 57, n. 8, p. 2826-2835, 2010.

CHOI, B. et al. A hierarchical algorithm for indoor mobile robot localization using RFID sensor fusion. **Industrial Electronics, IEEE Transactions on**, New York, v. 58, n. 6, p. 2226-2235, 2011.

CRUZ, C. D. L.; GUIMARÃES, E. B.; BASTOS, T. F. Sistema de guiagem e localização de cadeiras de rodas robóticas utilizando sensores indutivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 18., 2010, Bonito. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2010. p. 934 - 939.

DAWES, B.; CHIN, K. A comparison of deterministic and probabilistic methods for indoor localization. **Journal of Systems and Software**, Philadelphia , v. 84, n. 3, p. 442-451, Mar. 2011.

ENRIQUEZ, G.; SUNHONG P.; HASHIMOTO, S. Wireless sensor network and RFID sensor fusion for mobile robots navigation. In: ROBOTICS AND BIOMIMETICS (ROBIO), 2010, Tianjin. **Proceedings...** New York: IEEE, 2010. p.1752-1756.

FARAHANI, S. **ZigBee wireless networks and transceivers**. Oxford: Newnes, 2008.

FERNANDO, X. N. et al. Adaptive denoising at infrared wireless receivers. In: PROC. SPIE 5074, INFRARED TECHNOLOGY AND APPLICATIONS, 199., 2003, Orlando. **Proceedings...** Bruxelas: SPIE, 2003. p. 199-207.

FINKENZELLER, K. **RFID-Handbook, Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification**. 2nd ed. Chichester: Wiley and Sons, 2003.

FREEDOM. **Cadeira de rodas motorizada Freedom "L"**. 2012. Disponível em: <www.freedom.ind.br/arquivos/produto/manual_br/cadeiras_motorizadas.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2013.

GARCIA, J. C. et al. Proposal for an Ambient Assisted Wheelchair (A2W). In: INDUSTRIAL ELECTRONICS (ISIE), 2010 , Bari. **Proceedings...** New York: IEEE, 2010. p.2325-2330.

GLOVER, D. R. Jr. **Dictionary of technical terms for aerospace use**. Cleveland: NASA Lewis Research Center, 2001. Disponível em: <<http://er.jsc.nasa.gov/seh/menu.html>>. Acesso em: 18 apr. 2014.

GOMES, G. L. S. **Sistema RFID com Tecnologia ZigBee**. 2008. 69 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

GU, Y.; LO, A.; NIEMEGER, I. A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks. **Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, New York, v.11, n.1. p.13-32, Mar. 2009.

GUERRIERI, J. R. et al. RFID-assisted indoor localization and communication for first responders. In: ANTENNAS AND PROPAGATION, 2006, Nice. **Proceedings...** New York: IEEE, 2006. p. 1-6.

HARTER, A. et al. The Anatomy of a Context-aware Application. In: ACM/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND NETWORKING, MOBICOM '99, 5., 1999, Seattle. **Proceedings...** New York: Springer-Verlag, 1999. p. 59-68.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **Global Positioning System. Theory and Practice**. Wien: Springer, 1993.

HOMESYSTEMS. **Ambientes inteligentes**. Disponível em <www.homesystems.com.br>. Acesso em: 3 de jul. 2013.

HONKAVIRTA, V. et al. A comparative survey of WLAN location fingerprinting methods. In: POSITIONING, NAVIGATION AND COMMUNICATION, 2009, Hannover. **Proceedings...** New York: IEEE, 2009. p. 243-251.

HU, X.; CHENG, L.; ZHANG, G. A Zigbee-based localization algorithm for indoor environments. In: COMPUTER SCIENCE AND NETWORK TECHNOLOGY (ICCSNT), 2011, Harbin. **Proceedings ...** New York: IEEE, 2011. p. 1776-1781.

