



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Desenvolvimento de Antena de Microfita Compacta
de Baixo Custo para Leitor UHF RFID Aplicada à
Logística Hospitalar

Vinícius Magno Uchôa Lima Oliveira

Campina Grande, Julho de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Desenvolvimento de Antena de Microfita Compacta
de Baixo Custo para Leitor UHF RFID Aplicada à
Logística Hospitalar

Vinícius Magno Uchôa Lima Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada à
Coordenação dos cursos de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Elétrica.

Área de Concentração: Processamento da Informação

Orientadores:
Prof. Glauco Fontgalland
Profa. Raquel Aline Araújo Rodrigues

Campina Grande, Julho de 2018

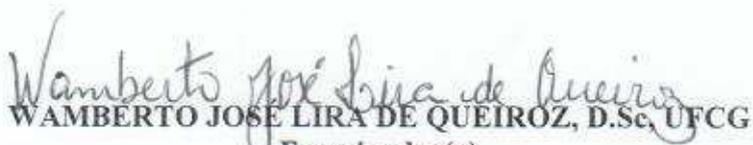
**"DESENVOLVIMENTO DE ANTENA DE MICROFITA COMPACTA DE BAIXO CUSTO
PARA LEITOR UHF RFID APLICADA À LOGÍSTICA HOSPITALAR"**

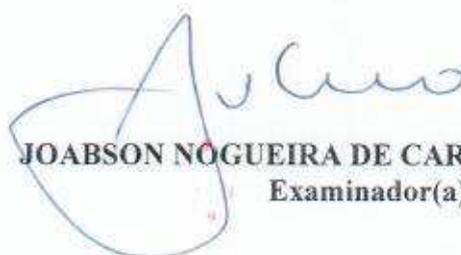
VINICIUS MAGNO UCHÔA LIMA OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/07/2018

GLAUCO FONTGALLAND, Dr., UFCG
Orientador(a)


RAQUEL ALINE ARAÚJO RODRIGUES, D.Sc., UFCG
Orientador(a)


WAMBERTO JOSÉ LIRA DE QUEIROZ, D.Sc., UFCG
Examinador(a)


JOABSON NOGUEIRA DE CARVALHO, Dr., IFPB
Examinador(a)

CAMPINA GRANDE - PB

O48d

Oliveira, Vinícius Magno Uchôa Lima.

Desenvolvimento de antena de microfita compacta de baixo custo para leitor UHF RFID aplicada à logística hospitalar / Vinícius Magno Uchôa Lima Oliveira. – Campina Grande, 2018.

76 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2018.

"Orientação: Prof. Dr. Glauco Fontgalland, Profa. Dra. Raquel Aline Araújo Rodrigues".

Referências.

1. RFID. 2. RTLS. 3. Antena. 4. Saúde. I. Fontgalland, Glauco. II. Rodrigues, Raquel Aline Araújo. III. Título.

CDU 621.3:004(043)

A todos que fizeram parte, a quem
chegou e a quem vai chegar para
completar minha vida.

Agradecimentos

Agradeço à minha maravilhosa família, em especial meus pais Antonio Uchôa e Rosane pela vida, ensinamentos, por me ter permitido escolher o bom caminho e pelo amor imensurável. Meus irmãos Rostonio e Gabriela pelo amor, ambiente familiar, o apoio e amizade. Minha madrinha Solange pelos conselhos, o carinho e apoio. Agradeço a quem chegou para transformar este ano no mais especial da minha vida e que carrega consigo a parte mais especial dela, Lana.

Agradeço com imenso prazer:

- Aos colegas do LEMA: Andrécia, Galba, Gustavo, Isaías, João Rubens, Luciana, Luís, Nieremberg, Priscilla, Raymundo e Yves;
- Aos mestres Glaucio Fontgalland e Raquel Rodrigues pelos valiosos ensinamentos;
- Aos amigos Ayslan, Gregory, Sérgio e Victor pelas histórias de vida compartilhadas;
- À linda família Cabral, Viviany e Heitor;
- Ao promissor engenheiro Tagleorge Marques por ter me recebido em Campina Grande todas as vezes que precisei e pela parceria na realização deste trabalho.

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma antena de baixo custo para uma faixa de frequência considerada para leitores RFID UHF (ultra alta frequência) aplicada no setor logístico do Hospital Universitário do Piauí. A antena proposta é feita de chapas de alumínio recicladas. Consiste em duas placas paralelas (plano de terra e irradiador) com uma placa em formato de L (*stub*) entre elas e quatro estruturas planares de curto-circuito para casamento de impedância e suporte mecânico. A largura de faixa é $39,6\text{ MHz}$ e a diretividade é $3,1\text{ dBi}$ em 915 MHz e foram obtidas com auxílio do *software* CST Microwave Studio. Resultados experimentais em câmara anecoica de um protótipo fabricado mostraram que a antena atingiu desempenho desejado, com largura de faixa de $38,2\text{ MHz}$. Ao final, uma aplicação foi proposta e a antena obteve sucesso na identificação de variados itens etiquetados com etiquetas UHF para algumas distâncias demonstrando seu potencial para reduzir custos na realização do inventário no referido hospital.

Abstract

This work presents the development of a low-cost single band antenna for fixed ultra-high frequency (UHF) radio-frequency identification (RFID) reader applied in the supply chain at University Hospital of Piauí. The proposed low-cost antenna is made of recycled aluminum sheets consisting of two parallel plates (a ground plane and a radiator) with an L-shaped metal strip (stub) between them and four short plates for tuning and provide mechanical support. A bandwidth of **39.6 MHz** and **3.1 dBi** for directivity at **915 MHz** was obtained in CST Microwave Studio. Experimental results in an anechoic chamber of a fabricated prototype showed that the antenna achieved the desired performance, with bandwidth of **38.2 MHz**. In the end, an application was proposed, and the antenna was successful in identifying assorted items with UHF tags attached at various distances, showing its potential for costs reductions in accomplishment of the hospital's inventory.

Lista de ilustrações

FIGURA 2-1 - ETIQUETAS CERÂMICAS APLICADAS EM INSTRUMENTAIS CIRÚRGICOS [12].	9
FIGURA 2-2 - MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS UTILIZANDO SISTEMA RFID UHF. FONTE [14].	10
FIGURA 2-3 - FARMÁCIA E ALMOXARIFADO CENTRAL DO HU-UFPI. FONTE: AUTOR.	12
FIGURA 2-4 - CATETERES, MARCA-PASSOS E STENTS RESPECTIVAMENTE.	13
FIGURA 2-5 - LEITOR E PULSEIRA LF RFID UTILIZADO PARA CONTROLE DE ACESSO. FONTE: AUTOR.	13
FIGURA 2-6 - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E SUAS CLASSIFICAÇÕES [21].	14
FIGURA 2-7 - SISTEMA RFID COMPLETO. FONTE: AUTOR.	15
FIGURA 2-8 - CONFIGURAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO E TRANSMISSÃO PARA ETIQUETAS (ADAPTADO DE [6]).	16
FIGURA 2-9 - VÁRIOS TIPOS DE ETIQUETAS RFID. EXTRAÍDO DE [22].	17
FIGURA 2-10 - LEITORES RFID A) FIXO B) PORTÁTIL. (DISPONÍVEL EM WWW.ZEBRA.COM).	18
FIGURA 2-11 - TROCA DE MENSAGENS LLRP. EXTRAÍDO DE [23].	19
FIGURA 2-12 - REGIÕES DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO. FONTE: AUTOR.	20
FIGURA 2-13 - ETIQUETAS RFID DE CAMPOS PRÓXIMOS.	21
FIGURA 2-14 – FUNCIONAMENTO DO SISTEMA RFID UHF. O SINAL RETROESPALHADO É MODULADO POR VARIAÇÕES NA IMPEDÂNCIA Z_c DO CHIP DA ETIQUETA. FONTE: AUTOR.	21
FIGURA 2-15 - DENSIDADE DE POTÊNCIA S REFLETIDA POR UM OBJETO.	24
FIGURA 3-1 - ANTENA DE MICROFITA.	26
FIGURA 3-2 - DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO DE UMA ANTENA.	27
FIGURA 3-3 - ALIMENTAÇÃO DE ANTENA PLANAR POR SONDA COAXIAL. FONTE: AUTOR.	29
FIGURA 3-4 - ARTIFÍCIOS PARA COMPACTAÇÃO DE ANTENAS DE MICROFITA. A) EXTREMIDADE COMPLETAMENTE CURTO-CIRCUITADA; B) ESTRUTURA PLANAR PARCIAL CURTO-CIRCUITADA; C) PINO DE CURTO-CIRCUITO.	31
FIGURA 4-1- LEITOR RFID UHF MOTOROLA FX7400. FONTE: AUTOR.	33
FIGURA 4-2 - REALIZAÇÃO DE INVENTÁRIO PELO LEITOR MOTOROLA FX7400. FONTE: AUTOR.	34
FIGURA 4-3 - ANTENA DETECTADA PELO TERMINAL DO LEITOR. FONTE: AUTOR.	34
FIGURA 4-4 - COEFICIENTE DE REFLEXÃO S_{11} VS FREQUÊNCIA DA ANTENA DA ETIQUETA ALIEN ALN-9662 SHORT HIGGS3. FONTE: AUTOR.	35
FIGURA 4-5 - RCS MONOESTÁTICO TRIDIMENSIONAL E POLAR PARA ETIQUETA ALIEN ALN-9662 SHORT HIGGS3. FONTE: AUTOR.	36
FIGURA 4-6 – COEFICIENTE DE REFLEXÃO S_{11} VS FREQUÊNCIA PARA A ANTENA DA ETIQUETA SMARTRAC SHORDDIPOLE. FONTE: AUTOR.	37
FIGURA 4-7 - RCS MONOESTÁTICO TRIDIMENSIONAL E POLAR PARA ETIQUETA SMARTRAC SHORDDIPOLE. FONTE: AUTOR.	37
FIGURA 4-8 – COEFICIENTE DE REFLEXÃO S_{11} VS FREQUÊNCIA PARA A ANTENA DA ETIQUETA IMPINJ H47. FONTE: AUTOR.	38
FIGURA 4-9 - RCS MONOESTÁTICO TRIDIMENSIONAL E POLAR PARA ETIQUETA IMPINJ H47. FONTE: AUTOR.	39
FIGURA 4-10 - SIMULAÇÃO DE VÁRIOS CATETERES ETIQUETADOS UTILIZANDO EXCITAÇÃO POR GUIA DE ONDA. FONTE: AUTOR.	40

FIGURA 4-11 - COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO ENTRE ETIQUETAS (NUMERADAS DE 1 A 6) E GUIA DE ONDA (ÍNDICE 7). ABAIXO UMA VISÃO MAIS APROXIMADA EM TORNO DAS FREQUÊNCIAS DE INTERESSE. FONTE: AUTOR.	40
FIGURA 4-12 - PARÂMETRO S11 PARA ANTENA PATCH QUADRADO. FONTE: AUTOR.....	42
FIGURA 4-13 - DIRETIVIDADE DA ANTENA PATCH QUADRADA VERSUS DIMENSÃO DO PLANO DE TERRA. A) 8,61 dBi (20 x 20 cm); B) 8,88 dBi (25 x 25 cm); C) 9,16 dBi (30 x 30 cm); D) 9,56 dBi (35 x 35 cm). FONTE: AUTOR.	42
FIGURA 4-14 - INSERÇÃO DE DUAS ESTRUTURAS PLANARES DE CURTO-CIRCUITO. FONTE: AUTOR.	43
FIGURA 4-15 - PARÂMETRO S11 DA ANTENA PARCIAL APÓS INSERÇÃO DE <i>PATCHES</i> DE CURTO-CIRCUITO. FONTE: AUTOR.	43
FIGURA 4-16 - PARÂMETRO S11 PARA ANTENA PARCIAL APÓS INSERÇÃO DE <i>PATCH</i> EM FORMATO DE L. FONTE: AUTOR.....	44
FIGURA 4-17 - A) LEIAUTE DA ANTENA DESENVOLVIDA; B) VISÃO EXPLODIDA DA ANTENA; C) PROTÓTIPO CONSTRUÍDO. FONTE: AUTOR.	45
FIGURA 4-18 - DIMENSÕES FINAIS DA ANTENA. FONTE: AUTOR.	45
FIGURA 5-1 - RESULTADOS OBTIDOS POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL. A) PARÂMETRO S11. B) VSWR. FONTE: AUTOR.	47
FIGURA 5-2 – REPRESENTAÇÃO POLAR DA DIRETIVIDADE DA ANTENA. FONTE: AUTOR.	47
FIGURA 5-3 – DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO TRIDIMENSIONAL E SUGESTÕES DE POSICIONAMENTO DA ANTENA EM APLICAÇÕES DE INVENTÁRIO. FONTE: AUTOR.	48
FIGURA 5-4 - CONFIGURAÇÃO PARA MEDIÇÃO EXPERIMENTAL DO DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO EM CÂMARA ANECOICA; FONTE: AUTOR.	49
FIGURA 5-5 - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS S11 OBTIDO POR SIMULAÇÃO E EXPERIMENTAL. FONTE: AUTOR.....	50
FIGURA 5-6 - DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO NORMALIZADO OBTIDO EXPERIMENTALMENTE (ELEVAÇÃO EM -32°). FONTE: AUTOR. ..	50
FIGURA 5-7 - ETIQUETAS UHF UTILIZADAS. FONTE: AUTOR.	51
FIGURA 5-8 - SETUP PARA APLICAÇÃO DA ANTENA E LEITOR UHF RFID; A) EQUIPAMENTO UTILIZADO; B) VÁRIAS ETIQUETAS DISPOSTAS PARA DETECÇÃO; C) EXPERIMENTO REALIZADO. FONTE: AUTOR.	52
FIGURA 5-9 - CATETERES GUIA ETIQUETADOS NO ALMOXARIFADO PARA REALIZAÇÃO DE INVENTÁRIO.	53
FIGURA 5-10 - INVENTÁRIO REALIZADO NO ALMOXARIFADO DO HOSPITAL UTILIZANDO SOFTWARE DO FABRICANTE DO LEITOR RFID. 53	53

Lista de Tabelas

TABELA 4-1 - ESPECIFICAÇÕES DA ETIQUETA ALIEN ALN-9662. FONTE: AUTOR.	35
TABELA 4-2 - ESPECIFICAÇÕES DA ETIQUETA SMARTRAC SHORTDIPOLE. FONTE: AUTOR.....	36
TABELA 4-3 - ESPECIFICAÇÕES DA ETIQUETA IMPINJ H47. FONTE: AUTOR.	38
TABELA 5-1 - PARÂMETROS PARA A ANTENA OBTIDOS POR SIMULAÇÃO. FONTE: AUTOR.....	48
TABELA 5-2 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA APLICAÇÃO DA ANTENA. FONTE: AUTOR.....	52

Lista de abreviaturas

AIDC	Auto Identification and Data Capture
CST	Computer Simulation Technology
DoD	Department of Defense
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
EPC	Electronic Product Code
ERP	Equivalent Radiated Power
FOV	Field of View
ISM	Industrial, Science and Military
LLRP	Low Level Reader Protocol
LF	Low Frequency
OCR	Optical Character Recognition
PSK	Phase Shift Keying
RCS	Radar Cross Section
RSSI	Return Signal Strength Indicator
SHF	Super High Frequency
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
VLSI	Very Large Scale Integration
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio

Lista de símbolos

c	velocidade da luz
ϵ	permissividade elétrica
ϵ_r	permissividade elétrica relativa
σ	área de eco
Γ	coeficiente de reflexão
τ	coeficiente de transmissão
R_a	resistência da antena
X_a	reatância da antena
R_c	resistência do <i>chip</i>
X_c	reatância do <i>chip</i>
λ	comprimento de onda
f	frequência
S	densidade de potência

Sumário

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS	X
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 GERAL	3
1.1.2 ESPECÍFICOS	3
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2 IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA	6
2.1 INTRODUÇÃO	6
2.1.1 HISTÓRICO	6
2.1.2 RFID EM AMBIENTES HOSPITALARES	8
2.1.3 APLICAÇÃO PROPOSTA	12
2.2 COMPONENTES DA TECNOLOGIA RFID	14
2.2.1 ETIQUETAS PASSIVAS, SEMIPASSIVAS E ATIVAS	15
2.2.2 LEITOR RFID	17
2.2.3 MIDDLEWARE	18
2.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA TECNOLOGIA RFID	20
2.3.1 EQUAÇÃO DE FRIIS	22
2.3.2 SEÇÃO TRANSVERSAL DE RADAR (RCS)	23
3 ANTENAS DE MICROFITA	25
3.1 PADRÃO DE IRRADIAÇÃO	26
3.2 IMPEDÂNCIA DE ENTRADA	28
3.3 TÉCNICAS DE ALIMENTAÇÃO DE ANTENAS DE MICROFITA	29

3.4	ANTENAS DE MICROFITA COMPACTAS	30
4	METODOLOGIA	32
4.1	HARDWARE E SOFTWARE	32
4.1.1	LEITOR UHF RFID	32
4.2	CARACTERIZAÇÃO DE ETIQUETAS UHF RFID	34
4.2.1	ETIQUETA ALIEN ALN-9662 SHORT HIGGS3	35
4.2.2	ETIQUETA SMARTRAC SHORTDIPOLE	36
4.2.3	ETIQUETA UHF IMPINJ H47	38
4.2.4	DETECÇÃO DE VÁRIOS OBJETOS	39
4.3	PROJETO DA ANTENA DO LEITOR UHF RFID DE BAIXO CUSTO	41
4.3.1	REDUÇÃO DAS DIMENSÕES DA ANTENA	43
5	RESULTADOS	46
5.1	SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	46
5.2	RESULTADO EXPERIMENTAIS	49
5.3	APLICAÇÃO DA ANTENA	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	56
	ANEXOS	63

1 Introdução

Um hospital representa um sistema logístico altamente complexo. Diferentemente de setores como o industrial ou comerciário em que falhas ocasionam perda de capital ou produção, no setor hospitalar a ineficiência pode acarretar perdas de vidas humanas. Dessa forma, as melhorias nesse sistema complexo envolvendo vidas humanas devem ser contínuas. Ainda que de forma indireta à atividade médica, quer seja na infraestrutura ou no gerenciamento de material e pessoas, essas melhorias podem reduzir significativamente os riscos já citados.

É importante ressaltar que nos almoxarifados dos hospitais se encontram itens de alto valor comercial, baixo peso e volume, como por exemplo, marca-passos, *stents*, cateteres, medicamentos oncológicos, entre outros, o que os tornam susceptíveis a perdas, desvios e inutilização. Adicionado a isso, existe a possibilidade de perecibilidade devido à má gestão do estoque, de modo que insumos valiosos podem se perder por expiração da validade antes da sua correta destinação. Portanto, um bom gerenciamento desses recursos é necessário para além de reduzir os riscos de perda de vida humana, já fragilizadas, evitar desperdícios.

A demanda por insumos e suprimentos num hospital quase sempre vem acompanhada da urgência, que faz com que os desperdícios aumentem ainda mais em um estoque altamente denso. Muitas vezes o item existe, mas sequer é localizado. Porém o fluxo de admissão é sempre contínuo e a desorganização tende a agravar ainda mais o problema.

