



## **GRENOBLE INP PHELMA 2009/2010**

### **RELATÓRIO DE ESTÁGIO**

#### **Concepção de uma tag RFID UHF passiva para a localização de pessoas**

**Instituição de acolhimento: IMEP-LAHC**

IMEP Grenoble INP - MINATEC  
3 rue Parvis Louis Néel BP 257 38016 Grenoble cedex 1 FRANCE

Telefone: 00 33 04 56 52 95 00

Fax: 00 33 04 56 52 95 01

Site web: <http://imep-lahc.grenoble-inp.fr/>



**Nome da estagiária:** Maria Leticia NÓBREGA BATISTA

**Período de realização:** de 01/02/2010 a 31/06/2010

**Carga horária:** 735 horas

**Orientador PHELMA:** Tân Phu VUONG, [tan-phu.voung@minatec.inpg.fr](mailto:tan-phu.voung@minatec.inpg.fr)

**Tutor PHELMA:** Fabien NDAGIJIMANA, [fabien.ndagijimana@minatec.inpg.fr](mailto:fabien.ndagijimana@minatec.inpg.fr)



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

Relatório de Estágio Integrado apresentado à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento parcial às exigências para obtenção do Grau de Engenharia Eletricista.

**ALUNA:** \_\_\_\_\_

**Maria Leticia Nóbrega Batista**

**ORIENTADOR:** \_\_\_\_\_

**Rômulo Raimundo Maranhão do Valle**

Campina Grande – PB.

Julho de 2011



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

Estagiária: Maria Leticia Nóbrega Batista

Local: IMEP – LAHC - Grenoble INP - MINATEC

Período de Estágio: Fevereiro/2010 a Junho/2010

Orientadores:

**UFCG:** Glauco FONTGALLAND e Rômulo VALLE

**Grenoble INP:** Fabien NDAGIJIMANA e Tân Phu VUONG

Campina Grande – PB.

Julho de 2011

## Agradecimentos

Este projeto é resultado do programa bilateral de intercâmbio BRAFITEC apoiado pelo Ministério de Educação brasileiro (MEC - CAPES) e o Ministério de Educação Francês (MAE - MENESR - DREIC) cuja coordenação francesa é assegurada pelo CDEFI.

Agradeço ao Sr. Luciano FIGUEIREDO BATISTA e Sra. Maria Zoetânia da Nóbrega BATISTA por terem me dado a vida, permitindo-me educação e firmeza e manter-me firme independentemente dos problemas. Agradeço, especialmente, por terem me proporcionado os meios para atingir as minhas ambições de infância, e poder fazer melhor do que eles. Agradeço também aos meus irmãos Stefania NÓBREGA e Joaquim APRIGIO a quem ofereço minha gratidão e reconhecimento.

Agradeço a todos os responsáveis pelo programa BRAFITEC, Glauco FONTGALLAND e Raimundo FREIRE, o estabelecimento de acolhimento da PHELMA-INP e da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Agradeço a todos que me apoiaram e, claro, os professores que confiaram em mim. Aproveito esta oportunidade para agradecer ao meu orientador de estágio Sr. Tân Phu VUONG e meu tutor Sr. Fabien NDAGIJIMANA que continuaram a incentivar-me durante a minha formação e estágio. Também agradeço pela confiança que tinham no meu trabalho.

Aproveito esta oportunidade para agradecer a todos os professores e supervisores que conheci durante toda essa jornada, sabendo que cada um ao seu nível e seu tempo procuraram sempre transmitir o conhecimento útil que permitiu a produção deste trabalho de pesquisa modesto. Não posso esquecer-me de agradecer ao Sr. Nicolas CORRAO por todo ensinado na área técnica e de manuseio dos equipamentos de medição.