HUSSAIN, S.; SCHAFFNER, S.; MOSEYCHUCK, D. Applications of wireless sensor networks and RFID in a smart home environment. In: COMMUNICATION NETWORKS AND SERVICES RESEARCH CONFERENCE, 2009, Moncton. **Proceedings...** New York: IEEE, 2009. p. 153-157.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico**: características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 ago. 2013.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). **IEEE Std 802.15.4™** - 2011. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). Piscataway, 2011. Disponível em: <standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>. Acesso em: 10 set. 2013.

IENAGA, T. et al. A Method for Event Handling on Robot Town Platform and a Sharable Personal Mobility Robot. In: BROADBAND, WIRELESS COMPUTING, COMMUNICATION AND APPLICATIONS (BWCCA), 2010, Fukuoka. **Proceedings...** New York: IEEE, 2010. p. 749-754.

JUELS, A. RFID security and privacy: a research survey. **Selected Areas in Communications, IEEE Journal on**, New York, v.24, n.2, p. 381-394, Feb. 2006.

KHOURY, H. M.; KAMAT, V. R. High-precision identification of contextual information in location-aware engineering applications. **Advanced Engineering Informatics**, v. 23, n 4, p. 483-496, Oct. 2009.

KIM, J. et al. IEEE 802.15.4a CSS-based localization system for wireless sensor networks. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE AD-HOC AND SENSOR SYSTEM (MASS'07), 2007, Pisa. **Proceedings...** New York: IEEE, 2007. p. 1-3.

KOHOUTEK, T. K.; MAUTZ, R.; DONAUBAUER, A. Real-time indoor positioning using range imaging sensors. In: PROC. SPIE 7724. REAL-TIME IMAGE AND VIDEO PROCESSING. 2010, Bruxelles. **Proceedings...** Bruxelles: SPIE, 2010. p. 77240K-77240K-8.

KONTKANEN, P. et al. Topics in probabilistic location estimation in wireless networks. In: PERSONAL, INDOOR AND MOBILE RADIO COMMUNICATIONS, 2004. PIMRC 2004. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON. 15., 2004, Barcelona. **Proceedings...** New York: IEEE, 2004. p. 1052-1056.

KOYUNCU, H.; YANG, S. H. A survey of indoor positioning and object locating systems. **IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security**, Seoul, v. 10, n. 5. p. 121-128, May. 2010.

KUMAR, V.; DAS, S. R. Performance of dead reckoning-based location service for mobile ad hoc networks. **Wireless Communications and Mobile Computing**, Hoboken, v. 4, n. 2, p. 189-202, 2004.

LI, N.; BECERIK-GERBER, B. Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment. **Advanced Engineering Informatics**, Philadelphia, v. 25, n. 3, p. 535-546, 2011.

LIU, H. et al. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. **Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on**, New York, v. 37, n. 6. p.1067-1080, Oct. 2007.

MARÓTI, M. et al. Radio interferometric geolocation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMBEDDED NETWORKED SENSOR SYSTEMS, 3., 2005, San Diego. **Proceedings...** New York: ACM, 2005. p. 1-12.

MATSUMOTO, O. et al. Autonomous traveling control of the "TAO Aicle" Intelligent Wheelchair. In: INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS, 2006, Pequim. **Proceedings...** New York: IEEE, 2006. p. 4322-4327.

MAUTZ, R.; TILCH, S. Survey of optical indoor positioning systems. In: INDOOR POSITIONING AND INDOOR NAVIGATION (IPIN), 2011, Guimarães. **Proceedings...** New York: IEEE, 2011. p. 1-7.

MEGHJI, M. L. **On a Joint Physical Layer and Medium Access Control Sublayer Design for Efficient Wireless Sensor Networks and Applications**. 2013. 184 p. Tese (Doutorado em engenharia) – Faculdade de Saúde, Engenharia e Ciência da Universidade Edith Cowan, Joondalup, 2013.