O controle minucioso do estoque, parte do processo da cadeia de suprimentos, contribui para evitar desperdícios principalmente tendo em conta o alto valor dos insumos adquiridos. A tecnologia de identificação por radiofrequência RFID (*Radio*

Frequency Identification) surge como uma potencial solução para os problemas apresentados. RFID é considerada uma tecnologia de identificação automática de objetos, pessoas ou animais sem a necessidade do contato físico ou de visada direta entre o produto e o leitor, uma vez que ela faz uso de ondas de rádio que interagem com etiquetas aderidas ou embutidas nos itens a serem identificados. Essa tecnologia oferece a possibilidade de leitura de vários objetos de uma única vez e alta capacidade de codificação, o que permite a identificação única de um item, diferentemente da técnica que utiliza os códigos de barras, tecnologia mais conhecida atualmente que identifica grupos de itens.

Embora seu princípio seja conhecido desde o período da Segunda Guerra Mundial, seu alto preço tornava sua utilização restrita às aplicações no domínio militar. Porém nas últimas décadas, a evolução da microeletrônica, e a tecnologia VLSI (do inglês *Very-Large-Scale Integration*) permitiram a produção em grande volume das etiquetas, tornando os preços mais acessíveis para sua utilização em aplicações comerciais. É válido também ressaltar os esforços da cadeia de distribuidores Wal-Mart e do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) no incentivo ao desenvolvimento dessa tecnologia [1]. Em seguida, um passo importante foi atingido após a padronização da tecnologia RFID a partir do início dos anos 2000, em que o padrão EPC *Global Class 1 Generation 2* (Gen 2) passou a ser o mais amplamente adotado [1].

No ambiente hospitalar o uso da tecnologia RFID vem crescendo bastante nos últimos anos. Vários estudos relatam a importância da sua utilização principalmente para reduzir erros médicos. De forma indireta à atividade médica, localizar suprimentos ou medicamentos, ser alertado sobre expiração da validade, verificar quantidade em estoque, solicitar automaticamente a compra para reposição do estoque, rastrear e monitorar itens em tempo real são algumas das melhorias possibilitadas pela tecnologia RFID [2].

É estimado que a saúde será um dos maiores mercados consumidores de tecnologia RFID [3] e a engenharia irá fazer parte desta tendência devido sua veia tecnológica e natureza de oferecer soluções para a sociedade.

Neste trabalho são apresentados os princípios que regem a tecnologia RFID. A teoria de antenas, parte integrante das etiquetas e leitores, o princípio do retroespalhamento, a seção transversal de radar (RCS), parâmetro que exprime o quão um objeto pode ser detectável pelos sistemas de rastreamento, no intuito de compreender as limitações e possibilidades do uso da rádio identificação no gerenciamento de itens hospitalares. Foram realizadas simulações utilizando o *software* comercial de modelagem eletromagnética CST *Microwave Studio* para caracterização de etiquetas RFID adquiridas para uma melhor visão dos fenômenos estudados.

Ao final foi projetada uma antena de baixo custo para leitor RFID UHF possibilitando redução significativa no tempo e custo da realização do inventário do almoxarifado do hospital, contribuindo para a minimização de perdas principalmente por expiração do prazo de validade e custos com mão de obra.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo geral a construção de uma antena para leitor UHF RFID de baixo custo para aplicações de inventário de itens de alto valor no almoxarifado do Hospital Universitário do Piauí.

1.1.2 Específicos

Mais especificamente podem ser citados:

- Realizar uma pesquisa sobre a teoria que rege os sistemas RFID, de forma a identificar os tipos, as configurações, o alcance, o tamanho, o material adequado aos itens selecionados;
- Estudar teoria de antenas, técnicas de compactação, adaptação de impedância, modelagem do diagrama de irradiação para escolha do melhor tipo de antena para a aplicação proposta e avaliação de figuras de mérito da antena escolhida para otimização dos seus parâmetros.
- Caracterizar etiquetas RFID existentes no mercado utilizando *software* de simulação eletromagnética e após sua obtenção realizar medições dos seus parâmetros, tais como alcance, RCS, variando a orientação das etiquetas, de forma a possibilitar a escolha das mais adequadas para a aplicação em inventário;

1.2 Organização do Trabalho

Além deste capítulo introdutório, esta dissertação é composta por mais quatro capítulos que apresentam os conteúdos a seguir.

O segundo capítulo aborda um histórico sobre a tecnologia RFID, como esta vem sendo utilizada principalmente em ambientes hospitalares, suas tendências e o princípio de funcionamento da tecnologia.

Em seguida, no terceiro capítulo é apresentada a fundamentação teórica das antenas planares de microfita, bastante utilizadas atualmente por sua fácil integração com dispositivos eletrônicos como o leitor RFID utilizado e técnicas para torna-la compacta.

No quarto capítulo é apresentada a metodologia empregada para atingir os objetivos, o *hardware* disponível para a realização de inventário e como foi possível criar uma antena RFID UHF compatível com o leitor adquirido.

Os resultados das simulações realizadas, dos experimentos, da aplicação proposta e a análise dos mesmos são apresentados no quinto capítulo.

Ao final são apresentadas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido bem como as perspectivas de trabalhos futuros.

2 Identificação por Radiofrequência

2.1 Introdução

A Identificação por Radiofrequência é uma tecnologia de identificação automática, (*AIDC Automatic Identification and Data Capture*) como código de barras, biometria, OCR (*Optical Character Recognition*).

O código de barras foi patenteado em 1952 e ainda hoje é a tecnologia de identificação automática mais difundida tendo bastante aceitação principalmente devido à sua simplicidade, baixo custo de implementação e manutenção e existência de padrões bem definidos e aceitos mundialmente. Porém entre as desvantagens da sua utilização pode-se citar a necessidade de operação humana, a leitura de apenas um código por vez, a necessidade de visada, o baixo alcance e a baixa quantidade de informação que portam [4].

A tecnologia RFID se destaca das demais tecnologias principalmente pela capacidade de leitura de múltiplos objetos simultaneamente, sem necessidade de visada direta e operador manual e seu mercado cresce cada vez mais.

2.1.1 Histórico

A tecnologia RFID remonta ao período da Segunda Guerra Mundial. Havia a necessidade de se detectar alvos militares, tais como aviões. Até então, todas as potências militares utilizavam os radares, desenvolvidos pelo físico escocês Sir Robert Alexander Watson-Watt em 1935 [5]. Identificar se os alvos eram inimigos ou aliados poderia ser fundamental para o sucesso de uma batalha. Dessa forma, a força aérea alemã desenvolveu um sistema primitivo de RFID. A cada vez que se aproximavam de sua base, os aviões realizavam um giro de forma a alterar a onda refletida aos radares, possibilitando sua identificação mesmo a quilômetros de distância [6].

O primeiro trabalho científico publicado sobre a utilização da RFID fora do domínio militar foi intitulado “*Communication by Means of Reflected Power*” e representou um marco na história da tecnologia [7].

No início dos anos 70, Mario Cardullo obteve a primeira patente de uma etiqueta RFID. Porém quase em paralelo, no mesmo ano, Charles Walton patenteou um *transponder* passivo que permite abrir a porta de um veículo sem necessidade de chaves [8]. Ainda nos anos 70 o Departamento de Energia dos Estados Unidos solicitou ao Laboratório Nacional de Los Alamos que desenvolvessem um sistema para rastreamento de material nuclear. A solução foi inserir *transponders* em caminhões e leitores nos portões das instalações de segurança. O mesmo laboratório também desenvolveu etiquetas RFID passivas para rastrear bovinos a pedido do Departamento da Agricultura em meados dos anos 1980 [8].

Os engenheiros da IBM desenvolveram e patentearam no início dos anos 1990 um sistema RFID em UHF (*Ultra-Uigh Frequency*), que oferecia alcance de leitura superiores a 5 metros e altas taxas de transferência. Devido a problemas financeiros, a IBM vendeu suas patentes à Intermec. Porém, devido ao alto preço da tecnologia e, principalmente à falta de padronização, sua utilização não avançou [9].

O grande salto da tecnologia RFID UHF se deu a partir de 1999 com a fundação do Auto-ID Center no Massachusetts Institute of Technology. Entre 1999 e 2003 o Auto-ID Center recebeu o suporte de grandes companhias e do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, que culminou no EPCglobal, o primeiro padrão para a tecnologia RFID em 1999 e a ratificação do padrão EPCglobal Gen 2 em 2004 [9].

Atualmente os maiores fornecedores de tecnologia RFID, incluindo Motorola, Impinj, Alien, ThingMagic, são aderentes ao padrão EPC Global Class 1 Generation 2

(Gen 2), o que possibilita que uma etiqueta de quaisquer destes fabricantes seja reconhecida por leitores de outros fabricantes também aderentes ao padrão.

2.1.2 RFID em Ambientes Hospitalares

No domínio hospitalar, existem várias aplicações em que o monitoramento ou localização é importante. A RFID atende bem às seguintes tarefas [10]:

- Rastrear fármacos, desde sua fabricação até o momento da administração ao paciente;
- Rastrear ativos visando a redução de perdas, como por exemplo, mobília, equipamentos e dispositivos móveis, e outros itens valiosos;
- Localizar profissionais de saúde nos hospitais ou em outras instituições para um melhor enfrentamento de emergências;
- Assegurar identificação adequada de amostras de laboratório, incluindo exames de biópsias, tubos de sangue, urina, para reduzir erros médicos;
- Identificar pacientes visando a correta aplicação de medicamentos ou realização de cirurgias, e rastreamento para proteger pacientes vulneráveis (idosos, crianças e portadores de Alzheimer);
- Gerenciar substâncias controladas, patogênicas e outros materiais que exponha o público em risco, como por exemplo instrumentais cirúrgicos, roupas e lençóis contaminados;

A utilização de leitores móveis RFID em hospitais permite a implementação de prateleiras inteligentes, principalmente para o monitoramento de itens de alto valor [11], tais como desfibriladores ou *stents*.



Figura 2-1 - Etiquetas cerâmicas aplicadas em instrumentais cirúrgicos [12].

No Hospital Universitário de Shimane, Japão, [12] decidiram aplicar etiquetas RFID cerâmicas (Figura 2-1) em instrumentais cirúrgicos no intuito de minimizar os riscos de serem esquecidos dentro de pacientes. Após sua utilização, esses instrumentais estão contaminados e devem ser destinados à esterilização. As etiquetas são resistentes ao calor, umidade e autoclaváveis, podendo ser monitoradas e contadas individualmente sem o contato do profissional com substâncias que o exponha a riscos.

As lavanderias dos hospitais recebem diariamente grandes quantidades de roupas sujas e contaminadas. O controle da quantidade de roupas é dificultado pelo ambiente insalubre criado pela presença delas. Uma solução apresentada é a utilização de etiquetas RFID costuradas nas roupas de modo a realizar a contagem destas sem a necessidade de abertura das sacolas [13].

Em hospitais a disponibilidade de equipamentos médicos, tais como, bombas de infusão, desfibriladores, raios-x portáteis e etc., é bem menor que o número de leitos. Normalmente estes equipamentos são utilizados em diferentes áreas no hospital e requerem manutenção periódica, porém, muitas vezes não são encontrados devido aos constantes deslocamentos. Para tal, foi proposta a utilização de um sistema RFID UHF passivo para localização destes equipamentos e para ajudar a equipe de manutenção da

Engenharia Clínica do hospital a garantir a disponibilidade dos equipamentos médicos [14].



Figura 2-2 - Monitoramento de equipamentos médicos utilizando sistema RFID UHF. Fonte [14].

Em Ohio, Estados Unidos, o Hospital comunitário Wayne HealthCare utilizou RFID para reduzir os custos com gerenciamento de ativos de TI e melhorar os serviços aos pacientes [15]. O processo de inventário era demorado e bastante custoso. Com a utilização de leitores RFID portáteis o trabalho foi bastante reduzido e o retorno de investimento foi inferior a um ano. Com o sucesso desse caso, a direção decidiu implementar um sistema RFID para identificação e localização de pacientes no centro cirúrgico do hospital no intuito de manter os familiares dos pacientes informados sobre o estado dos seus entes queridos.

No estado do Arkansas, Estados Unidos, o Sistema Regional de Saúde de Conway preocupado com a segurança das crianças recém-nascidas adotou o sistema conhecido como TotGuard, capaz de monitorar os bebês em tempo real pela utilização de uma tornozeleira com etiqueta RFID que emite um alarme em caso de sua violação ou caso uma criança esteja localizada próxima a uma das saídas [16]. Dados do *National Center*

for Missing & Exploited Children mostram que 133 crianças foram sequestradas em centros de saúde dos EUA entre 1983 e 2016.

A Universidade Médica da Carolina do Sul possui mais de 20 mil dispositivos médicos (bombas de infusão, aparelhos de aquecimento e refrigeração, monitores de pulso e scanners, etc.) sob a responsabilidade do seu Centro de Distribuição de Equipamentos [17]. Antigamente todo o rastreamento dos equipamentos era feito por planilhas em papel, que não eram tão eficientes a ponto de terem que aumentar o estoque constantemente para suprir a demanda, resultando num alto custo com equipamentos. A solução foi a implementação de um sistema RFID para monitoramento em tempo real destes equipamentos. Como resultado imediato, conseguiram administrar um estoque com apenas 38 *scanners* de bexiga, em vez dos 100 solicitados, o que num primeiro momento representou uma economia de 750 mil dólares e redução do espaço físico destinado ao estoque dos equipamentos eletromédicos consignados.

A tecnologia RFID pode disponibilizar a identificação do paciente no intuito de reduzir os principais erros médicos. Segundo [18] os erros médicos já são a terceira causa de morte nos Estados Unidos, e muitas vezes não ocorrem por culpa dos profissionais. A identificação incorreta do paciente e dos itens estão contribuindo para essas mortes.

Os hospitais e organizações médicas serão os maiores adeptos da tecnologia RFID nos próximos anos [19]. O mercado dos Sistemas de Localização em Tempo Real (RTLS *Real Time Location Systems*), cuja RFID está fortemente inserida, deve valer 8,09 bilhões de dólares em 2022, sendo que 38,6% deste mercado será destinado ao domínio dos cuidados de saúde [20].

2.1.3 Aplicação Proposta

No almoxarifado central e de farmácia do Hospital Universitário da UFPI existem vários itens de alto valor agregado. Manter um controle rigoroso da destinação destes produtos, reduzir os espaços físicos ocupados por estes e otimizar a alocação da mão de obra é de suma importância na boa utilização dos recursos públicos.



Figura 2-3 - Farmácia e almoxarifado central do HU-UFPI. Fonte: autor.

Com este trabalho, propõe-se a utilização de RFID na realização do inventário de parte desses itens, com foco nos de maior valor e de destinação bem definida. É válido ressaltar que um método de identificação de um objeto deve custar menos do que o benefício de se conhecer sua identidade [6]. Desse modo, os itens inicialmente escolhidos são marca-passos (valores superiores a R\$ 30.000,00), *stents* farmacológicos (até R\$ 7.000,00) e cateteres (até R\$ 15.000), que possuem preços relativamente altos e são sempre destinados ao centro cirúrgico ou hemodinâmica. Estes preços podem ser facilmente consultados no site de Compras Governamentais.



Figura 2-4 - Cateteres, marca-passos e *stents* respectivamente.

O primeiro passo é o comissionamento dos produtos, com a colocação de etiquetas RFID UHF por apresentar o menor custo e alcance de leitura adequado, e posterior inserção das características e datas de vencimento numa base de dados. Após essa etapa, os itens etiquetados são colocados no almoxarifado e podem ser localizados pela antena desenvolvida neste trabalho conectada ao leitor RFID.

Montado o sistema, o inventário do estoque pode ser realizado rapidamente posicionando algumas antenas nas prateleiras. Atualmente o inventário é realizado por contagem manual em horários alternativos, o que demanda recursos humanos e de tempo. Para restringir o acesso ao almoxarifado, apenas profissionais autorizados que portem uma pulseira LF RFID cadastrada na base de dados podem aceder o recinto posicionando a mesma num leitor para controle de acesso ao almoxarifado (Figura 2-5).



Figura 2-5 - Leitor e pulseira LF RFID utilizado para controle de acesso. Fonte: autor.

2.2 Componentes da tecnologia RFID

A tecnologia RFID permite identificação automática e remota de entidades (objetos, pessoas, animais, etc.) utilizando ondas de radiofrequência. Na Figura 2-6 é apresentado um resumo da classificação internacional adotada para as frequências utilizadas em telecomunicações. Verifica-se que a faixa do espectro eletromagnético destinadas às radiofrequências se estendem de 3 kHz a 300 GHz . As micro-ondas estão incluídas nas radiofrequências correspondendo à faixa entre 300 MHz e 300 GHz .

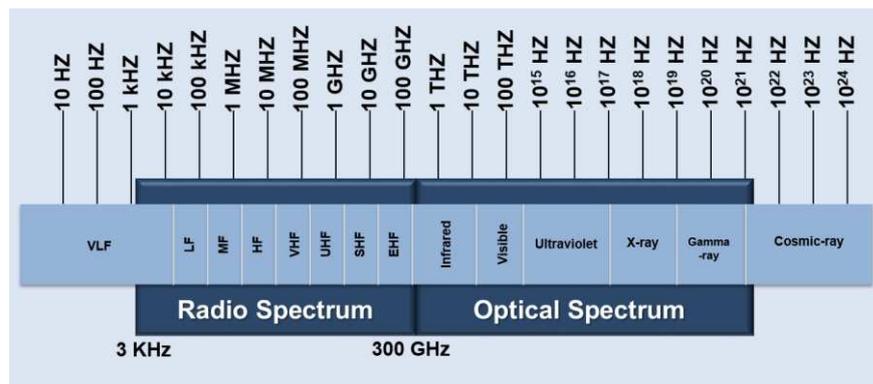


Figura 2-6 - Espectro eletromagnético e suas classificações [21].

Para as aplicações RFID, as faixas de radiofrequência autorizadas são 125 kHz (LF – *Low Frequency*), 13,56 MHz (HF – *High Frequency*), 433 MHz (*VHF – Very High Frequency*), 433 MHz, 860 – 960 MHz e 2,4 GHz (UHF – *Ultra High Frequency*), e 5,8 GHz (SHF – *Super High Frequency*). Cada uma destinada a aplicações específicas sendo a faixa UHF mais adequada neste projeto por corresponder às etiquetas mais baratas, excelente padronização e alcance próximo a cinco metros.

A denominação RFID é um termo genérico para designar qualquer meio de identificar objetos por radiofrequência, como por exemplo os sistemas de radares. No caso geral, se refere a um sistema que consiste em *transponders* (abreviação para *transmitter-responders*) e *transceivers* (interrogadores, leitores, *scanners*). Os

transponders ou etiquetas estão localizados nos objetos a serem identificados, normalmente são mais baratos e possuem um circuito eletrônico contendo o código de identificação e conectado a uma antena. Os *transceivers* ou leitores são capazes de detectar e se comunicar com as etiquetas.

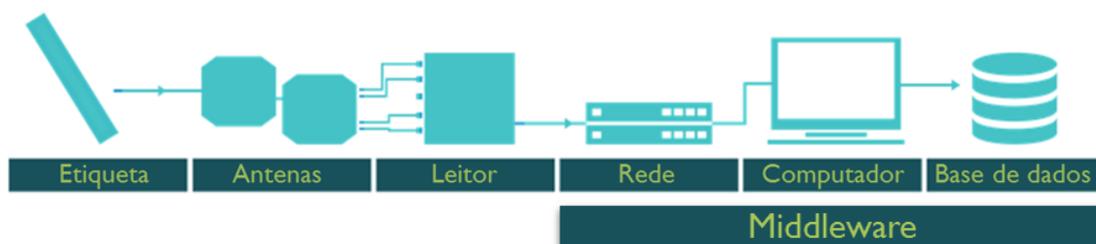


Figura 2-7 - Sistema RFID completo. Fonte: Autor.