Agradeço muito calorosamente, mais do que companheiros de pesquisa, verdadeiros amigos, por todos os momentos maravilhosos que passamos juntos, que ficará gravado para a eternidade. Estou me referindo à Ariana SERRANO, Bruno FRANCISCATTO, Christophe BERTRAND, Diana STEFAN, Evanaska NOGUEIRA, Flora PARESYS, Florence SONNERAT, Giovanni BULLA, Gustavo REHDER, Karim HAJKHLIFA, Lucas MUNIZ, Ricardo MALHERBI, Thomas COULOT, Vincent DOBREMEZ e Vitor FREITAS. E a todos que fazem parte da turma de Engenharia Elétrica 2006.1 na UFCG.

Este relatório é dedicado a todos aqueles que sonham e fazem a inovação possível, esses bravos homens e mulheres que tentam tornar o mundo melhor.

Finalmente, eu agradeço a Deus por todas as oportunidades cedidas, sem as quais eu nunca iria nascer e não estaria aqui hoje para relatar este fato.

Merci beaucoup!!!



## Epígrafo

Qui pense peu, se trompe beaucoup.

Il n'est aucune chose qui aille plus vite que les années.

Il ne faut pas appeler richesses les choses que l'on peut perdre.

Le mal est notre ennemi. Mais, ne serait-il pas pire qu'il fût notre ami

**(Leonardo da Vinci)**

Terminado o jogo, o rei e o peão voltarão à mesma caixa.

**(Provérbio italiano)**

La jeunesse est le temps d'étudier la sagesse ; la vieillesse est le temps pour pratiquer.

**(Rousseau)**

Meus desejos são ordens para mim.

**(Abraham Lincoln)**

## Contexto

O Laboratório IMEP-LAHC

O IMEP, Instituto de Microeletrônica Eletromagnetismo e Photônica, é uma nova unidade de pesquisa do grupo CNRS/INPG/UJF fundada em Janeiro de 2001 a partir da fusão de dois antigos laboratórios: LEMO (Laboratório de Eletromagnetismo Microondas e Optoeletrônica) e LPCS (Laboratório de Física de Componentes Semicondutores)

Em 2007, a consolidação do IMEP e do LAHC (Laboratório de Hiperfrequência e Caracterização), deu à luz ao IMEP-LAHC, unidade mista de pesquisa do UMR5130 CNRS / INP Grenoble / Universidade de Savoie.

As atividades de pesquisa do IMEP-LAHC cobrem uma área muito ampla (materiais, tecnologias, componentes, circuitos e sistemas) propiciando pesquisas interdisciplinares em comum com as áreas de nanofísica, química dos materiais, projetistas de circuitos e sistemas eletrônicos e optoeletrônicos.

Localizada na convergência de várias ciências e tecnologias, o IMEP-LAHC desempenha um papel unificador para realizar projetos ambiciosos e enfrentar os desafios do futuro da eletrônica.

Essas atividades estão agrupadas em torno de três temas de investigação e aplicações potenciais de pesquisa (semicondutores, computadores, telecomunicações,...) que são questões muito importantes para a economia nas próximas duas décadas.



## **Estado da arte**

O tema deste estágio é a Concepção de uma tag RFID UHF passiva para a localização de pessoas.

Nos últimos anos, graças ao desenvolvimento de novas tecnologias para redes de computadores sem fio (Wi-Fi ou Bluetooth) em termos de confiabilidade e acessibilidade, a domótica e tecnologias de localização têm se desenvolvido rapidamente.

Uma das possíveis aplicações dessas novas tecnologias consiste em utilizar a tecnologia RFID para permitir a localização de objetos e pessoas no interior de um edifício, por exemplo.

A tecnologia RFID surgiu na década de 1950, mas sofreu o seu crescimento real desde 1990. Os sistemas RFID utilizam, principalmente, quatro bandas de frequência situadas à 125KHz ( baixas frequências), 13,56 MHz (altas frequências), 860-960MHz (UHF, Ultra High Frequency) e 2,45 GHz (faixa de microondas). Neste trabalho optamos por utilizar a tecnologia RFID UHF passiva.

## **Introdução**

O desenvolvimento desta tecnologia foi iniciado pelas descobertas científicas, as quais permitiram novas aplicações tecnológicas.