- MENEGATTI, E. et al. Range-only slam with a mobile robot and a wireless sensor networks. In: ROBOTICS AND AUTOMATION, 2009, Kōbe. **Proceedings...** New York: IEEE, 2009. p. 8-14.
- MOTTER, P. et al. Practical issues in wireless sensor network localization systems using received signal strength indication. In: SENSORS APPLICATIONS SYMPOSIUM (SAS), 2011, San Antonio. **Proceedings...** New York: IEEE, 2011. p. 227-232.
- MULLER, Ivan et al. Development of a WirelessHART compatible field device. In: INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY CONFERENCE (I2MTC), 2010, Austin. **Proceedings...** New York: IEEE, 2010. p. 1430-1434.
- NEIVA, J. P. B. **Localização e Orientação “Indoor” com recurso à Tecnologia RFID.** 2012. 98 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.
- NEMAI, C. K. **Handbook of Smart Antennas for RFID Systems.** Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- NI, L. M. et al. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. **Wireless networks**, Dordrecht , v. 10, n. 6, pp. 701-710, Nov. 2004.
- NICULESCU, D.; NATH, B. Ad hoc positioning system (APS) using AOA. In: INFOCOM ANNUAL JOINT CONFERENCE OF THE IEEE COMPUTER AND COMMUNICATIONS. IEEE SOCIETIES, 22., 2003, San Francisco. **Proceedings...** New York: IEEE, 2003. p. 1734-1743.
- NOVUS. **Manual de Operação AirGate-Modbus.** Novus, 2013. Disponível em: <www.novus.com.br/catalogos/?ID=091451>. Acessado em: 15 jul 2013.
- ORR, R. J.; ABOWD, G. D. The smart floor: a mechanism for natural user identification and tracking. In: CHI'00 EXTENDED ABSTRACTS ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2000, Hague. **Proceedings...** New York: ACM, 2000. p. 275-276.
- PAHLAVAN, K.; LI, Xi.; MAKELA, J. Indoor geolocation science and technology. **Communications Magazine, IEEE**, New York, v. 40, n. 2, p. 112-118, Aug. 2002.
- PAN, M. S. et al. A WSN-based intelligent light control system considering user activities and profiles. **Sensors Journal, IEEE**, New York, v. 8, n. 10, p. 1710-1721, Sept. 2008.
- PANDYA, D.; JAIN, R.; LUPU, E. Indoor location estimation using multiple wireless technologies. In: PERSONAL, INDOOR AND MOBILE RADIO COMMUNICATIONS, 14., 2003, Beijing. **Proceedings...** New York: IEEE, 2003. p. 2208-2212.
- PARK, S.; HASHIMOTO, S. Autonomous mobile robot navigation using passive RFID in indoor environment. **Industrial Electronics, IEEE Transactions on**, New York, v. 56, n. 7, p. 2366-2373, July. 2009.
- PEROZZO, R. F.; PEREIRA, C. E. Management of services in intelligent environments for mobile devices. In: INTELLIGENT ENVIRONMENTS, 2008, Seattle. **Proceedings...** New York: IEEE, 2008. p. 1-6.

PEROZZO, R. F. **Framework para integração entre ambientes inteligentes e o sistema brasileiro de tv digital**. 2011. 179 p. Tese (Doutorado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PRIYANTHA, N. B. **The cricket indoor location system**. 2005. 199 p. Tese (Doutorado em engenharia) – Departamento de Engenharia Elétrica e Ciência da Computação, Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Cambridge, 2005.

PROMAG. **Proximity EM RFID Reader Model GP25/GP25A/LBR100/LBR200**. Promag, 2009. Disponível em: <www.gigatms.com.tw/upload/product/catalog/catalog_117.pdf> Acesso em: 10 jun. 2013.