Obter informação por um leitor a respeito de um objeto etiquetado não terá qualquer utilidade se esta não puder ser armazenada ou processada, de tal forma que os leitores disponham de conectividade com computadores ou redes e as informações acerca dos objetos fiquem à disposição numa base de dados. A esta parte mais específica dá-se o nome de *middleware* (Figura 2-7).

Os sistemas RFID podem existir em diversas configurações que podem ser classificadas de acordo com a frequência de operação, tipo de alimentação da etiqueta (ativas, passivas ou semipassivas) (Figura 2-8) e método de comunicação entre leitor e etiquetas (acoplamento indutivo ou retroespalhamento).

2.2.1 Etiquetas Passivas, Semipassivas e Ativas

As etiquetas RFID passivas não possuem fonte de alimentação própria como baterias, e toda a energia necessária para ativação do *chip* é proveniente do enlace com o leitor. Normalmente ficam inertes e só se manifestam quando interrogadas pelo leitor. Por não possuírem baterias são bem mais baratas, não requerendo manutenção e seu

tamanho reduzido permite que sejam utilizadas em adesivos plásticos ou de papel. Como principal desvantagem pode ser citado o alcance reduzido.

As etiquetas semipassivas apresentam uma melhoria em relação às passivas por possuírem uma fonte de alimentação própria destinada à alimentação do *chip* e algum sensor que possa estar embarcado. Desse modo, toda a energia proveniente das ondas de radiofrequência do leitor é destinada à transmissão dos dados, ocasionado aumento no alcance máximo de leitura dessas etiquetas.

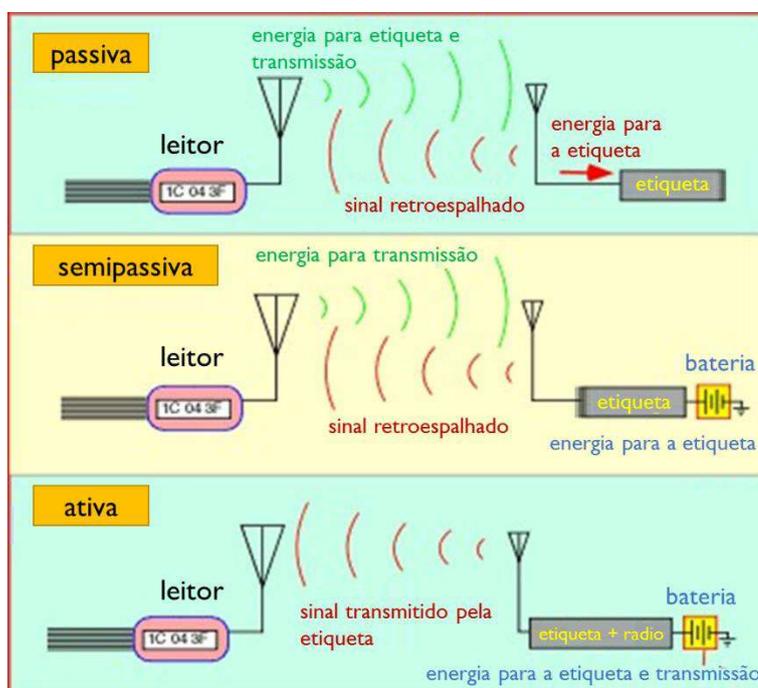


Figura 2-8 - Configurações de alimentação e transmissão para etiquetas (Adaptado de [6]).

Com a presença de bateria, uma etiqueta ativa pode transmitir suas informações de identificação e até mesmo de sensores embarcados de forma periódica sem a necessidade de demanda de um leitor. São caracterizadas também pelo longo alcance (algumas atingindo até 100 m) e permitem inclusive a comunicação entre etiquetas originando redes de sensores sem fio. Como todo sistema dependente de baterias,

requerem manutenções dada a vida útil destas que encarecem significativamente o custo do sistema. Vários modelos de etiquetas RFID são ilustrados na Figura 2-9.



Figura 2-9 - Vários tipos de etiquetas RFID. Extraído de [22].

2.2.2 Leitor RFID

Os leitores RFID, também conhecidos como *transceivers*, são dispositivos responsáveis por realizar consultas às etiquetas acerca de sua informação via ondas de radiofrequência. Em sistemas passivos são ainda mais importantes, pois têm a função adicional de fornecer energia para ativação do *chip* das etiquetas. Outra função é a realização da escrita ou modificação dos dados de alguns *chips* de etiquetas inclusive desabilitação da mesma. Normalmente podem ser do tipo fixo ou portáteis (Figura 2-10).



Figura 2-10 - Leitores RFID a) fixo b) portátil. (Disponível em www.zebra.com).

Dentre as características desejáveis para os leitores estão: acurácia, eficiência, flexibilidade, sensibilidade, seletividade, alcance dinâmico [6]. O desempenho de um leitor RFID é caracterizado principalmente pelo seu alcance de leitura, que normalmente é afetado por três fatores. A potência necessária para ativar a etiqueta, a potência refletida pela etiqueta e a sensibilidade do leitor [1], parâmetros que são normalmente obtidos pela Equação de Friis (Seção 2.3.1).

2.2.3 Middleware

O *middleware* é responsável por tratar a grande quantidade de dados brutos provenientes das etiquetas e transformá-los em informação útil, por exemplo, *stent* modelo X associado à etiqueta com EPC Id E2000015860E00971060B354 adentrou o centro cirúrgico às 09h35m15s do dia 25/05/2018 conforme solicitado pelo profissional Y. Marcapasso modelo N associado a etiqueta com EPC Id E2000015860E01271054A301 está no almoxarifado e vencerá em 15 dias.

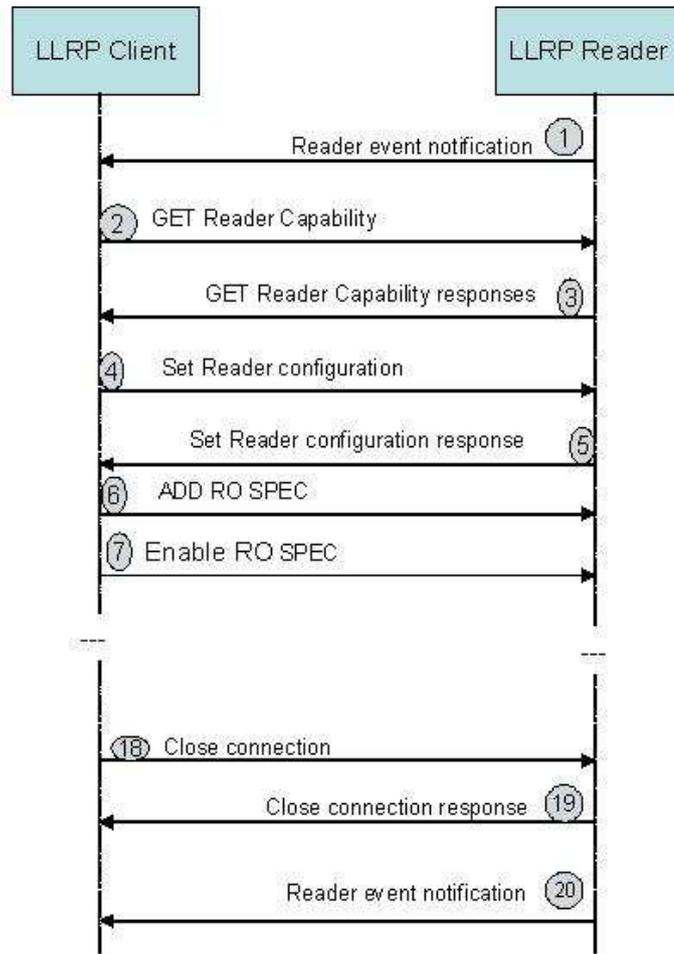


Figura 2-11 - Troca de mensagens LLRP. Extraído de [23].

O *middleware* se comunica com os leitores por meio do LLRP (*Low Level Reader Protocol*, em português Protocolo de Leitor de Baixo Nível), um protocolo padrão (camada de aplicação) utilizado por vários fabricantes de tecnologia RFID oferecendo uma interface para comunicar leitor e cliente [24]. Foi ratificado como um padrão pela EPC Global em 2007. Este protocolo torna mais fácil o desenvolvimento do *middleware* permitindo o controle do leitor via mensagens em XML (Figura 2-11). As principais são: *Reader Operation Specification* (ROSpec) e *Access Specification* (AccessSpec), responsáveis respectivamente pelo inventário das etiquetas (identificação de todas as etiquetas no campo de visão do leitor) e acesso à memória das etiquetas.

2.3 Princípio de Funcionamento da Tecnologia RFID

De acordo com as regiões do campo eletromagnético de uma antena (Figura 2-12), as etiquetas RFID ainda podem ser classificadas em dois tipos: campo próximo que utilizam acoplamento indutivo e campo distante que se baseiam no princípio do retroespalhamento. Sistemas RFID cujas distâncias entre leitores e etiquetas superem 1m são considerados sistemas de longo alcance. Tais sistemas operam principalmente nas frequências UHF de 868MHz (Europa) e 915MHz (EUA), e nas frequências de micro-ondas 2,4 GHz e 5,8 GHz. [25].

Segundo [26] a região de campo distante é aquela em que a frente de onda eletromagnética se apresenta como onda plana no espaço. Nessa região os campos elétricos e magnéticos estão dispostos ortogonalmente. A transição entre as regiões de campo próximo e distante não é abrupta. De forma geral pode ser compreendida entre

$$\frac{\lambda}{2\pi} < r < \frac{2D^2}{\lambda}, \quad (1)$$

Em que D corresponde a dimensão máxima da antena.

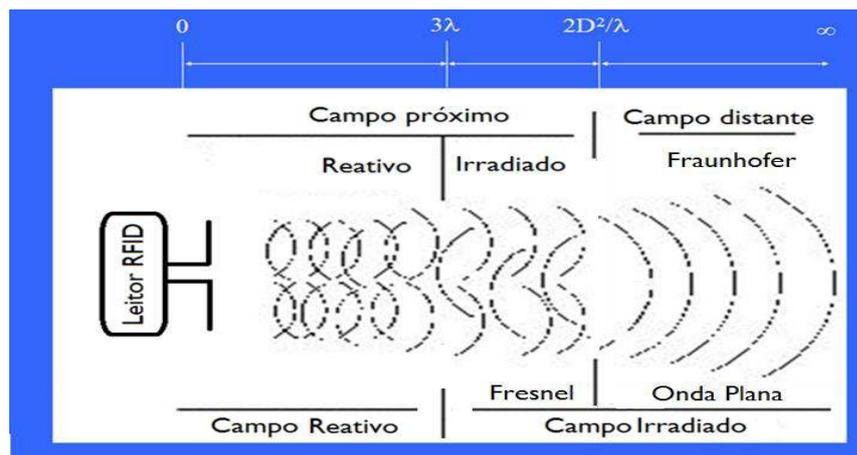


Figura 2-12 - Regiões do campo eletromagnético. Fonte: Autor.

Os sistemas RFID de campos próximos (Figura 2-13) se baseiam no princípio de indução de Faraday, utilizando acoplamento indutivo (similar aos transformadores), e suas antenas normalmente são formada por bobinas. Geralmente são usadas para curtas distâncias quando comparadas às dimensões da antena, e suas principais frequências utilizadas em RFID são: LF (125 – 134 kHz) e HF (13,56 MHz).

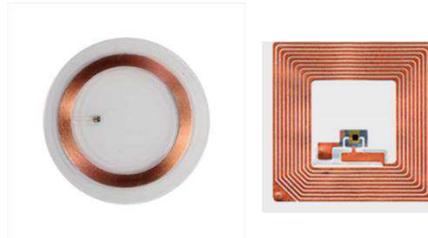


Figura 2-13 - Etiquetas RFID de campos próximos.

Sistemas RFID UHF e micro-ondas operam na região de campo distante e utilizam o princípio do retroespalhamento ou potência refletida. Uma onda eletromagnética emitida no espaço pelo leitor encontra vários objetos. Parte dessa energia que atinge o objeto é absorvida por ele e transformada em calor, enquanto a restante é espalhada em várias direções. Parte dessa energia refletida encontra a antena do leitor. Este é o mesmo princípio utilizado no radar [25]. O leitor emite um sinal de onda contínua. A etiqueta recebe parte desta energia, retifica e energiza o seu *chip*. Este por sua vez codifica o sinal a ser enviado de volta ao leitor ao variar sua impedância entre dois estados possíveis (Figura 2-14).



Figura 2-14 – Funcionamento do sistema RFID UHF. O sinal retroespalhado é modulado por variações na impedância Z_C do chip da etiqueta. Fonte: Autor.

2.3.1 Equação de Friis

Nos sistemas RFID várias características podem ser mensuradas em laboratório, tais como, alcance máximo de leitura, potência mínima necessária para ativação do chip, taxa de leitura, etc. Mensurar o desempenho do sistema é fundamental para prever seu sucesso em aplicações. Em aplicações RFID o desempenho das etiquetas influencia diretamente o sucesso do sistema completo. No espaço livre, a potência recebida pela antena de uma etiqueta RFID pode ser calculada pela equação de Friis [11],

$$P_e = P_{EIRP} \cdot G_e \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2, \quad (2)$$

em que: P_e é a potência que atinge a antena da etiqueta, G_e o ganho desta antena, r a distância entre leitor e etiqueta, λ o comprimento de onda do sinal emitido pelo leitor e P_{EIRP} é a potência isotrópica equivalente irradiada (do inglês *Equivalent Isotropically Radiated Power*).

A partir da equação de Friis pode-se inferir o alcance máximo de leitura de uma etiqueta isolando r e apresentado a seguinte fórmula

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{EIRP} \cdot G_e (1 - |\Gamma|)^2}{P_{ativ}}}, \quad (3)$$

em que, P_{ativ} é a potência mínima necessária para ativar o *chip* e Γ é o coeficiente de reflexão entre os terminais das antenas e o *chip* e pode ser expresso por

$$\Gamma = \frac{Z_c - Z_a^*}{Z_a + Z_c}, \quad (4)$$

em que $Z_c = R_c + jX_c$ e $Z_a = R_a + jX_a$ são as impedâncias do *chip* e da antena respectivamente. Outra abordagem para análise da fórmula de Friis é pelo coeficiente de transmissão τ ,

$$\tau = 1 - \Gamma, \quad (5)$$

de modo a se obter

$$\tau = \frac{4.R_c.R_a}{|Z_c+Z_a|^2}. \quad (6)$$

Segundo [27], a equação de Friis pode ser utilizada na obtenção das respostas das seguintes perguntas:

- Qual a distância máxima de funcionamento de uma etiqueta em particular para uma potência P_{EIRP} dada?
- Qual a potência P_{EIRP} mínima que o leitor deve fornecer para se obter um alcance de leitura desejado?
- Qual a intensidade mínima do campo elétrico E para que um chip seja ativado a uma distância determinada?

2.3.2 Seção Transversal de Radar (*RCS*)

Segundo [28] um sistema RFID UHF passivo pode ser considerado um sistema de radar pois o enlace de comunicação entre o leitor e a etiqueta é puramente retroespalhado. A potência recebida pelo radar é proporcional à RCS do objeto [29];

A seção transversal de radar σ (*Radar Cross Section*, RCS) é a medida do quão um objeto pode ser detectado por um radar, ou ainda, a capacidade de este refletir ondas eletromagnéticas e é expressa em m^2 . Porém ela depende não somente da

geometria do objeto, mas também o material, estrutura, comprimento de onda, polarização da onda incidente, ângulo de observação [25]. De maneira simples, quando um sinal de radar atinge um objeto, ondas eletromagnéticas são espalhadas em todas as direções, incluindo a do próprio radar. Quando transmissor e receptor têm a mesma posição, tem-se RCS monoestática, quando se localizam em posições distintas, refere-se como RCS biestática.

Considerando S a densidade de potência irradiada à certa distância r do ponto de geração de um emissor isotrópico tem-se

$$S = \frac{P_{EIRP}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (7)$$

Ao atingir um *transponder*, sua antena reflete uma potência proporcional à densidade de potência S e a área de eco ou seção transversal de radar σ

$$P_S = \sigma \cdot S \quad (8)$$

A onda eletromagnética refletida também se propaga no espaço na forma de uma casca esférica e então parte desta energia retorna ao transmissor atenuada pelo quadrado da distância r .

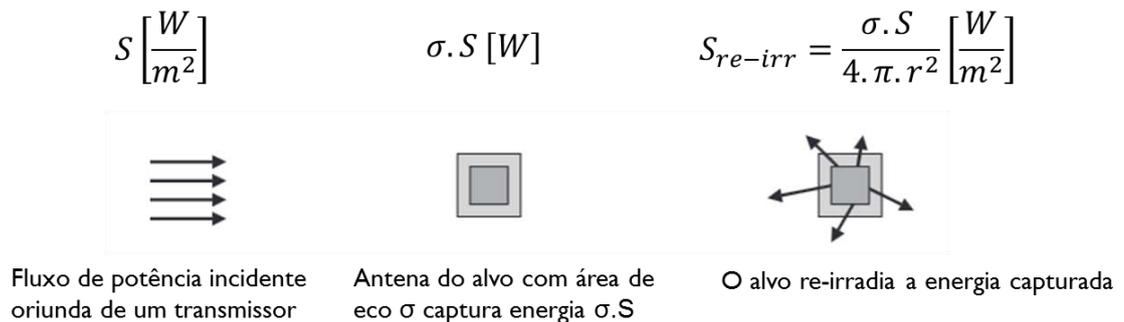


Figura 2-15 - Densidade de potência S refletida por um objeto.

Logo a densidade de potência que atingirá o transmissor é

$$S_{re-irr} = S \frac{\sigma}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = P_{EIRP} \cdot \frac{\sigma}{(4 \cdot \pi)^2 \cdot r^4}, \quad (9)$$

o que significa que caso se queira dobrar a densidade de potência S do sinal refletido no transponder que atinge o transmissor, é necessário aumentar a potência de transmissão do leitor em dezesseis vezes [25].

Em sistemas RFID, a etiqueta modifica sua RCS variando o casamento do *chip* com a antena entre dois estados, geralmente curto-circuito e carga adaptada [30]. Para uma etiqueta RFID UHF a RCS é dada por

$$\sigma_{1,2} = \frac{\lambda^2 G_a^2 R_a^2}{\pi \cdot [Z_a + Z_{c1,2}]^2}, \quad (10)$$

em que G_a é o ganho da antena, $Z_a = R_a + jX_a$ é a impedância complexa da antena e Z_{c1} e Z_{c2} são as impedâncias complexas do *chip*.

A RCS pode ser utilizada no sistema RFID principalmente para medida do desempenho da sensibilidade de detecção das etiquetas versus orientação.