Este relatório descreve todo o trabalho realizado durante o período da realização do estágio. É composto da presente introdução, seis capítulos, onde cada um apresentará questões que estão relacionadas com o tema do estágio. Começando com uma pequena introdução à tecnologia RFID.

O segundo capítulo é dedicado aos diferentes métodos de caracterização de um material, onde será mostrado que este tema é muito importante para a fase que antecede o projeto da antena.

O terceiro diz respeito as técnicas fundamentais para a instalação do sistema de RFID. Este capítulo irá mostrar algumas técnicas que garantem uma boa instalação e obtenção de um bom sistema.

O quarto capítulo é dedicado as propriedades básicas e os diversos tipos de antenas, assim como seu funcionamento.

O quinto capítulo apresentará as antenas que foram concebidas e seus respectivos resultados de simulação, e também modelo final obtido após uma série de adaptações e otimizações.

E, finalmente, a conclusão resumirá todo o trabalho desenvolvido durante o estágio apresentando os principais resultados e perspectivas.



## Sumário

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>4</b>
<b>Epígrafa</b> .....	<b>5</b>
<b>Contexto</b> .....	<b>6</b>
<b>Estado da arte</b> .....	<b>7</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>8</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>12</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>14</b>
<b>Capítulo 1: A tecnologia RFID</b> .....	<b>15</b>
<b>Apresentação do capítulo</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 Introdução geral sobre a tecnologia RFID</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 Classificação das tags RFID quanto à alimentação</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2.1 Tags ativas</b> .....	<b>20</b>
<b>1.2.2 Tags passivas</b> .....	<b>20</b>
<b>1.2.3 Tags semi-passivas</b> .....	<b>21</b>
<b>1.3 Classificação das tags RFID quanto ao tipo de memória</b> .....	<b>22</b>
<b>1.4 Classificação das tags quanto à frequência de utilização</b> .....	<b>23</b>
<b>1.5 Leitores de RFID</b> .....	<b>25</b>
<b>1.6 Conclusão</b> .....	<b>25</b>
<b>Capítulo 2: Diferentes métodos para caracterização de materiais</b> .....	<b>27</b>
<b>Apresentação do capítulo</b> .....	<b>27</b>
<b>2.1 Introdução</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2 Diferentes tipos de materiais</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.1 Materiais dielétricos</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.2 Materiais condutores</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.3 Materiais semicondutores</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3 Métodos de caracterização</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3.1 Método no espaço livre</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3.2 Métodos ressonantes</b> .....	<b>31</b>
<b>2.3.2.1 Método da sonda coaxial</b> .....	<b>32</b>
<b>2.3.2.2 Guia de Onda</b> .....	<b>32</b>
<b>2.3.2.3 Estruturas guiadas</b> .....	<b>33</b>

2.3.3	Método capacitivo.....	33
2.3.4	Método da linha de transmissão.....	34
2.4	Escolha o método a ser utilizado .....	35
2.5	Simulação do método escolhido.....	36
2.6	Medições .....	38
2.7	Conclusão .....	38
<b>Capítulo 3: Implantação e Instalação de Sistemas .....</b>		<b>39</b>
Apresentação do capítulo.....		39
3.1	Visão geral.....	39
3.2	Variáveis do sistema .....	39
3.3	Elementos do processo .....	40
3.3.1	Análise do local .....	41
3.3.2	Design do sistema.....	41
3.3.3	Tarefa de instalação .....	41
3.3.4	Manutenção do sistema.....	42
3.4	Instalação do Hardware.....	42
3.4.1	Instalação dos leitores .....	42
3.4.2	Instalação das antenas.....	42
3.4.3	Instalação dos cabos .....	42
3.5	Testes do sistema .....	43
<b>Capítulo 4: Antenas.....</b>		<b>45</b>
Apresentação do capítulo.....		45
4.1	Introdução.....	45
4.2	Parâmetros fundamentais da antena .....	46
4.2.1	Diagrama de radiação .....	46
4.2.2	Ganho .....	47
4.2.3	Propriedades das antenas .....	48
4.2.3.1	Antenas Isotrópicas .....	48
4.2.3.2	Antenas direcionais .....	48
4.2.3.3	Antena unidirecional.....	48
4.2.3.4	Intensidade de radiação .....	49
4.2.3.5	Abertura do diagrama de radiação.....	49
4.2.3.6	Directividade .....	50
4.2.3.7	Polarização .....	51
4.2.3.7.1	Tipos de polarização.....	51