RAMPINELLI, M. et al. Use of computer vision for localization of a robotic wheelchair in an intelligent space. In: BIOSIGNALS AND BIROBOTICS CONFERENCE (BRC), 2013, Rio de Janeiro. **Proceedings...** New York: IEEE, 2013. p. 1-6.

RAPPAPORT, T. S. **Wireless communications: principles and practice**. 2nd. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

RODRIGUES, M. L. **Localização em ambientes internos utilizando múltiplas tecnologias sem fio**. 2011. 145 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SCHWAIGHOFER, A. et al. GPPS: A Gaussian Process Positioning System for Cellular Networks. In: ADVANCES IN NEURAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS (NIPS). 16., 2003, Vancouver. **Proceedings...** Cambridge: MIT Press, 2003. Não paginado. Disponível em: <books.nips.cc/papers/files/nips16/NIPS2003_AP02.pdf> Acesso em: 10 abr. 2013.

SILVA, R. L. **Desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina Aplicada a uma Cadeira de Rodas Robótica por Meio de PDA**. 2007. 149 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

STEGGLES, P.; GSCHWIND, S. The Ubisense smart space platform. In: ADJUNCT PROCEEDINGS OF THE THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERVASIVE COMPUTING, Munich, 2005. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2005. p. 73-76.

STEINHAGE, A.; LAUTERBACH, C. SensFloor® and NaviFloor®: Large-Area Sensor Systems. In: CHONG, N. Y.; MASTROGIOVANNI, F. **Handbook of Research on Ambient Intelligence and Smart Environments: Trends and Perspectives**. Calgary: Idea Group Inc., 2011. p. 41-55 v. 1.

STOJMENOVIĆ, Ivan (Ed.). **Handbook of sensor networks: algorithms and architectures**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

SUGANO, M. et al. Indoor localization system using RSSI measurement of wireless sensor network based on ZigBee standard. **Wireless and Optical Communications**, Banff, v. 538, p. 1-6, 2006.

TEXAS INSTRUMENTS. **2.4 GHz IEEE 802.15. 4/ZigBee-ready RF transceiver**. 2013. Disponível em: <www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2014.

TRENTIN, F. P. **Sistema de localização e sensoriamento de objetos alvo utilizando rede de sensores sem fio**. 2011. 80 p. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VORST, P. et al. Indoor positioning via three different rf technologies. In: **RFID SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (RFID SysTech)**, 2008, Friburgo. **Proceedings...** New York: IEEE, 2008. p. 1-10.

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

WASSI, G. I. et al. Indoor location using received signal strength of IEEE 802.11 b access point. In: **ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**, 2005, Saskatoon. **Proceedings...** New York: IEEE, 2005. p. 1367-1370.

WOODMAN, O.; HARLE, R. Pedestrian localisation for indoor environments. In: **PROCEEDINGS OF THE 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS COMPUTING**, 2008, Seoul . **Proceedings...** New York: ACM, 2008. p. 114-123.

XIANG, Z. et al. A wireless LAN-based indoor positioning technology. In: **IBM Journal of Research and Development**, New York, v. 48, n. 5.6, p. 617-626, Sept. 2004.

YANG, G.; ANDERSON, G.; TUNSTEL, E. A RFID landmark navigation auxiliary system. In: **AUTOMATION CONGRESS (WAC'06)**, 2006, Budapest. **Proceedings...** New York: IEEE, 2006. p. 1-8.

YELAMARTHI, K. et al. RFID and GPS integrated navigation system for the visually impaired. In: **CIRCUITS AND SYSTEMS (MWSCAS), IEEE INTERNATIONAL MIDWEST SYMPOSIUM ON**, 53., 2010, Seattle. **Proceedings...** New York: IEEE, 2010. p.1149-1152.

ZHANG, C. et al. Accurate UWB indoor localization system utilizing time difference of arrival approach. In: **RADIO AND WIRELESS SYMPOSIUM**, 2006, San Diego. **Proceedings...** New York: IEEE, 2006. p. 515-518.