3 Antenas de microfita

Antenas de microfita são de grande interesse em aplicações aeroespaciais, automobilística, mísseis e dispositivos de comunicações por apresentarem perfil baixo, volume e peso reduzidos e facilidade de instalação e são as mais utilizadas em leitores RFID UHF [6]. Sua fabricação pode ser facilmente realizada por meio de técnicas de

circuito impresso e permite fácil integração com dispositivos discretos como diodos, e tecnologias SMD e MMIC. No entanto, possuem largura de banda estreita, baixa eficiência, ganho e capacidade de potência limitada pela tensão de ruptura do dielétrico [31].

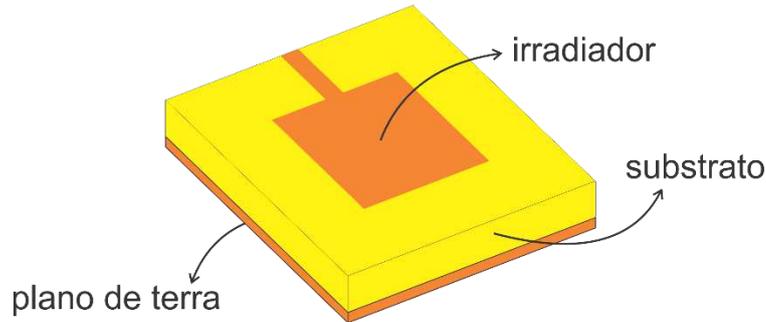


Figura 3-1 - Antena de microfitas.

Geralmente são compostas por uma plaqueta metálica (*patch*) sobre um substrato dielétrico e um plano de terra, conforme ilustrado na Figura 3-1. O *patch* pode ser construído em diversos formatos, dos quais os retangulares e circulares são os mais usuais, sendo importante frisar que sua geometria afeta diretamente a distribuição da corrente que por sua vez, altera a forma que a antena irradia.

Para cada tipo de aplicação é necessário conhecer as propriedades da antena. Esses parâmetros lhe conferem sua identidade e são de fundamental importância para avaliar o seu desempenho. Nas próximas seções será explanado inicialmente de uma forma geral a teoria de antenas.

3.1 Padrão de irradiação

O padrão de irradiação é uma representação gráfica bidimensional ou tridimensional de propriedades de irradiação das antenas, tais como potência, intensidade de campo, diretividade e ganho em função de coordenadas espaciais, de forma análoga às curvas fotométricas para luminárias do domínio da luminotécnica.

Um padrão de irradiação é dividido em:

- Lóbulo principal: Possui a direção de máxima irradiação
- Lóbulos laterais: são lóbulos secundários adjacentes ao principal delimitados por nulos
- Lóbulo traseiro: localizado na direção oposta ao lóbulo principal, geralmente de menor dimensão.

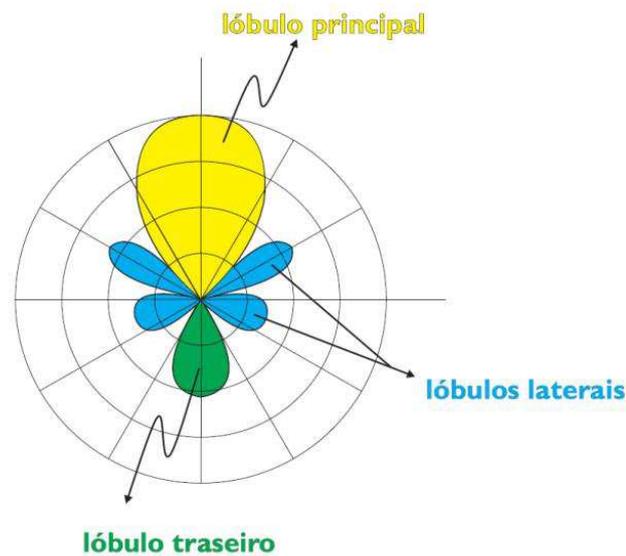


Figura 3-2 - Diagrama de irradiação de uma antena.

Existem três tipos especiais de padrões de irradiação:

- Isotrópico: padrão hipotético para uma antena sem perdas que irradia com a mesma potência em qualquer direção.
- Direcional: tem a propriedade de irradiar de forma mais eficiente em certas direções.
- Omnidirecional: tem um padrão não direcional em um determinado plano, por exemplo, azimutal, e um padrão direcional em um plano ortogonal, por exemplo, em elevação.

3.2 Impedância de Entrada

A impedância de entrada é definida como a impedância apresentada por uma antena em seus terminais ou a razão entre tensão e corrente em um par de terminais ou ainda a razão entre os componentes apropriados do campo elétrico e magnético em determinado ponto [32]. É uma grandeza complexa expressa por:

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (11)$$

Em que R_A representa às perdas ôhmicas e a dissipação de energia por irradiação, e X_A está associada à parte reativa e ao armazenamento de energia nos campos próximos à antena.

A impedância de entrada pode ser utilizada para determinar o coeficiente de reflexão (Γ) e a taxa de onda estacionária (VSWR) como segue

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_O}{Z_A + Z_O} \quad (12)$$

e

$$\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}, \quad (13)$$

em que Z_O é a impedância característica da linha de transmissão normalizada.

Estes parâmetros são quantificadores para o descasamento de impedância entre linhas de transmissão e a entrada da antena, que ocasiona perdas de potência transmitida por meio de reflexões, a chamada perda de retorno, expressa por

$$S_{11} = -20\log(|\Gamma|) \quad (14)$$

O coeficiente de reflexão (S_{11}) é importante ainda na determinação da largura de banda da antena. Este é um parâmetro que determina em que faixas de frequência uma antena pode operar irradiando ou recebendo energia de forma adequada. Pode-se considerar a largura de banda de uma antena a faixa de frequência em que seu coeficiente de reflexão possui valores abaixo de -10 dB, o que significa dizer que mais de 90% da energia que chega aos terminais da antena é irradiada.

3.3 Técnicas de alimentação de antenas de microfita

As antenas planares de microfita permitem alimentação por diferentes técnicas, dentre as mais conhecidas temos: alimentação por sonda coaxial, linha de microfita, acoplamento por abertura e acoplamento por proximidade [31].

Merece um maior destaque neste trabalho a alimentação por sonda coaxial (Figura 3-3). Amplamente empregada na fabricação de antenas, utiliza uma linha coaxial que atravessa o substrato realizando a conexão do condutor central ao elemento irradiador enquanto o condutor externo é conectado ao plano de terra. Apresenta facilidade de manuseio e de realização do casamento de impedância, bastando apenas modificar a posição de alimentação.

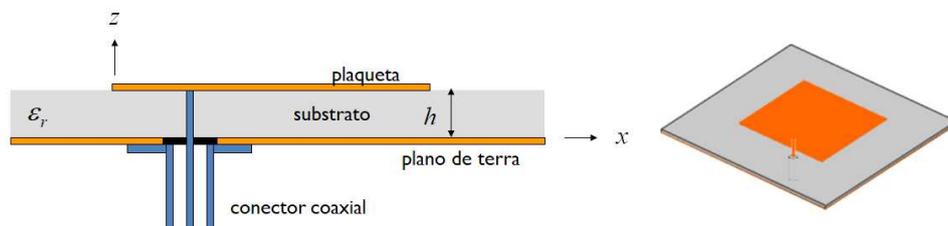


Figura 3-3 - Alimentação de antena planar por sonda coaxial. Fonte: Autor.

3.4 Antenas de microfita compactas

As técnicas para reduzir as dimensões da antena de microfita mantendo sua frequência de ressonância são bastante diversas. Para uma antena com *patch* retangular com substrato fino, uma boa aproximação para sua frequência de ressonância é dada por:

$$f_o \cong \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_r}}, \quad (15)$$

em que c é a velocidade da luz, L o comprimento do *patch* retangular e ϵ_r a permissividade relativa do material do substrato por [33].

É possível verificar que a escolha de um material de permissividade relativa mais elevada permite a redução das dimensões da antena para uma mesma frequência, sendo esta uma das técnicas no projeto de antenas de microfita compactas, porém um fator limitador é a disponibilidade destes materiais dielétricos bem como seus custos elevados, o que torna inviável em projetos de antenas de baixo custo.

Outra técnica existente é a utilização de curtos-circuitos nas extremidades dos *patches* conectando-as com o plano de terra. Por exemplo, quando se aplica um curto-circuito em uma extremidade completa (Figura 3-4a) as antenas passam a ressoar com frequência cujo comprimento de onda é proporcional a um quarto da dimensão do *patch*, e não mais à metade deste conforme Equação (15).

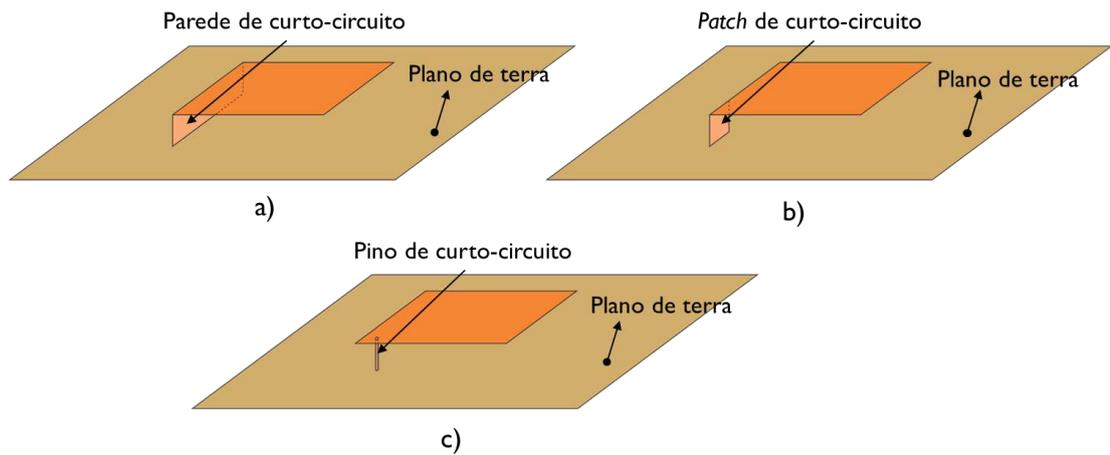


Figura 3-4 - Artíficos para compactação de antenas de microfita. a) extremidade completamente curto-circuitada; b) estrutura planar parcial curto-circuitada; c) pino de curto-circuito.

Quando utilizadas as técnicas de estruturas planares de curto-circuito (*patch* de curto-circuito (Figura 3-4b) ou pino de curto circuito (Figura 3-4c), a redução da antena se torna ainda mais acentuada. A título de ilustração, pesquisadores demonstraram ser possível reduções a aproximadamente 10% das dimensões utilizando pinos de curto de circuito [34] e 6,6% utilizando *patches* [35].

4 Metodologia

Uma vez apresentada a fundamentação teórica, nesta seção é descrita a metodologia empregada no desenvolvimento do trabalho, desde a escolha e caracterização de etiquetas, o *hardware* e *software* utilizados para realização de inventário de itens e criação da antena que estabelece a conexão entre etiqueta e leitor.

Inicialmente foram realizadas simulações no software CST *Microwave Studio* com a finalidade de projetar a antena do leitor e caracterizar as etiquetas (diagrama de irradiação e parâmetro S11) sem a presença de chip, bem como a RCS para sua frequência de operação. Para o cálculo do coeficiente de reflexão e diagrama de irradiação foi utilizado o *Frequency Solver*. Já para a RCS, o software CST sugere a utilização do *Integral Solver* ou *Asymptotic Solver*.

Foram utilizadas três etiquetas UHF RFID de diferentes fabricantes. Para todas as simulações utilizou-se condutor elétrico perfeito para os condutores e vácuo como dielétrico.

4.1 Hardware e Software

4.1.1 Leitor UHF RFID

O leitor utilizado nesta pesquisa é o Motorola FX7400 como mostrado na Figura 4-1. O mesmo é fixo, compatível com o padrão EPC UHF Class 1 Gen 2, apresenta boa conectividade, design compacto e aplicabilidade tanto em meio comercial quanto industrial. Possui quatro entradas para antenas cuja potência em cada porta pode ser ajustada entre +15dBm a +30dBm.



Figura 4-1- Leitor RFID UHF Motorola FX7400. Fonte: Autor.

Os principais parâmetros que o leitor fornece são:

- EPC_Id: Identificação única (EPC) da etiqueta.
- TagSeenCount: Quantidade de vezes que a etiqueta é identificada por uma antena específica.
- RSSI: Indicação da Intensidade do Sinal Recebido em dBm.
- AntennaId: Identificação da Antena que detectou a etiqueta.
- FirstSeentimestamp: tempo decorrido em μs desde a primeira detecção da etiqueta.
- LastSeentimestamp: tempo decorrido em μs desde a última detecção da etiqueta.

Na Figura 4-2 é ilustrada uma sessão real de inventário de objetos. No caso apresentado foram detectados quarenta e três códigos diferentes de etiquetas utilizando a antena construída.

Na seção de Anexos foi inserido um código exemplo de aplicação de inventário de etiquetas RFID desenvolvida em linguagem Java pelo pesquisador Joseph Sullivan, em que é possível compreender desde o início da conexão entre cliente e leitor até a obtenção das informações das etiquetas para posterior tratamento.

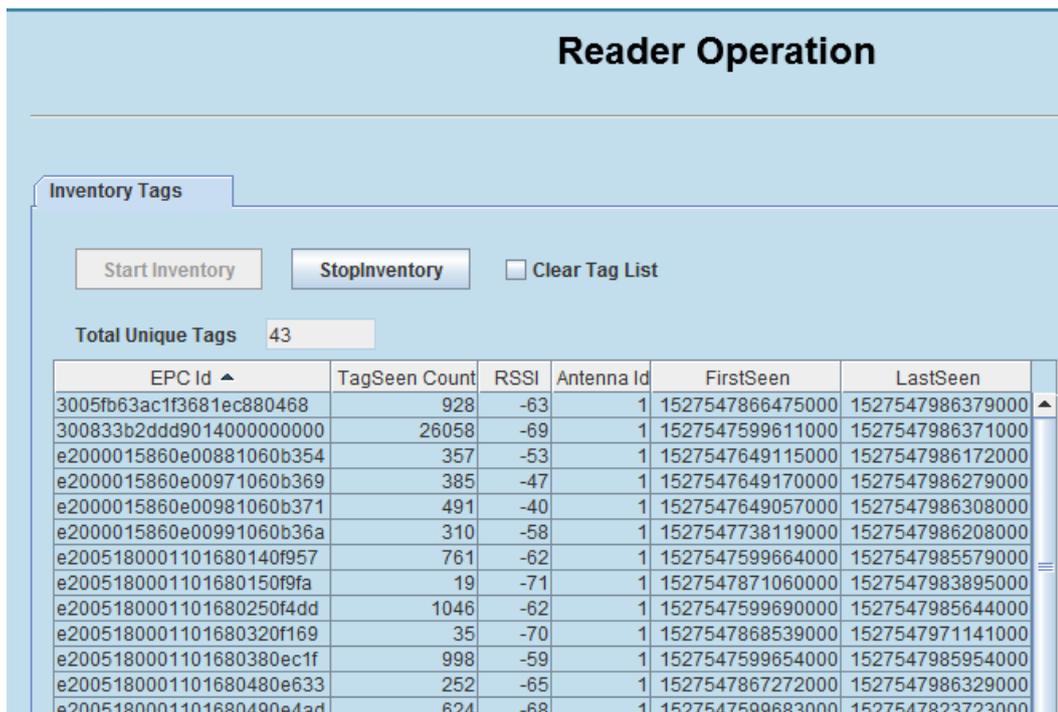


Figura 4-2 - Realização de inventário pelo leitor Motorola FX7400. Fonte: Autor.

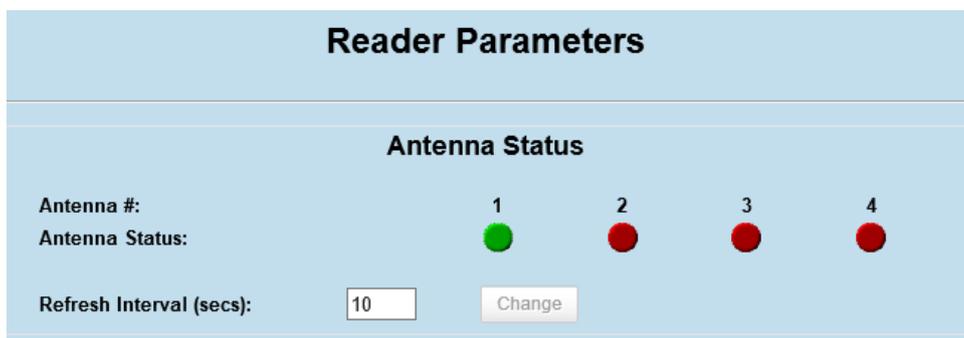


Figura 4-3 - Antena detectada pelo terminal do leitor. Fonte: Autor.

4.2 Caracterização de etiquetas UHF RFID

Inicialmente não se dispunha de recursos para aplicações (etiquetas e antenas). Nesta etapa três etiquetas de diferentes fabricantes foram escolhidas, desenhadas segundo os dados de folhetos de fabricantes e lançadas simulações no CST *Microwave Studio*. A finalidade foi verificar as características das etiquetas: parâmetro S11, diagrama de irradiação e seção transversal de radar.

4.2.1 Etiqueta Alien ALN-9662 Short Higgs3

Esta etiqueta é fabricada pela empresa Alien, uma das grandes fabricantes da tecnologia RFID e apresenta as seguintes especificações (Tabela 4-1).

Tabela 4-1 - Especificações da etiqueta Alien ALN-9662. Fonte: Autor.

Parâmetros	Valores
Dimensões	70 mm x 17 mm
Chip	Higgs™-3 IC
Frequência de operação	840 – 960 MHz
Impedância do chip	13 - j151 Ω (866 MHz) ; 11 - j143 Ω (915 MHz)
Alcance	4 a 5 m

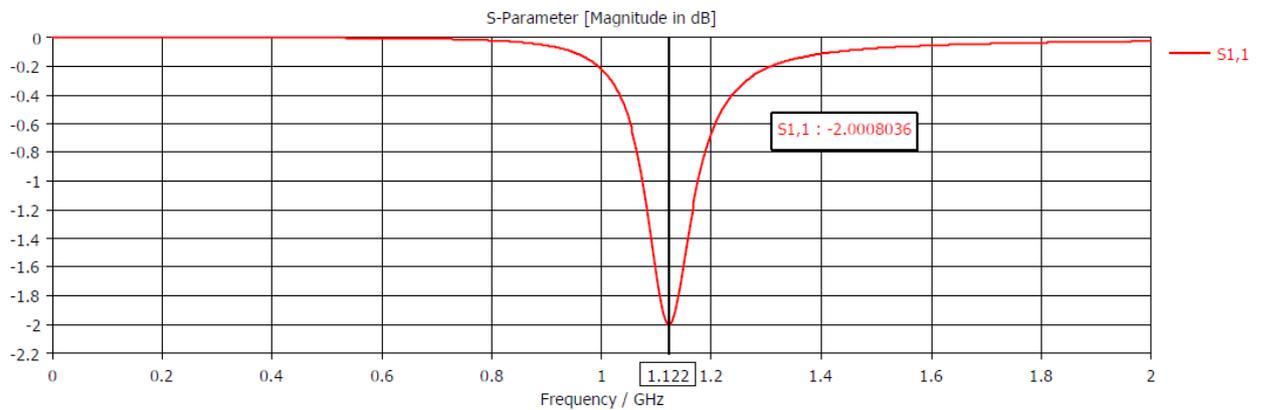


Figura 4-4 - Coeficiente de reflexão S11 vs frequência da antena da etiqueta Alien ALN-9662 Short Higgs3. Fonte: Autor.