<b>4.3</b>	<b>Tipos de antenas</b> .....	<b>52</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Antenas filaires</b> .....	<b>52</b>
<b>4.3.1.1</b>	<b>Dipolo de meia-onda</b> .....	<b>52</b>
<b>4.3.1.2</b>	<b>Antena YAGI-UDA</b> .....	<b>53</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Antenas planares</b> .....	<b>54</b>
<b>4.4</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>54</b>
<b>Capítulo 5: Simulação e Concepção de antenas</b> .....		<b>55</b>
<b>Apresentação do capítulo</b> .....		<b>55</b>
<b>5.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>55</b>
<b>5.2</b>	<b>Dipolo clássico</b> .....	<b>55</b>
<b>5.3</b>	<b>Adaptação da impedância</b> .....	<b>59</b>
<b>5.4</b>	<b>Miniaturização de antenas</b> .....	<b>61</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Dipolo miniaturizado</b> .....	<b>61</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Dipolo final miniaturizado</b> .....	<b>63</b>
<b>5.5</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>66</b>
<b>Capítulo 6: Conclusões gerais e Perspectivas</b> .....		<b>67</b>
<b>Bibliografia</b> .....		<b>68</b>
<b>Anexo 1</b> .....		<b>71</b>
<b>Résumé</b> .....		<b>73</b>
<b>Resumo</b> .....		<b>73</b>
<b>Abstract</b> .....		<b>73</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 – Sistema RFID (Finkenzeller, 2003). .....	17
Figura 2 – Distribuição das aplicações RFID no ano de 2007 (IDtechEx). .....	18
Figura 3 – Exemplo de Sistema RFID.....	18
Figura 4 – Arquitetura básica de uma tag.....	19
Figura 5 – Tipos de tags(Dobkin, 2008).....	19
Figura 6 - Representação esquemática de uma tag RFID ativa (Dobkin, 2008). .....	20
Figura 7 – Representação esquemática de uma tag RFID passiva (Dobkin, 2008).....	21
Figura 8 – Representação esquemática de uma tag RFID semi-passiva (Dobkin, 2008).....	22
Figura 9 – Espectro de frequência. ....	23
Figura 10 – Tipos de Leitores RFID (Intermec).....	25
Figura 11 – Simulação do efeito de presença de um dielétrico (1,6 x 20 x 160 mm, $\epsilon_r= 4,4$ , $\tan\delta = 0,025$ ) a uma distância de 0, 1 e 10 mm da impedância de entrada $Z_a$ de um dipolo adaptado à 852 MHz no espaço e seu coeficiente de adaptação.....	27
Figura 12 – Esquema de uma bancada de testes na presença de uma amostra no centro da figura. ....	30
Figura 13 – Stub em microstrip (Univ-brest). .....	31
Figura 14 – Sonda coaxial em reflexão (Univ-brest). .....	32
Figura 15 – Guia de onda em reflexão. ....	33
Figura 16 – Schéma d’une capacité MIM en microélectronique.....	33
Figura 17 – Diferentes tipos de configurações de estruturas de transmissão. ....	34
Figura 18 – Esquema de uma Linha de transmissão e suas portas de entrada e saída.....	35
Figura 19 – Cavidade proposta em contato com a linha utilizada. ....	37
Figura 20 – Bancada de medição composta por um VNA 8510C da Agilent.....	37
Figura 21 – Resultado da simulação de um substrato com $\epsilon_d = 6$ , Ansoft®. ....	38
Figura 22 – Tags RFID (Zdnet, 2007).....	40
Figura 23 – Exemplo de um Sistema RFID para uma biblioteca (Fouk, 2010). .....	41
Figura 24 – Circuito elétrico representativo de uma antena. ....	45
Figura 25 – Sistema de coordenadas prático. ....	46
Figura 26 – Dois tipos de diagrama de radiação de um dipolo. ....	47
Figura 27 – Diagrama de radiação 3D de um dipolo.....	47
Figura 28 – Diagrama auxiliar para determinação do ganho de uma antena.....	48
Figura 29 – Diagrama de radiação 3D para uma antena direcional.....	48

Figura 30 – (a)Exemplo de uma antena unidirecional (b)Vista 3D da propagação das ondas utilizando uma antena unidirecional.....	49
Figura 31 – Diagrama de radiação.....	50
Figura 32 – Exemplos de antenas directivas. ....	50
Figura 33 – Ângulo de polarização .....	51
Figura 34 – Tipos de polarização. ....	51
Figura 35 – Dipolo de meia-onda.....	52
Figura 36 – Comportamento da corrente em um dipolo.....	53
Figura 37 – Curva de corrente e tensão. ....	53
Figura 38 – Antena do tipo Yagi-Uda. ....	54
Figura 39 – Esquema de uma antena Patch. ....	54
Figura 40 – Especificações dos substratos utilizados.....	55
Figura 41 – Estrutura e parâmetros de uma antena dipolo clássica.....	56
Figura 42 – Resultado da simulação do parâmetro $S_{1,1}$ .....	57
Figura 43 – Diagrama de radiação 3D simulado. ....	57
Figura 44 – Impedância da antena.....	58
Figura 45 – Geometria da antena dipolo adaptado com um elemento discreto.....	58
Figura 46 – Efeito de um chip RFID no circuito de adaptação da antena. ....	59
Figura 47 – Geometria de uma antena dipolo adaptada com o auxílio de um laço.....	59
Figura 48 – Resultado da simulação, parâmetro $S_{1,1}$ .....	60
Figura 49 – Resultado da simulação do diagrama de radiação do dipolo com o circuito de adaptação.....	61
Figura 50 – Antena 1.....	62
Figura 51 – Antena 2.....	62
Figura 52 – Antena 3.....	62
Figura 53 – Antena 4.....	63
Figura 54 – Antena 5.....	63
Figura 55 – Antena 6.....	64
Figura 56 – Simulação do parâmetro $S_{1,1}$ da antena 6.....	64
Figura 57 – Geometria da antena final.....	65
Figura 58 – Simulação do parâmetro $S_{1,1}$ (dB) da antena final.....	65
Figura 59 – Diagrama de radiação da antena final.....	66
Figura 60 – Quadripolo auxiliar para a obtenção da matriz ABCD.....	71

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Histórico da tecnologia RFID.....	15
Tabela 2 – Parâmetros da antena. ....	56
Tabela 3 – Parâmetros do dipolo com o laço de adaptação.....	60
Tabela 4 – Parâmetros do dipolo final.....	65

## Capítulo 1: A tecnologia RFID

### Apresentação do capítulo

O objetivo deste capítulo é apresentar uma introdução geral à tecnologia RFID, especificamente, a tecnologia RFID UHF passiva. Na primeira seção, uma visão geral dos sistemas de RFID é realizada. Discutem-se várias técnicas de identificação existentes, as aplicações, o funcionamento, as questões éticas e sociais que lhes estão associados e, finalmente, as diferentes categorias de sistemas RFID existentes. A segunda seção aborda as normas e regulamentos desta tecnologia. A terceira seção traz um estado da arte dos sistemas RFID UHF apresentando os protocolos de comunicação utilizados, a arquitetura dos leitores e arquitetura das etiquetas ou *tags*. A última seção apresenta fundamentos para a fabricação de etiquetas RFID UHF passivas.