Verifica-se na Figura 4-4 que o coeficiente de reflexão para a antena apresenta valor mínimo para a frequência de 1,122 GHz, porém sem ter um valor significativo na sua ressonância. Na Figura 4-5 é apresentada a modelagem da etiqueta em ambiente de simulação bem como sua RCS monoestática.

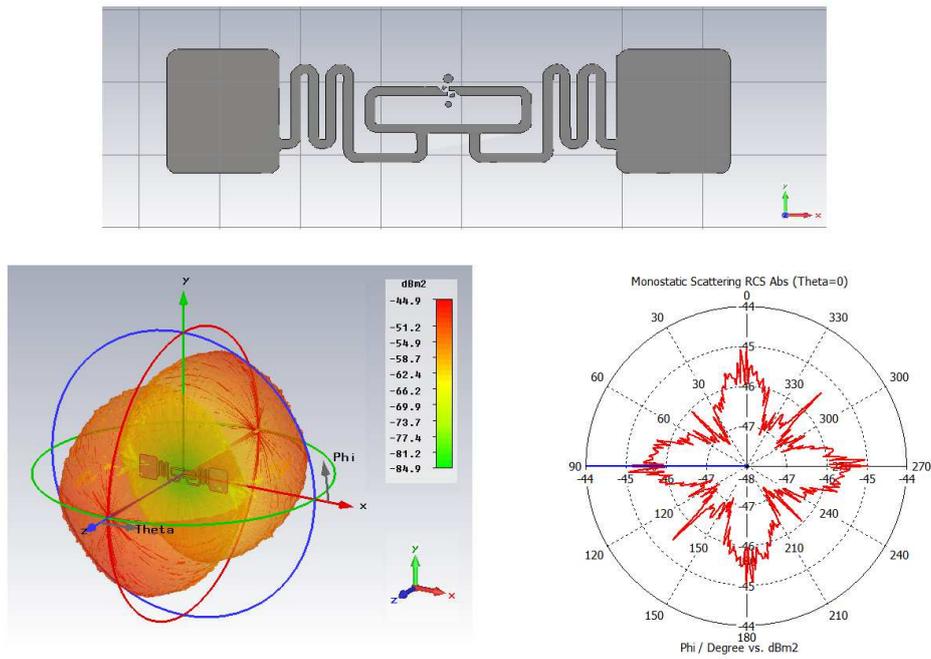


Figura 4-5 - RCS monoestático tridimensional e polar para etiqueta Alien ALN-9662 Short Higgs3. Fonte: Autor.

4.2.2 Etiqueta SMARTRAC ShortDipole

Outro grande fabricante de etiquetas é a SMARTRAC. Esta etiqueta apresenta as seguintes especificações (Tabela 4-2):

Tabela 4-2 - Especificações da etiqueta SMARTRAC ShortDipole. Fonte: Autor.

Parâmetros	Valores
Dimensões	93 mm x 11 mm
Chip	Impinj Monza4
Frequência de Operação	860 - 960 MHz
Impedância do chip	11 – j143 Ω (915 MHz)
Alcance	4 a 5 m

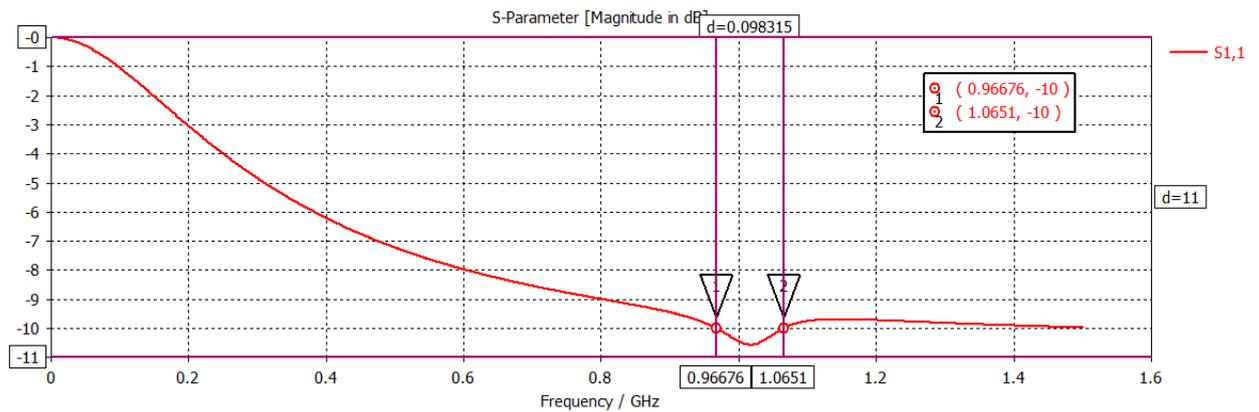


Figura 4-6 – Coeficiente de reflexão S11 vs frequência para a antena da etiqueta SMATRAC SHORTDIPOLE. Fonte: Autor.

Entre todas as etiquetas simuladas, a SMATRAC SHORTDIPOLE foi a que apresentou o melhor resultado do parâmetro S11 (Figura 4-6), centrada na frequência 1,016 GHz e com largura de faixa significativa de 98,315 MHz.

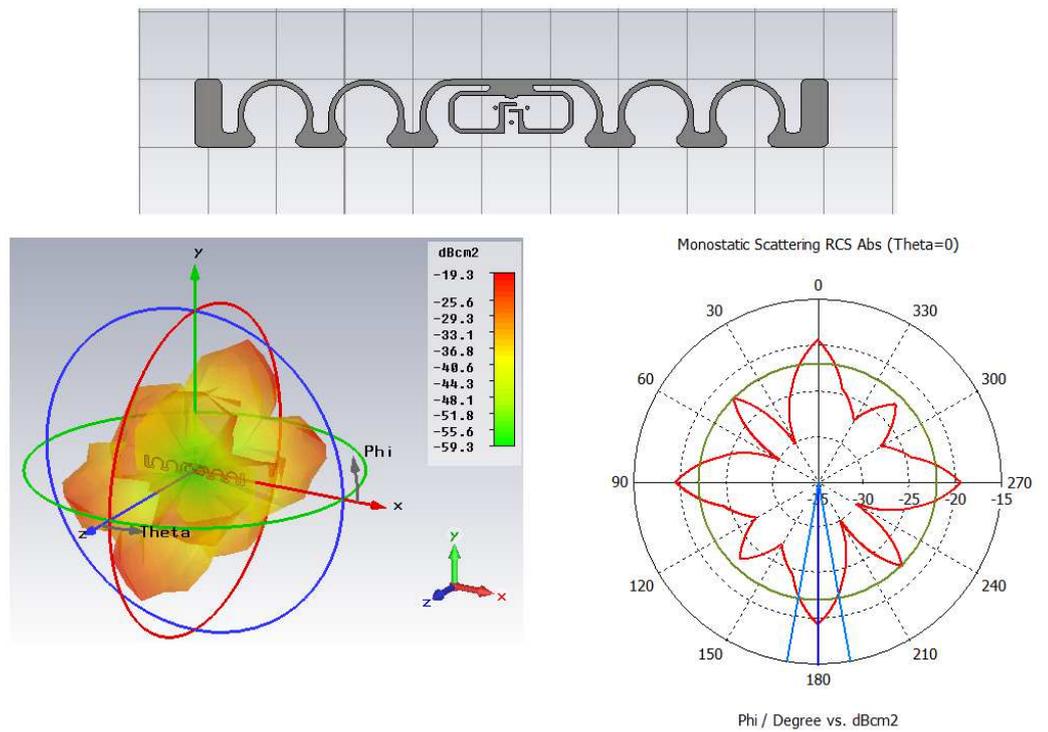


Figura 4-7 - RCS monoestático tridimensional e polar para etiqueta SMATRAC SHORTDIPOLE. Fonte: Autor.

4.2.3 Etiqueta UHF Impinj H47

A empresa Impinj se destaca também pela fabricação de *chips* para etiquetas. A etiqueta escolhida foi o modelo H47 que apresenta as seguintes especificações (Tabela 4-3):

Tabela 4-3 - Especificações da etiqueta Impinj H47. Fonte: Autor.

Parâmetros	Valores
Dimensões	44 mm x 44 mm
<i>Chip</i>	Impinj Monza4D/4E
Frequência de operação	860 – 960 MHz
Impedância do <i>chip</i>	13 - j151 Ω (866 MHz); 11 - j143 Ω (915 MHz)
Alcance	4 a 5 m

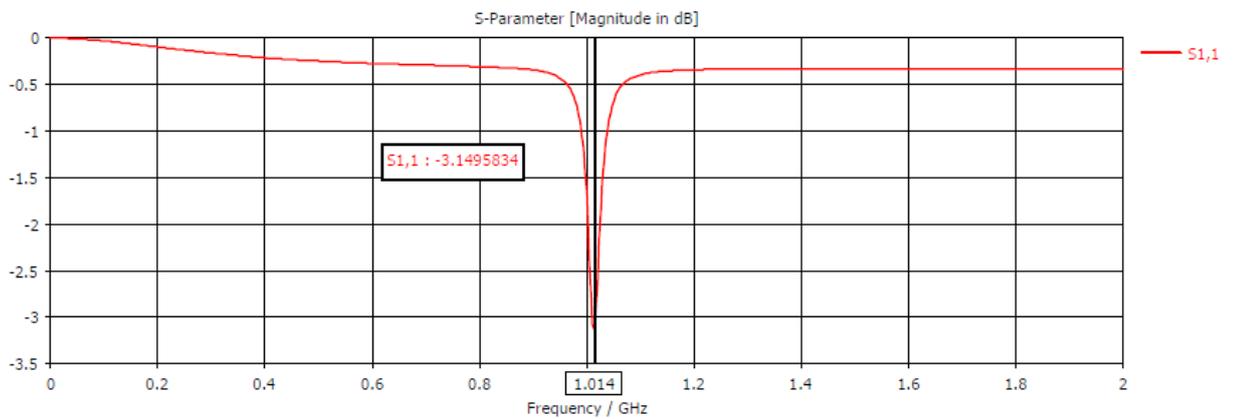


Figura 4-8 – Coeficiente de reflexão S11 vs frequência para a antena da etiqueta Impinj H47. Fonte: Autor.

Verifica-se na Figura 4-8 que o coeficiente de reflexão para a antena apresenta valor mínimo para a frequência de 1,014 GHz, porém, sem ter um valor significativo na sua ressonância (-3,14 dB).

Esta etiqueta tem características diferentes das duas outras estudadas. Sua utilização é recomendada para objetos cuja dimensão mínima seja pouco superior a 50mm pois seu maior comprimento linear é de **44 mm**. Outra característica é sua simetria tipo *4-fold*, o que permite que sua RCS possua menos “pontos cegos” que as duas outras estudadas, assemelhando-se a justaposição de dois dipolos rotacionados de 180° em relação ao outro, conforme pode ser visto na RCS dessa etiqueta apresentada na Figura 4-9.

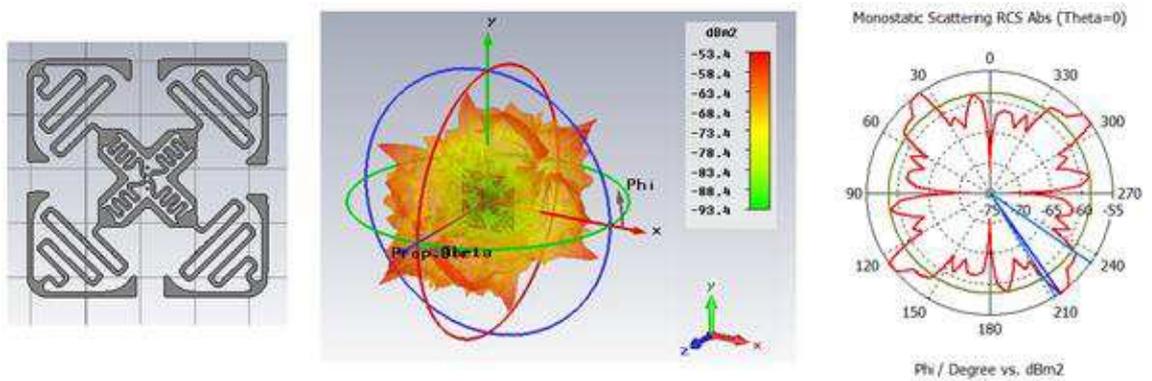


Figura 4-9 - RCS monoestático tridimensional e polar para etiqueta Impinj H47. Fonte: Autor.

4.2.4 Detecção de vários objetos

Nessa seção foram simuladas a detecção de seis embalagens de *cateteres* etiquetadas com etiquetas SMARTRAC SHORTDIPOLE, dispostas conforme a Figura 4-10. Foram alinhadas em duas fileiras separadas por **10 cm**. A distância entre embalagens vizinhas, lateralmente, é de **3 cm**.

O intuito da simulação é prever uma situação real em que vários objetos etiquetados estão dispostos em uma prateleira. Acredita-se que as etiquetas possam interferir umas nas outras fazendo com que a potência refletida de uma antena que atinja o leitor possa ser sombreada, ocasionado interpretação errônea sobre a presença do objeto.

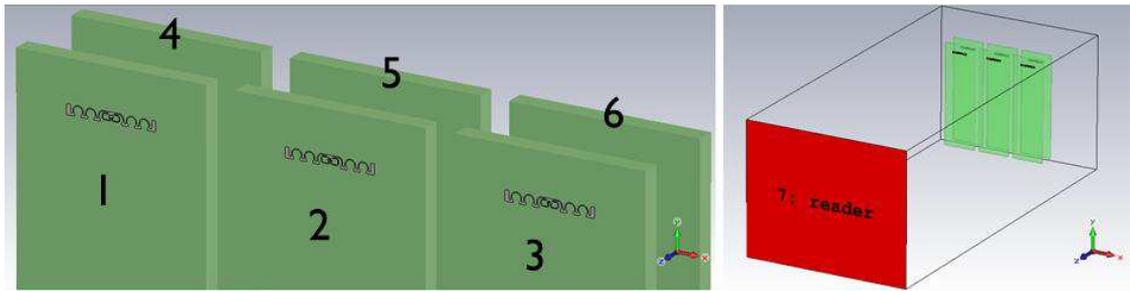


Figura 4-10 - Simulação de vários *cateteres* etiquetados utilizando excitação por guia de onda.
Fonte: Autor.

Nesta simulação foi utilizada uma porta do tipo guia de onda e portas discretas na alimentação de cada uma das seis etiquetas. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 4-11. Mesmo que a embalagem número 2 esteja diametralmente mais próxima da antena (simulada pelo guia de onda), esta tende a sofrer interferência de todas as outras cinco etiquetas por sua posição central. Diferentemente da embalagem número 1 que apresentou o melhor resultado por sofrer poucas interferências das etiquetas 3 e 6, por exemplo.

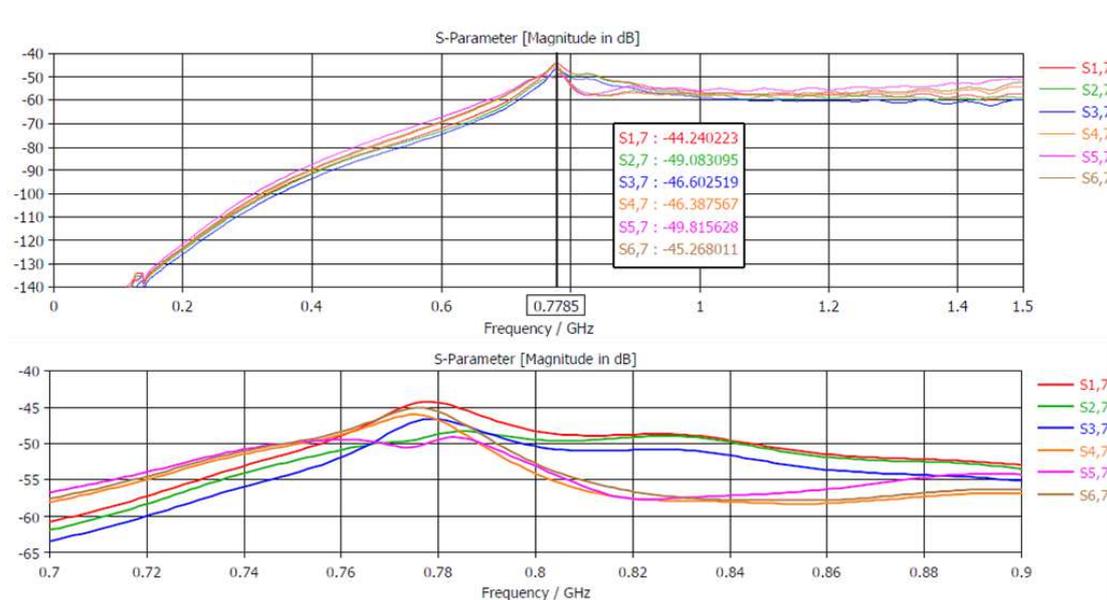


Figura 4-11 - Coeficientes de transmissão entre etiquetas (numeradas de 1 a 6) e guia de onda (índice 7). Abaixo uma visão mais aproximada em torno das frequências de interesse. Fonte: Autor.

4.3 Projeto da Antena do Leitor UHF RFID de Baixo Custo

A motivação maior para o projeto da antena foi a indisponibilidade desta no mercado nacional aliada aos altos custos de importação. A antena proposta apresenta baixo custo, tem o ar como dielétrico, é feita de chapas de alumínio reciclado, consistindo de duas placas paralelas (plano de terra e irradiador) com uma placa em formato de L entre elas e quatro estruturas planares de curto-circuito para casamento de impedância, redução de dimensões e suporte mecânico à estrutura da antena. A antena proposta foi projetada para ser facilmente integrada com aplicações de leitores RFID UHF operando na faixa 902 – 928 MHz utilizada no Brasil.

A escolha do alumínio foi uma oportunidade de utilizar um material de baixo custo com reaproveitamento de resíduos oriundos do serviço de manutenção que seriam destinados ao lixo comum. O alumínio apresenta alta condutividade, sendo o melhor condutor entre os metais não-nobres. É 100% reciclável, cujo processo de reciclagem gasta apenas 5% da energia necessária para sua obtenção por meio da eletrólise do minério de bauxita, reduzindo dessa forma o consumo de energia e emissões de carbono [36]. Outra característica desejável é sua boa trabalhabilidade, podendo ser cortado e dobrado com auxílio de ferramentas simples, o que torna ainda mais barata a fabricação da antena.

Inicialmente foi proposta uma antena *patch* quadrada, e foram realizadas simulações no *software* CST *Microwave Studio* a fim de determinar as dimensões do elemento irradiador necessárias para uma ressonância significativa em 915 MHz ($\lambda = 32,8\text{ cm}$). As dimensões encontradas foram $139 \times 139\text{ mm}$ em um plano de terra quadrado de $200 \times 200\text{ mm}$ apresentando atenuação de 15,7 dB na sua frequência de operação (Figura 4-12).