### 1.1 Introdução geral sobre a tecnologia RFID

A globalização da economia combinada com o impacto das novas formas de comércio dão origem a desafios logísticos que surgem ao longo da cadeia de distribuição de produtos. O código de barras tem sido empregado como ferramenta essencial para o gerenciamento de estoques e fluxos. Mas agora está enfrentando seus limites físicos: a identificação deve obrigatoriamente passar por um leitor óptico e contém pouca informação. Uma tecnologia, descrito como inteligente, permite contornar essa armadilha. Além de proporcionar uma leitura baseada em ondas de rádio, pode conter uma grande quantidade de informação: é o conhecemos pelo nome de RFID (Radio Frequency Identification Device). A Tabela 1 resume a história desta tecnologia.

**Tabela 1 – Histórico da tecnologia RFID**

<b>1940 :</b>	O conceito de RFID (identificação por radio frequência) data da segunda guerra mundial. Ela está ligada ao desenvolvimento do rádio e do radar. Para determinar se os aviões que chegavam ao espaço aéreo britânico eram amigos ou inimigos, os aliados possuíam tags, ou transponders, para responder a perguntas dos radares da base. Este sistema, conhecido como IFF (Identificação: Friend or Foe, o controle do tráfego aéreo atualmente é baseado neste princípio), é a primeira utilização de RFID. O primeiro estudo que está disponível sobre o assunto é uma obra de Harry Stockman, seguido dos trabalhos de F. L. Vernon e de D. B. Harris. Estes dois últimos artigos são considerados a base da RFID e descrevem os princípios que são empregados ainda hoje.
<b>1970 :</b>	Durante os anos 1960 e 1970, a tecnologia RFID restringiu-se a utilização confidencial e militar para controlar o acesso a locais sensíveis, como o setor nuclear.
<b>1980 :</b>	Os avanços tecnológicos permitiram o surgimento das etiquetas passivas. A ausência de uma fonte de energia embarcada permitiu uma tag mais barata. A tag recebe energia necessária ao seu funcionamento a partir do sinal do leitor. No final dos anos 1970, a tecnologia expandiu-se no setor privado. Uma das primeiras aplicações comerciais foi a identificação do gado na Europa. Até o início de 1980, diversas empresas européias e norte-americanas deram início a produção das etiquetas RFID.

<p><b>2000 :</b> A miniaturização do chip permite a sua utilização para novas aplicações.</p> <p><b>2004 :</b> O centro Auto-ID do MIT torna-se EPC global, uma organização cujo objetivo é promover o padrão EPC (Electronic Product Code) - espécie de super código de barras armazenados em uma etiqueta RFID, desenvolvido pela universidade e aprovado pela indústria.</p> <p><b>2007 :</b> A explosão da comercialização da RFID e suas aplicações se tornem generalizados.</p>
---

A identificação por radiofrequência (RFID) está baseada nas descobertas feitas por Faraday, em meados do século XIX e as descobertas feitas entre 1900 e 1940 sobre a tecnologia de rádio e tecnologia de radar. Os avanços tecnológicos permitem o desenvolvimento de marcas ocorreu durante a primeira metade do século XX (Mathew, 2008).

O desenvolvimento da tecnologia RFID viu a sua grande expansão nos últimos anos. Nos Estados Unidos, por exemplo, o Wal-Mart (gigante do varejo) exige que todos os seus fornecedores integrem tags RFID em seus produtos. Na França e na Europa, o Carrefour e Metro estão impondo as mesmas condições. Nos ingressos das últimas duas copas também foram utilizadas tags RFID para evitar fraude, bem como nas embalagens de Viagra para impedir a falsificação.

Mesmo os seres humanos podem agora ter chips implantados sob a pele, que transmitem o seu número de identificação. Este é o caso do implante Verichip, autorizado pelo governo dos EUA na Flórida, em outubro de 2004. Hoje, por € 1000,00, alguns clientes VIPs da Baja Beach Club em Rotherham, podem ter o chip VIP implantado na pele. No entanto, a União Européia já proibiu tais práticas (iFrance).