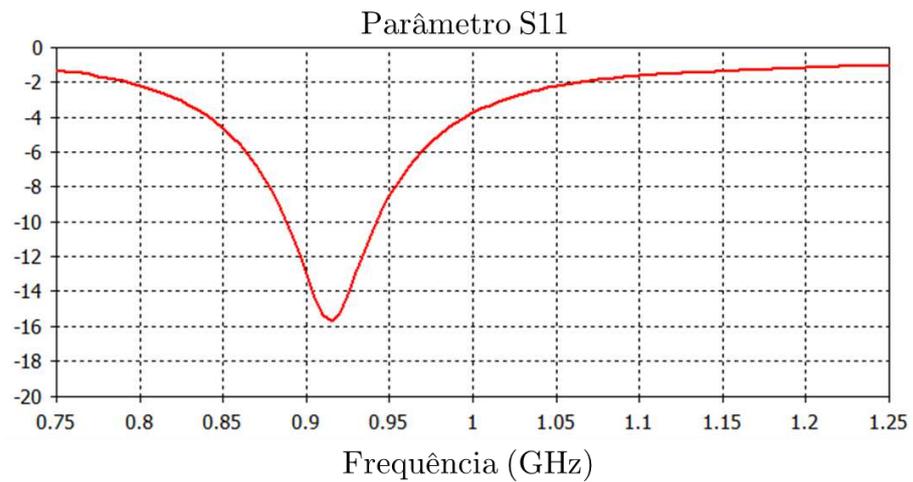


Figura 4-12 - Parâmetro S11 para antena patch quadrado. Fonte: Autor.

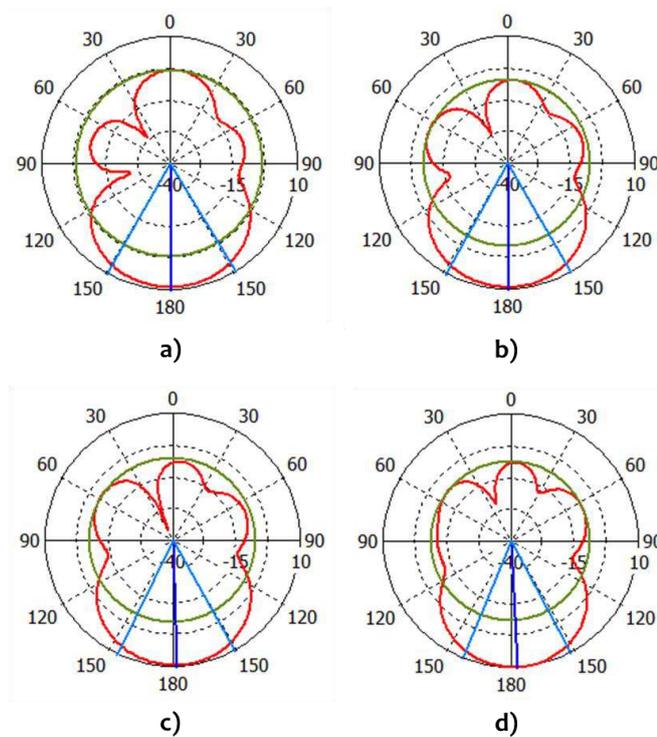


Figura 4-13 - Diretividade da antena patch quadrada versus dimensão do plano de terra. a) 8,61 dBi (20 x 20 cm); b) 8,88 dBi (25 x 25 cm); c) 9,16 dBi (30 x 30 cm); d) 9,56 dBi (35 x 35 cm). Fonte: Autor.

Em seguida verificou-se a influência do tamanho do plano de terra na diretividade da antena. Para tal, foram escolhidas quatro diferentes dimensões (20 x 20; 25 x 25;

30 x 30 e 35 x 35 cm) apresentando respectivamente 8,61; 8,88; 9,16 e 9,56 dBi. Foi verificado que a frequência de ressonância não alterou significativamente.

4.3.1 Redução das dimensões da antena

Após explanado na seção 3.4 sobre antenas compactas, inicialmente se reduziu à metade as dimensões lineares do elemento irradiador, e com auxílio de um algoritmo de otimização no CST *Microwave Studio* obteve-se valores próximos a 7 x 7 cm, sempre buscando uma frequência de ressonância mais próxima possível de 915 MHz. Em seguida adicionou-se duas estruturas planares dispostas ortogonalmente em dois pontos nas extremidades do *patch* irradiador, conforme apresentado na Figura 4-14. Foram verificadas ressonâncias, porém com valores superiores a -10 dB (Figura 4-15).

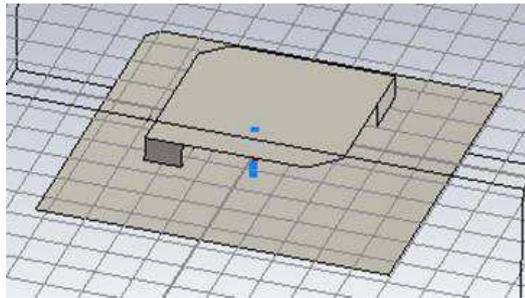


Figura 4-14 - Inserção de duas estruturas planares de curto-circuito. Fonte: Autor.

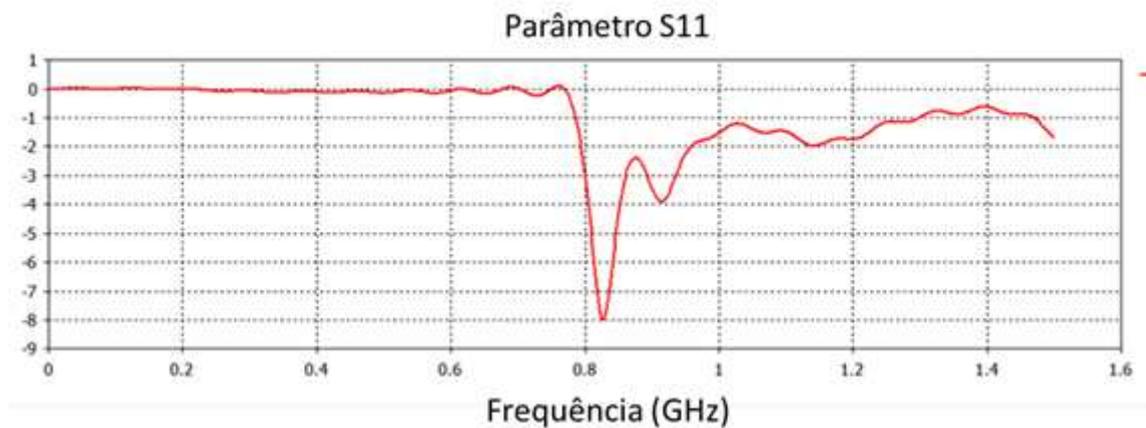


Figura 4-15 - Parâmetro S11 da antena parcial após inserção de *patches* de curto-circuito. Fonte: Autor.

Uma vez reduzida as dimensões da antena, a etapa seguinte consistiu em melhorar o casamento de impedância da antena com a finalidade de obter atenuações mais bem definidas na frequência de operação. A solução encontrada foi a inserção de uma estrutura metálica em formato de L localizada entre o plano de terra e o irradiador e disposta paralelamente a estes e após realizar um ajuste de escala nas dimensões da antena no intuito de deslocar sua frequência de ressonância para valores próximos de 915 MHz. Na Figura 4-16 é possível observar ressonâncias bem definidas.

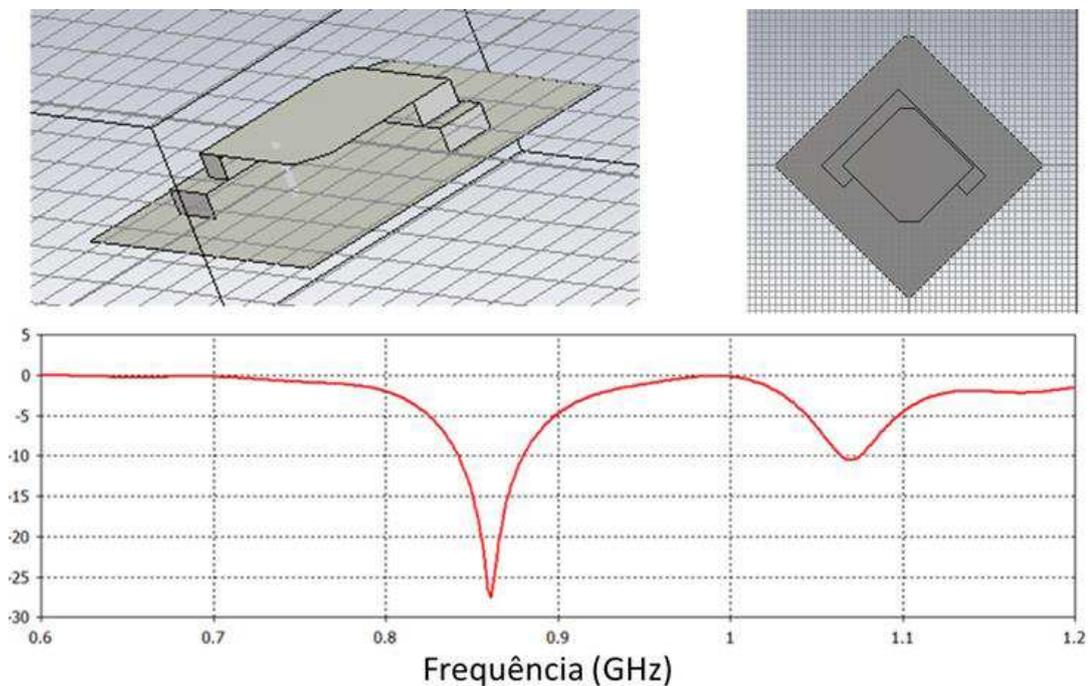


Figura 4-16 - Parâmetro S11 para antena parcial após inserção de *patch* em formato de L.

Fonte: Autor.

Na última etapa foram realizados ajustes finais para melhorar seu aspecto e modelagem do padrão de irradiação, que apresenta simetria *2-fold*. O leiaute da antena concluída está apresentado na Figura 4-17a. Com a finalidade de uma melhor compreensão da construção da antena, é mostrada a visão explodida da antena na Figura 4-17b. O protótipo final da antena foi construído com chapas de alumínio de 0,3

mm de espessura (Figura 4-17c). Após sucessivos refinamentos, as dimensões da antena final podem ser vistas na Figura 4-18 bem como a localização do conector coaxial.

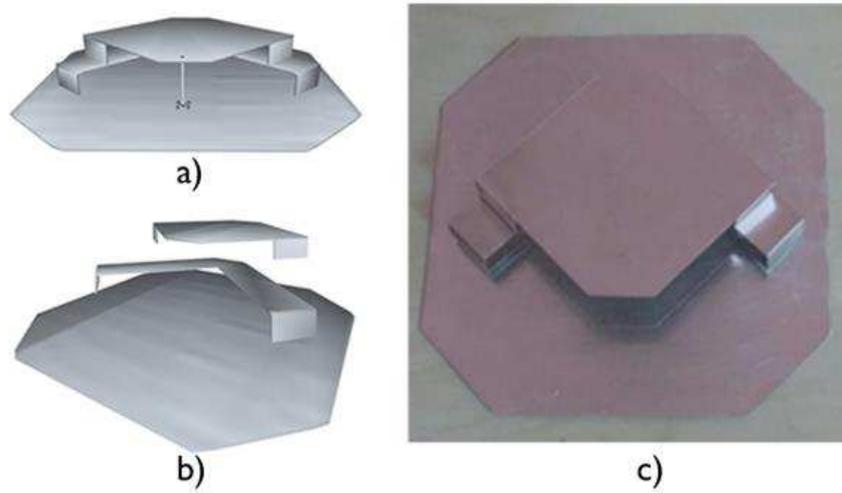


Figura 4-17 - a) Leiaute da antena desenvolvida; b) Visão explodia da antena; c) Protótipo construído. Fonte: Autor.

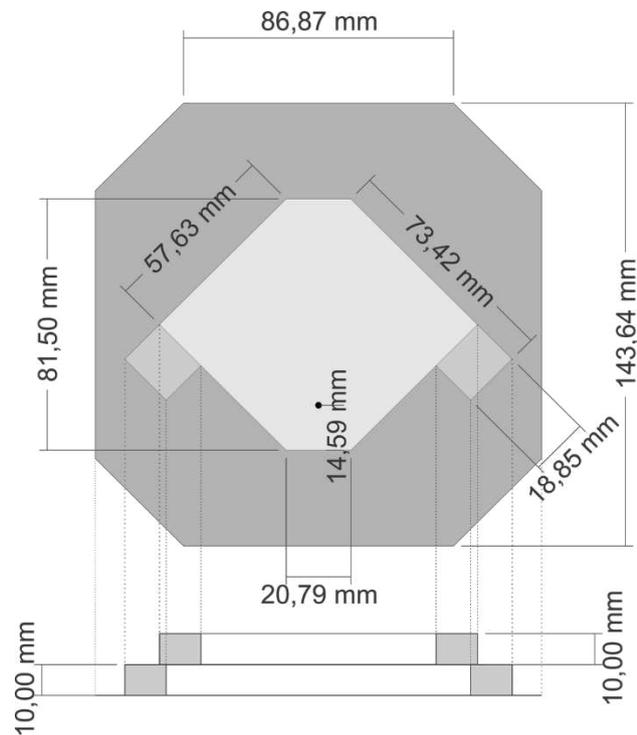


Figura 4-18 - Dimensões finais da antena. Fonte: Autor.

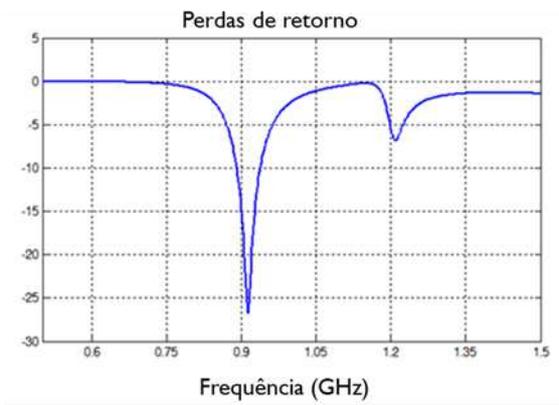
5 Resultados

Este capítulo trata da apresentação e análise dos resultados obtidos nessa pesquisa. Inicialmente são expostos os resultados obtidos por simulação computacional, em seguida é realizada uma comparação com os resultados experimentais da antena fabricada e por fim os resultados da aplicação da antena na leitura de etiquetas.

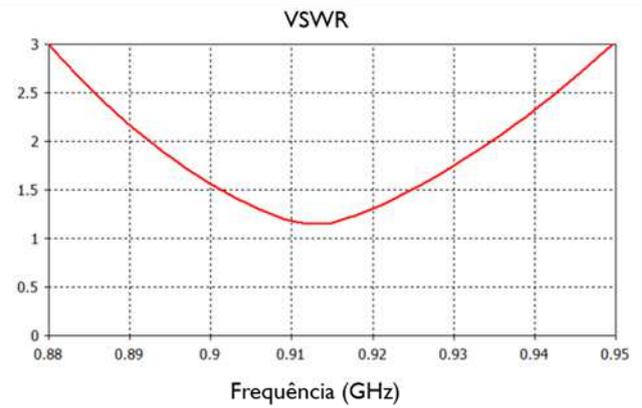
5.1 Simulações Computacionais

Após projetada a antena, os resultados obtidos no *software* CST Microwave Studio são apresentados. O parâmetro S11 e o VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) são mostrados na Figura 5-1. Os resultados simulados apresentam frequência de ressonância centrada em $913,5 \text{ MHz}$ em que as perdas de retorno apresentam valor de $-26,8 \text{ dB}$. Já para a frequência de interesse (915 MHz) foi obtido $-25,7 \text{ dB}$. Foi obtida uma largura de faixa de $39,6 \text{ MHz}$, que abrange toda a faixa do padrão adotado (902 a 928 MHz). O valor mínimo de VSWR é $1,1476$ na frequência $913,5 \text{ MHz}$ obtendo largura de faixa de $42,1 \text{ MHz}$ pelo critério $VSWR < 2,0$.

O diagrama de irradiação da antena apresenta simetria no plano y-z com direção preferencial no valor de elevação -32° e diretividade $3,1 \text{ dBi}$ (Figura 5-2), o que a torna interessante para utilização em posições acima do nível das prateleiras, fora do alcance dos usuários, no teto ou parede para aplicação de monitoramento ou vigilância de itens de alto valor comercial sem a necessidade de incliná-la mecanicamente. Para melhor compreensão, a configuração tridimensional do diagrama de irradiação da antena é apresentada na Figura 5-3.



a)



b)

Figura 5-1 - Resultados obtidos por simulação computacional. a) Parâmetro S11. b) VSWR.
Fonte: Autor.

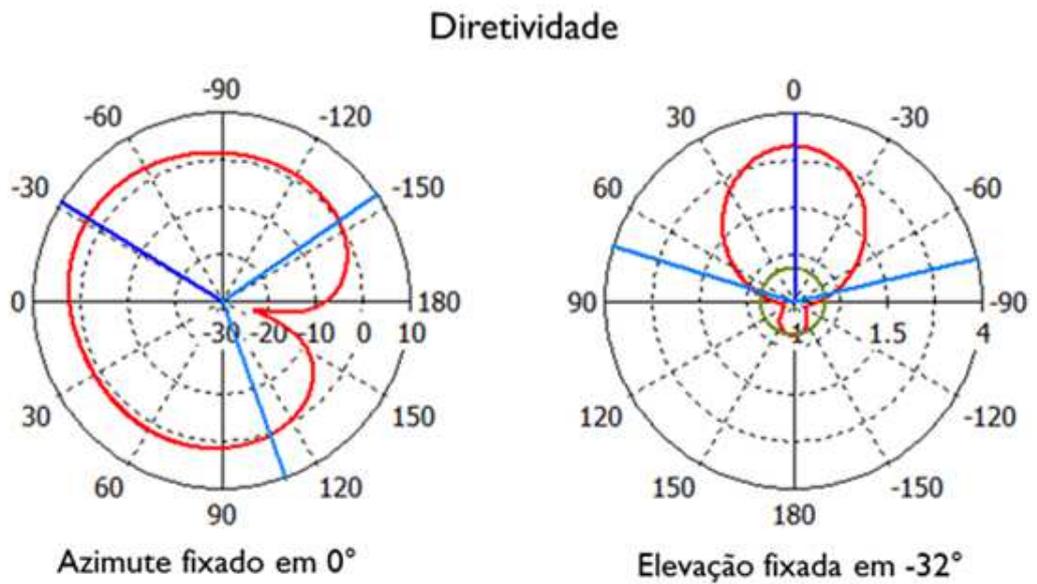


Figura 5-2 – Representação polar da diretividade da antena. Fonte: Autor.

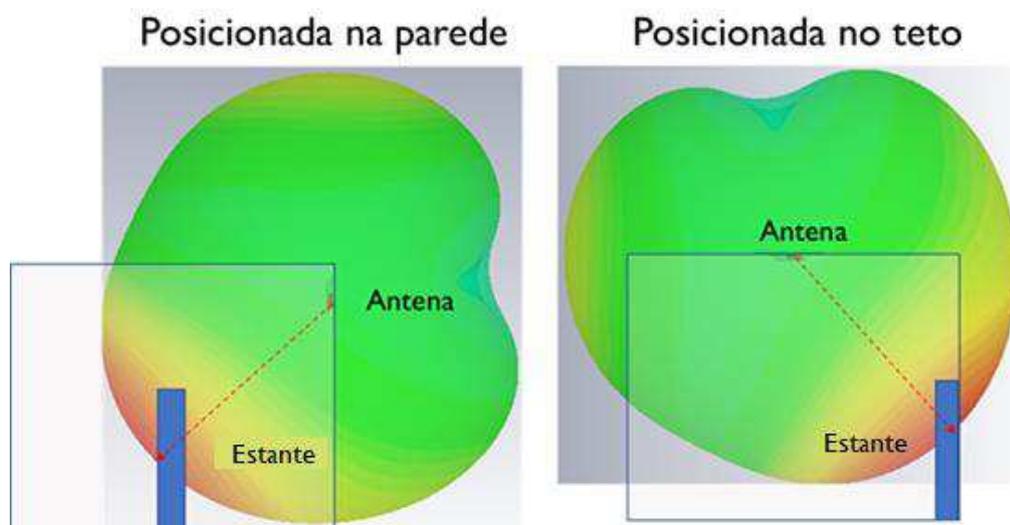


Figura 5-3 – Diagrama de irradiação tridimensional e sugestões de posicionamento da antena em aplicações de inventário. Fonte: Autor.

O resumo dos resultados obtidos por simulação computacional para a antena proposta é apresentado na Tabela 5-1. Verifica-se que atende bem as especificações do padrão brasileiro para RFID UHF, exibe boa atenuação na faixa desejada, o que credencia este modelo a ser fabricado.

Tabela 5-1 - Parâmetros para a antena obtidos por simulação. Fonte: Autor.

Parâmetros	Valor
Frequência de ressonância (MHz)	913,5
Largura de faixa (MHz)	39,6
Perdas de retorno na frequência de ressonância	-23,2
VSWR mínimo	1,14
Diretividade (dBi)	3,1
Eficiência de irradiação (dB)	-0,00255

5.2 Resultado Experimentais

Após construído o protótipo da antena, foram realizadas medições em câmara anecoica para sua caracterização. O *setup* de medição é composto pela antena log-periódica modelo SAS-510-7, analisador de malha ROHDE & SCHWARZ ZVB-20, câmara anecoica ETS-Lindgren (Figura 5-4).

Inicialmente é apresentado o parâmetro S11 junto ao obtido por simulação para comparação (Figura 5-5). A frequência de ressonância encontrada experimentalmente é $914,4\text{ MHz}$ com atenuação de $30,2\text{ dB}$ e largura de faixa de $37,1\text{ MHz}$ abrangendo toda a faixa destinada à aplicação. Verifica-se uma forte concordância com o valor esperado obtido por simulação computacional, o que valida o protótipo e sublinha a importância da utilização de um *software* computacional no desenvolvimento de produtos no domínio da engenharia.

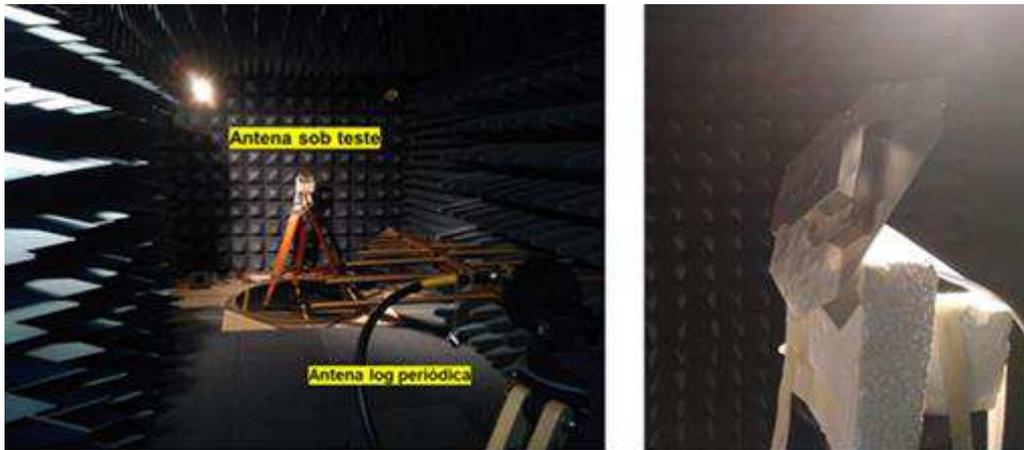


Figura 5-4 - Configuração para medição experimental do diagrama de irradiação em câmara anecoica; Fonte: Autor.

Para obtenção do diagrama de irradiação, realizou-se uma inclinação em -32° na elevação da antena de forma a obter a direção da máxima potência recebida. Conforme visto na Figura 5-2, sua diretividade se dá nessa elevação. Após regulada a posição, variou-se o valor de azimute entre 0° e 355° com intervalos de 5° . O resultado obtido

está plotado na Figura 5-6. Verifica-se que se trata de uma antena direcional, porém não tão acentuada, o que é desejável na aplicação por se trabalhar em ambiente interno com distâncias curtas e necessidade de uma abertura de ângulo mais ampla para abranger uma maior área de itens monitorados.

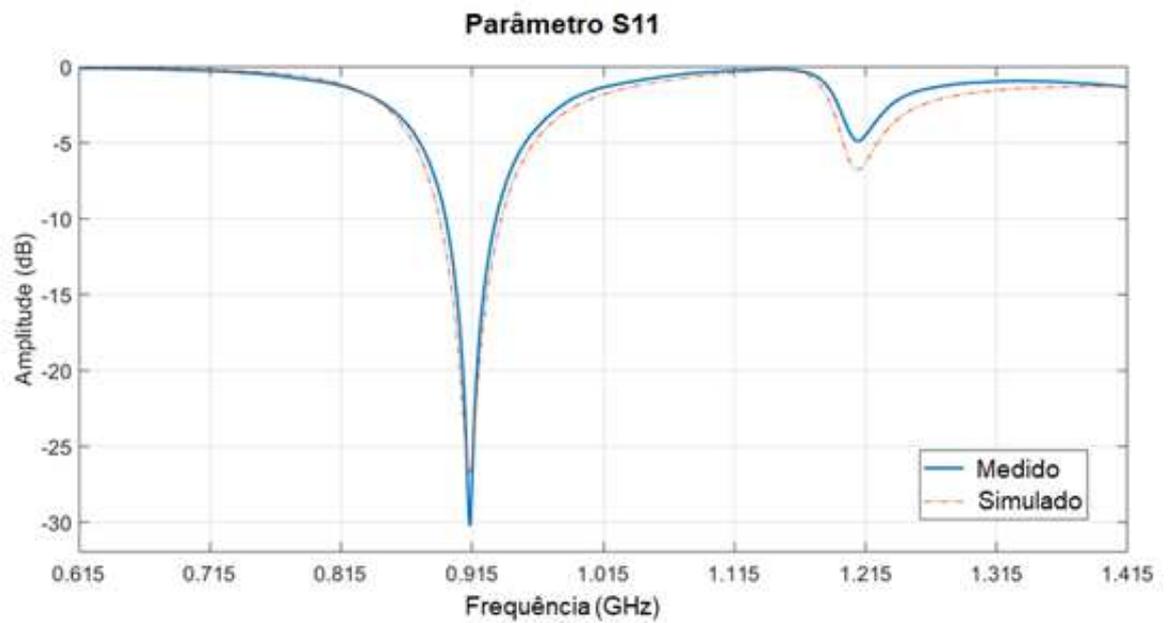


Figura 5-5 - Comparação dos parâmetros S11 obtido por simulação e experimental. Fonte: Autor.

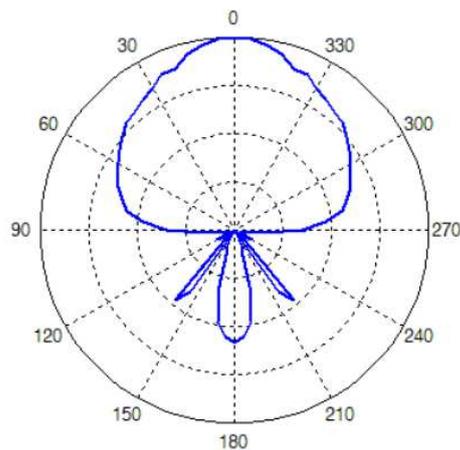


Figura 5-6 - Diagrama de irradiação normalizado obtido experimentalmente (Elevação em -32°). Fonte: Autor.

5.3 Aplicação da antena

A fim de verificar a eficácia da antena projetada na detecção de objetos com etiquetas RFID, uma aplicação foi proposta com um sistema RFID real (Figura 5-8a). A antena é conectada ao leitor por meio de cabo coaxial e utilizada para detectar a presença de objetos. As etiquetas utilizadas foram (Figura 5-7): 1) Impinj H47; 2) SMARTRAC *ShortDipole*; 3) *Alien* ALN-9662; 4) SMARTRAC *Frog* 3D; 5) SMARTRAC *Dogbone*. Todas elas operam na faixa de frequência 902 – 928 MHz.

Os itens escolhidos para detecção foram cardioversores, marcapassos e *stents* por apresentarem alto valor comercial.

Inicialmente etiquetou-se uma caixa de papelão com os cinco tipos de etiquetas disponíveis (Figura 5-7), posicionada em um móvel de 0,70 m de altura a uma distância de 3m da base da antena posicionada a 1,70 m de altura em um mastro.

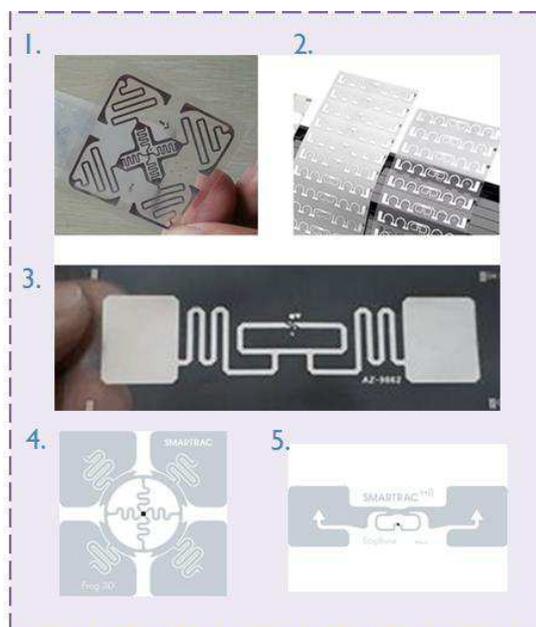


Figura 5-7 - Etiquetas UHF utilizadas. Fonte: Autor.

Na etapa seguinte três itens foram posicionados próximos uns aos outros no mesmo móvel. O objetivo foi medir o RSSI (Indicação da intensidade do sinal recebido - do inglês *Received Signal Strength Indication*) para diferentes distâncias da base da antena (Figura 5-8c). Ao todo, dez medições foram realizadas para cada uma das três posições escolhidas (1, 2 e 3 m) e calculada uma média das medições obtidas. Os resultados encontrados estão resumidos na Tabela 5-2.

Tabela 5-2 - Resumo dos resultados obtidos na aplicação da antena. Fonte: Autor.

Distância (m)	RSSI (dBm)
1	-61
2	-64
3	-72

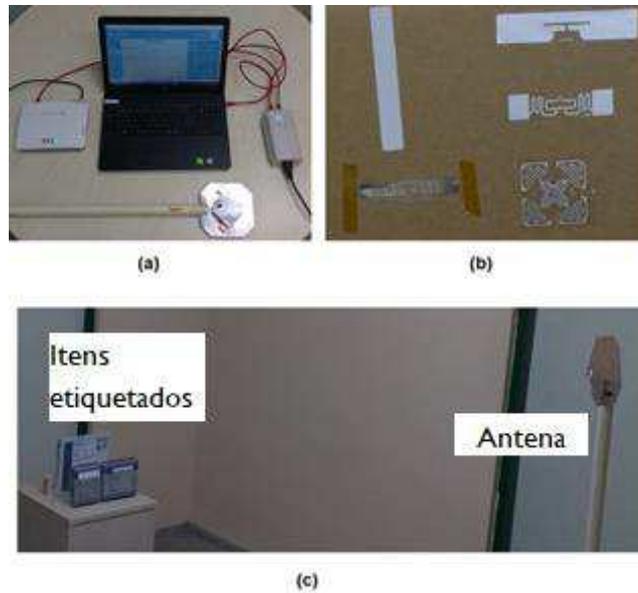


Figura 5-8 - Setup para aplicação da antena e leitor UHF RFID; a) Equipamento utilizado; b) várias etiquetas dispostas para detecção; c) experimento realizado. Fonte: Autor.

Ao final foram utilizados os mesmos equipamentos RFID para detecção de itens etiquetados no almoxarifado. Foram utilizadas etiquetas do modelo Alien ALN-9662 em seis cateteres guia conforme ilustrado na Figura 5-9.



Figura 5-9 - Cateteres guia etiquetados no almoxarifado para realização de inventário.

EPC	Count	RSSI
E20051800011016813009325	399	-69
E20051800011016813608EA1	169	-74
E20051800011016813708C65	82	-70
E2005180001101681470835A	74	-71
E20051800011016813109561	4	-71
E2005180001101681460811E	13	-77
30347A12500061440400001B	4	-67
30347A12500045B004000018	28	-70
2F010000004D10000000F90	4	-73

Figura 5-10 - Inventário realizado no almoxarifado do hospital utilizando software do fabricante do leitor RFID.

O resultado do inventário realizado pode ser visto na Figura 5-10. O campo EPC representa a identificação única do objeto, *Count* a quantidade de vezes esse objeto foi lido ou detectado até o momento e RSSI fornece a intensidade do sinal retroespalhado pela etiqueta que foi recebido pelo leitor em dBm. Os seis itens etiquetados foram

instantaneamente detectados. Seus códigos (EPC) são os iniciados com E2005. É válido ressaltar a detecção de outros três objetos (EPCs iniciados por 3034 e 2F01) pelo sistema que não pertenciam às etiquetas utilizadas neste projeto. São objetos de alto valor presentes no almoxarifado cujos fornecedores utilizam a tecnologia RFID, o que salienta a importância da mesma no domínio da logística hospitalar.

6 Considerações Finais

Neste trabalho, uma antena para leitor RFID UHF de baixo custo, baixo perfil e confiável para aplicações de inventário no domínio da assistência médica foi projetada, construída e submetida a testes. O uso de técnicas de compactação e casamento de impedância como a inserção de patches de curto-circuito atendeu bem às expectativas bem como serviram à estrutura física da antena.

Os resultados experimentais e simulados estão fortemente em acordo, o que destaca a importância da utilização de softwares de simulação eletromagnética e modelagem antes da construção de protótipos de antenas ou outras estruturas na engenharia.

O desafio de criar uma antena com poucos recursos, utilizando-se de material reciclado reforça um tema bastante tendente: a consciência ambiental e ecológica. Ao final, vários itens foram prontamente identificados com celeridade, acurácia e com bom alcance mesmo em ambiente fechado.

Como trabalho futuro, pode-se aperfeiçoar a antena para que funcione com polarização circular e o desenvolvimento de um middleware próprio para ser implementado no Hospital Universitário da UFPI facilitando a prevenção de desvios por furtos e a localização de materiais em toda a extensão do hospital.

O estudo realizado neste trabalho resultou em uma publicação [37].

Referências

1. BOLIC, M.; SIMPLOT-RYL, D.; STOJMENOVIC, I. RFID Systems: Research Trends and Challenges. [S.l.]: Wiley, 2010.
2. YAO, W.; CHU, C.-H.; LI, Z. The Use of RFID in Healthcare: Benefits and Barriers. IEEE International Conference on RFID-Technology and Applications. Guangzhou, China: [s.n.]. 2010. p. 128-134.
3. USTUNDAG, A. The Value of RFID: Benefits vs. Costs. Londres: Springer, 2013.
4. HISTORY of Barcodes. Barcodes. Disponível em: <<https://www.barcodesinc.com/articles/history.htm>>. Acesso em: Maio 2018.
5. BROWN, R. H. Robert Alexander Watson-Watt, the father of radar. Engineering Science and Education Journal, 3, 1994. 31-40.
6. DOBKIN, D. The RF in RFID: Passive UHF in Practice. [S.l.]: Newnes, 2008.
7. STOCKMAN, H. Communication by means of reflected power. Proceedings of the IRE, v. 36, n. 10, p. 1196 - 1204, Out 1948.

8. VIOLINO, B. The History of RFID Technology. RFID Journal, 16 Janeiro 2006. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?1338>>. Acesso em: 12 Janeiro 2017.
9. LANDT, J. The history of RFID. IEEE Potentials, 05 Dez 2005. 8 - 11.
10. JANG, M. B. A Study on Implementation of Efficient Patient Care Application System using RFID. IEEE International Conference on e-Technology, e-Commerce and e-Service. Hong Kong: [s.n.]. 2005.
11. MILES, S. B.; SARMA, S. E.; WILLIAMS, J. R. RFID Technology and Applications. New York: Cambridge University Press, 2008.
12. SAWA, T.; KOMATSU, H. Shimane University Hospital implements RFID technology to manage surgical instruments. 7th International Symposium on Medical Information and Communication Technology. Tokyo: [s.n.]. 2013. p. 90-92.
13. MYERSON, J. M. RFID in the supply chain: a guide to selection and implementation. Boca Raton: Auerbach Publications, 2007.
14. HOSAKA, R.; MUROHASHI, T. Experimental Trial to Detect Medical Engineering Equipments in Hospital by Passive UHF RFID Tag. 7th

- International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT). Tokyo: [s.n.]. 2013. p. 81-84.
15. ROMAN, L. S. Hospital comunitário se ajusta com RFID. RFID Journal Brasil, 1 Setembro 2016. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/estudos-de-caso/vision?14910>>. Acesso em: 01 Fevereiro 2017.
 16. VIOLINO, B. Hospital atualiza sistema para segurança infantil. RFID Journal Brasil, 1 Fevereiro 2017. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/estudos-de-caso/vision?15609/>>. Acesso em: 03 Fevereiro 2017.
 17. ZETLIN, M. Complexo hospitalar rastreia equipamentos. RFID Journal Brasil, 24 Novembro 2015. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/estudos-de-caso/vision?13769>>. Acesso em: 03 Fevereiro 2017.
 18. MAKARY, M. A.; DANIEL, M. Medical error—the third leading cause of death in the US. TheBMJ, 03 maio 2016. 1-5. Disponível em: <<http://www.bmj.com/content/353/bmj.i2139>>.
 19. GESUALE, B.; AGARWAL, P. RFID: READ MY CHIPS! Minneapolis: Timelee11, 2004.

20. MARKET & Markets. Market & Markets, 23 jan. 2017. Disponível em: <<http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/rfids-healthcare-market-19089515.html>>.
21. NASA. What are the spectrum band designators and bandwidths?, 2018. Disponível em: <https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_band_designators.html>. Acesso em: 20 Mar 2018.
22. SKU Technologies. RFID Tags / Labels, 2017. Disponível em: <<http://www.skutechnologies.com/rfid-products/rfid-tags-labels/>>. Acesso em: 20 Fev 2017.
23. ELSHRIEF, S. A. E.; SADEK, R. A.; GHALWASH, A. Comparative analysis of authentication techniques to Secure Low Level Reader Protocol (LLRP) connection. 31st National Radio Science Conference (NRSC), Cairo, 2014, pp. 73-81. Cairo: [s.n.]. 2014. p. 73-81.
24. GS1BR. LLRP. GS1 Brasil, 2018. Disponível em: <<https://www.gs1br.org/codigos-e-padroes/epc-rfid/llrp>>. Acesso em: 20 Maio 2018.
25. FINKENZELLER, K. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. Nova Iorque: Wiley, 2010.

26. LEHPAMER, H. RFID Design Principles. Norwood: ARTECH HOUSE, INC., 2008.
27. PARRET, D. RFID en ultra et super hautes fréquences: UHF-SHF: Théorie et mise en oeuvre. Paris: Dunod, 2008.
28. POUZIN, A.; VUONG, T.-P.; TEDJINI, S. Measurement of radar cross section for passive UHF RFID tags. Proceeding of the second European conference on antennas and propagation EuCAP. Edinburgh, UK: [s.n.]. 2007.
29. WHITE, M. O. Radar cross-section: measurement, prediction and control. ELECTRONICS & COMMUNICATION ENGINEERING JOURNAL, p. 169-180, 1998.
30. MATHEW, T.; ZIAI, M. A.; BATCHELOR, J. RCS and Read Range of a UHF RFID Tag. 2010 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Pequim: [s.n.]. 2010. p. 460 - 462.
31. BALANIS, C. A. Microstrip antennas. Antenna theory: analysis and design. 3. ed. [S.l.]: John Willey & Sons, 2005.
32. BALANIS, C. A. Teoria de antenas: Análise e Síntese. 3. ed. [S.l.]: LTC, v. 1, 2009.

33. WONG, K.-L. Compact and broadband microstrip antennas. [S.l.]: John Wiley & Sons, v. 168, 2004.
34. TIWARI, R. et al. Design and analysis of a compact microstrip antenna using shorting pin for 5 GHz band. International Conference on Computer, Communications and Electronics. Jaipur: [s.n.]. 2017. p. 672-675.
35. SUN, L. A novel method of broadening bandwidth for compact single-fed circularly polarized microstrip antenna. IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology. Beijing: [s.n.]. 2016. p. 623-625.
36. GREEN, J. A. S. Aluminum Recycling and Processing for Energy Conservation and Sustainability. [S.l.]: ASM International, 2007.
37. OLIVEIRA, V. et al. Design, simulation and fabrication of low cost UHF RFID reader antenna for hospital applications. 11th German Microwave Conference (GeMiC). Freiburg: [s.n.]. 2018. p. 36-39.
38. MARROCCO, G. The art of UHF RFID antenna design: impedance-matching and size-reduction techniques. IEEE Antennas and Propagation Magazine, v. 50, n. 1, p. 66-79, Feb 2008.
39. ZOMORRODI, M. mm-wave EM-imaging Chipless RFID System. Melbourne, Australia. 2015.

40. FAUDZI, N. M. et al. UHF-RFID Tag Antenna with Miniaturization Techniques. 10th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). [S.l.]: [s.n.]. 2013.
41. GAO, Y. et al. Calculation of read distance in passive backscatter RFID systems and application. Journal of System and Management Sciences, 2, n. 1, 2012. 40-49.
42. LOZANO-NIETO, A. RFID Design Fundamentals and Applications. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011.

Anexos

```
package
monitor;

import java.io.BufferedWriter;
import java.io.File;
import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStream;
import java.io.InputStreamReader;
import java.util.Date;
import java.util.concurrent.TimeoutException;

import org.apache.log4j.PatternLayout;
import org.apache.log4j.Level;
import org.apache.log4j.Logger;
import org.apache.log4j.FileAppender;
import org.llrp.ltk.exceptions.InvalidLLRPMessageException;
import org.llrp.ltk.generated.enumerations.StatusCode;
import org.llrp.ltk.generated.messages.ADD_ROSPEC_RESPONSE;
import org.llrp.ltk.generated.messages.DELETE_ROSPEC;
import org.llrp.ltk.generated.messages.DISABLE_ROSPEC;
import org.llrp.ltk.generated.messages.ENABLE_ROSPEC;
import org.llrp.ltk.generated.messages.GET_READER_CAPABILITIES;
import org.llrp.ltk.generated.messages.GET_READER_CONFIG;
import org.llrp.ltk.generated.messages.GET_ROSPECS;
import org.llrp.ltk.generated.messages.RO_ACCESS_REPORT;
import org.llrp.ltk.generated.messages.START_ROSPEC;
import org.llrp.ltk.net.LLRPConnectionAttemptFailedException;
import org.llrp.ltk.net.LLRPConnector;
import org.llrp.ltk.net.LLRPEndpoint;
import org.llrp.ltk.types.LLRPMessage;
import org.llrp.ltk.types.UnsignedInteger;
import org.llrp.ltk.types.UnsignedShort;
import org.llrp.ltk.util.Util;
public class RFIDMonitor implements LLRPEndpoint {
    private RFIDReader reader;
    private static Logger logger;
```

```

public RFIDMonitor(String IP){
    //Attempt to establish connection with the RFID reader
    try {

        reader = GetReader(IP);
        System.out.println("Connection acquired");
        this.getReaderConfiguration();
        this.getReaderCapabilities();

    } catch (LLRPConnectionAttemptFailedException e1) {

        System.out.println("Exception: Connection Failed");
        e1.printStackTrace();

    }

    Date date = new Date();
    logger = logger.getRootLogger();
    logger.debug("Connection Established with " + reader.reader_IP
+ " at " + Long.toString(date.getTime()));
    addROSpec();
}

public void addROSpec(){
    LLRPMessage response;
    try{
        //Delete ROSpec
        logger.info("Delete ROSPEC message ...");
        DELETE_ROSPEC del = new DELETE_ROSPEC();
        del.setROSpecID(new UnsignedInteger(0));
        response = reader.connection.transact(del, 10000);

        logger.info("Loading ADD_ROSPEC message from file
ADD_ROSPEC.xml ...");

        //InputStream rospec =
getClass().getResourceAsStream("ADD_ROSPEC");
        //BufferedReader specreader = new
BufferedReader(new InputStreamReader(rospec));
        //try {

```

```

        //      File add_rospec = new
File("/temp/rfid/ADD_ROSPEX");
        //} catch (Exception e){
        LLRPMessage addRospec = Util.loadXMLLLRPMessage(new
File("/rfid/ADD_ROSPEX"));

        // send message to LLRP reader and wait for response
logger.info("Sending ADD_ROSPEX message ...");
response = reader.connection.transact(addRospec,
10000);

        // check whether ROSpec addition was successful
StatusCode status =
((ADD_ROSPEX_RESPONSE)response).getLLRPStatus().getStatusCode();
        if (status.equals(new StatusCode("M_Success"))){
            logger.info("Addition of ROSPEX was
successful");
        }
        else {
            // Terminate program
            logger.info(response.toXMLString());
            logger.info("Addition of ROSPEX was
unsuccessful, exiting");
            System.exit(1);
        }
        // Configure the reader
logger.info("Enable ROSPEX ...");
ENABLE_ROSPEX enable = new ENABLE_ROSPEX();
enable.setROSpecID(new UnsignedInteger(3));
response = reader.connection.transact(enable, 10000);
logger.info(response);

logger.info("Start ROSPEX ...");
START_ROSPEX start = new START_ROSPEX();
start.setROSpecID(new UnsignedInteger(3));
response = reader.connection.transact(start, 10000);
logger.info(response);
System.out.println("RECORDING...");
System.out.println();

    } catch (Exception e){

```

```

        e.printStackTrace();
        System.exit(1);
    }
}

public void sendMessage(String messageName){
    if (messageName.equals("n")){
        // do nothing
    }
    else{
        LLRPMessage response;
        try{
            LLRPMessage request =
Util.loadXMLLLRPMessage(new File("/rfid/" + messageName));
            response =
reader.connection.transact(request,10000);
        } catch (Exception e){
            e.printStackTrace(); System.exit(1);
        }
    }
}

public String getIp(){
    return reader.reader_IP;
}

public void disconnect(){
    LLRPMessage response;
    try{
        DISABLE_ROSPEC disable = new DISABLE_ROSPEC();
        disable.setROSpecID(new UnsignedInteger(0));
        response = reader.connection.transact(disable, 10000);
        this.reader.connection.disconnect();
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
        System.exit(1);
    }
}

public void reconnect(){
    reader.connection.reconnect();
}
}

```

```

//Gets reader capabilities and writes them to a file
public void getReaderConfiguration(){
    LLRPMMessage response;
    try{
        System.out.println("Attempting to get reader
configuration...");
        LLRPMMessage request = Util.loadXMLLLRPMMessage(new
File("/rfid/GET_READER_CONFIG"));
        response = reader.connection.transact(request,10000);

        String filename = "/tmp/readerconfig";
        File file = new File(filename);
        if (!file.exists()) {
            file.createNewFile();
        }
        FileWriter fw = new FileWriter(file.getAbsoluteFile());
        BufferedWriter bw = new BufferedWriter(fw);
        bw.write(response.toXMLString());
        bw.close();

        System.out.println("Success, configuration saved to \t "
+ filename);

    } catch (Exception e){
        e.printStackTrace(); System.exit(1);
    }
}

public void setReaderConfiguration(String filename){
    System.out.println("Attempting to set reader configuration");
    LLRPMMessage response;
    try {
        LLRPMMessage request = Util.loadXMLLLRPMMessage(new File
("/rfid/" + filename));
        response = reader.connection.transact(request);
        System.out.print(response.toString());
    } catch (Exception e){
        e.printStackTrace();
    }
}

public void getReaderCapabilities(){

```

```

        System.out.println("Attempting to get reader capabilities");
        LLRPMessage response;
        try {
            LLRPMessage request = Util.loadXMLLLRPMessage(new
File("/rfid/GET_READER_CAPABILITIES"));
            response = reader.connection.transact(request,10000);

            String filename = "/tmp/readercapabilities";
            File file = new File(filename);
            if (!file.exists()){
                file.createNewFile();
            }

            FileWriter fw = new FileWriter(file.getAbsolutePath());
            BufferedWriter bw = new BufferedWriter(fw);
            bw.write(response.toXMLString());
            bw.close();

            System.out.println("Success, capabilities saved to \t \t
" + filename);

        }catch (Exception e){
            e.printStackTrace(); System.exit(1);
        }
    }

    public void printLog(){
        reader.inventory.printLog();
    }

    public RFIDReader GetReader(String IP) throws
LLRPConnectionAttemptFailedException{
        //TODO: Re-comment method. Should be straight forward

        LLRPConnector connection;
        connection = new LLRPConnector(this,IP);
        reader = new RFIDReader(connection,IP);

        //Try to connect. If Connection fails, increment IP and recall
method
        try{

```

```

        ((LLRPConnector) connection).connect();
    } catch (LLRPConnectionAttemptFailedException e1){
        throw e1;
    }
    RFIDReader reader = new RFIDReader(connection,IP);

    return reader;
}

@Override
public void messageReceived(LLRPMessage arg0) {
    if(arg0.getClass()== RO_ACCESS_REPORT.class)
    {
        Date date = new Date();

        try {
            //System.out.println(arg0.toXMLString());
            reader.inventory.update(arg0.encodeXML(),
date.getTime());
        } catch (InvalidLLRPMessageException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
    else {
    }
}

@Override
public void errorOccured(String arg0) {
    logger.debug("Error Occured: " + arg0);
}
}

```

```

package
monitor;

import java.util.Enumeration;
import java.util.Hashtable;
import java.util.Date;

```

```

import java.util.Timer;
import java.io.BufferedWriter;
import java.io.File;
import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;

import org.jdom.Document;
import org.jdom.Element;

public class Inventory {

    private Hashtable<String,RFIDTag> inventory;
    private String eventLog;
    private String inventoryLog;
    private long timeout = 1000;
    private Timer timer;
    private CheckInventory checker;

    private String getTagData(Element root, String name){
        // Isolate the EPC code using a very painful recursive method.
        Element tagReportData =
root.getChild("TagReportData",root.getNamespace());
        Element dataElement =
tagReportData.getChild(name,root.getNamespace());
        String data = dataElement.getContent(0).getValue();
        return data.toString();
    }

    // New version lists both antenna fields if tag is seen by both
    public synchronized void update(Document report, long timestamp){

        // Update the inventory
        String EPC = getTagData(report.getRootElement(),"EPC_96");
        String antennaID = "A" +
getTagData(report.getRootElement(),"AntennaID");
        if (inventory.containsKey(EPC)){

            //Update correct timeLastSeen field
            switch(antennaID){
            case "A1":
                inventory.get(EPC).A1timeLastSeen = timestamp;

```

```

        break;
    case "A2":
        inventory.get(EPC).A2timeLastSeen = timestamp;
        break;
    case "A3":
        inventory.get(EPC).A3timeLastSeen = timestamp;
        break;
    case "A4":
        inventory.get(EPC).A4timeLastSeen = timestamp;
        break;
    }

    //Update location
    if (!inventory.get(EPC).location.contains(antennaID)){
        inventory.get(EPC).location += antennaID;
        eventLog = eventLog + Long.toString(timestamp) +
        "," + antennaID + "," + "ENTER" + "," + EPC + "\n";
        System.out.println(Long.toString(timestamp) +
        "," + antennaID + "," + "ENTER" + "," + EPC);
    }

    // OLD LOGIC BLOCK
    if (!antennaID.equals(inventory.get(EPC).location)){
        // Tag exited one field and entered another

        // Taking out code
        //dataLog = dataLog + Long.toString(timestamp) +
        "," + inventory.get(EPC).antennaID + "," + "EXIT" + "," + EPC + "\n";
        //System.out.println(Long.toString(timestamp) +
        "," + inventory.get(EPC).antennaID + "," + "EXIT" + "," + EPC);
        //dataLog = dataLog + Long.toString(timestamp) +
        "," + antennaID + "," + "ENTER" + "," + EPC + "\n";
        //System.out.println(Long.toString(timestamp) +
        "," + antennaID + "," + "ENTER" + "," + EPC);
        //inventory.get(EPC).antennaID = antennaID;

    }
} else {
    // Add tag to inventory

```

```

        eventLog = eventLog + Long.toString(timestamp) + "," +
antennaID + "," + "ENTER" + "," + EPC + "\n";
        inventoryLog = inventoryLog + Long.toString(timestamp) +
"," + "1" + "," + EPC + "\n";
        System.out.println(Long.toString(timestamp) + "," +
antennaID + "," + "ENTER" + "," + EPC);
        inventory.put(EPC,new RFIDTag(antennaID, timestamp));
    }
}

```

```

public synchronized void checkList(){
    long timestamp = new Date().getTime();
    Enumeration<String> e = inventory.keys();
    while (e.hasMoreElements()== true){
        String EPC = e.nextElement();

        // Check for currency in each antenna field
        if (inventory.get(EPC).location.contains("A1")){
            if (timestamp -
inventory.get(EPC).A1timeLastSeen >= timeout){
                inventory.get(EPC).location =
inventory.get(EPC).location.replace("A1", "");
                eventLog = eventLog + Long.toString(timestamp) +
"," + "A1" + "," + "EXIT" + "," + EPC + "\n";
                System.out.println(Long.toString(timestamp) +
"," + "A1" + "," + "EXIT" + "," + EPC);
            }
        }
        if (inventory.get(EPC).location.contains("A2")){
            if (timestamp -
inventory.get(EPC).A2timeLastSeen >= timeout){
                inventory.get(EPC).location =
inventory.get(EPC).location.replace("A2", "");
                eventLog = eventLog + Long.toString(timestamp) +
"," + "A2" + "," + "EXIT" + "," + EPC + "\n";
                System.out.println(Long.toString(timestamp) +
"," + "A2" + "," + "EXIT" + "," + EPC);
            }
        }
        if (inventory.get(EPC).location.contains("A3")){

```

```

        if (timestamp -
inventory.get(EPC).A3timeLastSeen >= timeout){
            inventory.get(EPC).location =
inventory.get(EPC).location.replace("A3", "");
            eventLog = eventLog + Long.toString(timestamp) +
", " + "A3" + ", " + "EXIT" + ", " + EPC + "\n";
            System.out.println(Long.toString(timestamp) +
", " + "A3" + ", " + "EXIT" + ", " + EPC);
        }
    }
    if (inventory.get(EPC).location.contains("A4")){
        if (timestamp -
inventory.get(EPC).A4timeLastSeen >= timeout){
            inventory.get(EPC).location =
inventory.get(EPC).location.replace("A4", "");
            eventLog = eventLog + Long.toString(timestamp) +
", " + "A4" + ", " + "EXIT" + ", " + EPC + "\n";
            System.out.println(Long.toString(timestamp) +
", " + "A4" + ", " + "EXIT" + ", " + EPC);
        }
    }

    if (inventory.get(EPC).location.isEmpty()){
        //System.out.println("tag" + " " + EPC + " no
longer visible");

        //timestamp,epc,1/0 one represents in a field
and zero represents not in a field
        inventoryLog = inventoryLog +
Long.toString(timestamp) + ", " + "0" + ", " + EPC + "\n";
        inventory.remove(EPC);
    }
}

}

public void on(){
    timer.schedule(checker, (long)(10), (long)(10));
}

public Inventory(){
    // Constructor
    inventory = new Hashtable<String, RFIDTag>(128);
    this.checker = new CheckInventory(this);
}

```

```

        this.timer = new Timer();
        eventLog = new String("Your RFID tags will be assimilated.
\n");
        inventoryLog = new String("Your RFID tags will be assimilated.
\n");
    }

    public void printLog(){
        try {
            Date date = new Date();
            String filename = "/tmp/eventlog_" +
Integer.toString(date.getMonth() + 1)+ "_" + Integer.toString(date.getDate())
+ "_" + Integer.toString(date.getHours()) + ":" +
Integer.toString(date.getMinutes()) + ".txt";
            File file = new File(filename);

            // if file doesn't exists, then create it
            if (!file.exists()) {
                file.createNewFile();
            }

            FileWriter fw = new FileWriter(file.getAbsolutePath());
            BufferedWriter bw = new BufferedWriter(fw);
            bw.write(eventLog);
            bw.close();

            String filename2 = "/tmp/inventoryLog_" +
Integer.toString(date.getMonth() + 1) + "_" +
Integer.toString(date.getDate()) + "_" + Integer.toString(date.getHours()) +
":" + Integer.toString(date.getMinutes()) + ".txt";
            File file2 = new File(filename2);

            if(!file2.exists()){
                file2.createNewFile();
            }

            fw = new FileWriter(file2.getAbsolutePath());
            bw = new BufferedWriter(fw);
            bw.write(inventoryLog);
            bw.close();

```

```

//Testing printing using CUPS and thermal printer, just
for fun
//FileInputStream octowriter = new
FileInputStream(file);
//try {
//    CupsClient client = new CupsClient();
//    CupsPrinter def = client.getDefaultPrinter();
//    PrintRequestResult response;
//    response = def.print(new
PrintJob.Builder(octowriter).build());
//    if (response.isSuccessfulResult()){
//        System.out.println("Hurray! Printed!");
//    } else {
//        System.out.println("Boo! Failure!");
//    }
//} catch (Exception e) {
//    // TODO Auto-generated catch block
//    e.printStackTrace();
//}
System.out.println();
System.out.println("DONE. Log file located at \t" +
filename);

} catch (IOException e) {
    e.printStackTrace();
}
}
}

```