A tecnologia RFID aumenta a produtividade e conveniência. Ela é utilizada por centenas, se não milhares de aplicações, tais como impedir o roubo de automóveis e de bens, pagamentos de pedágios sem a necessidade de parar, a gestão do tráfego, acesso a edifícios, automatizar estacionamento, controle de acesso de veículos aos condomínios fechados, movimentação nos aeroportos, o acompanhamento de uma variedade de recursos de gestão, cadeias de suprimento. Finalmente, podemos dizer que o RFID está presente em nosso dia a dia de modo essencial.

Um sistema de RFID, Figura 1, é composto de uma estação base ou leitor RFID, cuja missão é identificar a tag. O leitor envia uma onda eletromagnética na direção do elemento a ser identificado. A tag associada ao elemento consiste de uma antena e um microchip.

A finalidade de um sistema de RFID é permitir que dados sejam transmitidos por um dispositivo móvel, a tag, e que seja lido por um leitor RFID. Os dados são processados de acordo com as necessidades da aplicação. Os dados transmitidos pela tag fornecem a localização, identificação ou detalhes sobre o produto marcado, como cor, preço, data de compra, etc. ver Figura 2. Em essência, um sistema RFID é apenas um leitor e um tag. A comunicação entre o leitor e a etiqueta é feita no ar a uma dada frequência, como qualquer comunicação por rádio. Os leitores, antenas, tags e frequência são as bases de um sistema de RFID. As seguintes seções fornecem uma visão geral de como eles funcionam.



Um número considerável de estudos está sendo realizados sobre a concepção de tags RFID para objetos de metal nos últimos anos. A antena invertida F (IFA), Antena Planar F-Invertido (PIFA), estruturas de antenas do tipo patch, que possuem um plano de apoio às suas estruturas, são comumente usadas em modelos de tags RFID para metal (Lee, 2005).

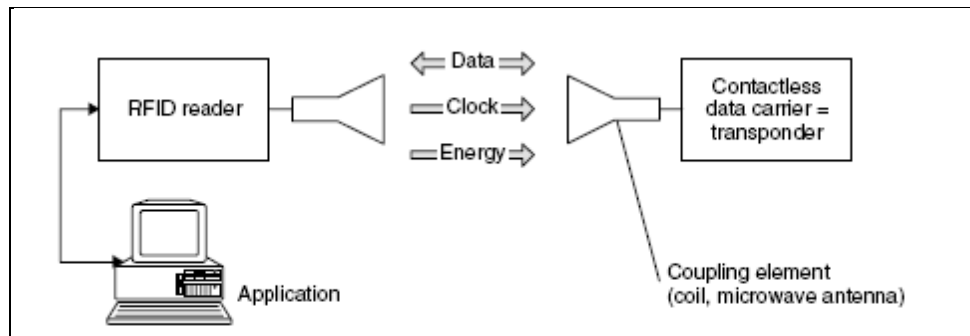


Figura 1 – Sistema RFID (Finkenzeller, 2003).

Sistemas de RFID são distinguidos principalmente pela frequência de ondas de rádio que utilizam, pela forma como as tags são alimentadas e pelos protocolos usados para comunicação entre a tag e o leitor. A escolha da frequência, fonte de alimentação, e o protocolo possuem implicações importantes para a faixa de custo e funções acessíveis para o usuário.

A tecnologia RFID tornou-se popular a ponto de um exemplo de aplicação típico consistir em controlar os produtos produzidos por indústrias de serviços, fabricação, logística e canais de abastecimento. Esse grande número de aplicações conduziu a uma baixa nos preços dos leitores de RFID, assim como em todo o seu processo desde a fabricação da tag até a instalação do sistema completo, ver Figura 2. Permitiu também o desenvolvimento de algumas funções interessantes como a comunicação sem fio, altas taxas de transmissão e de segurança e tamanho reduzido.

Graças a esses recursos, o sistema RFID é um bom candidato para os problemas de localização em ambientes fechados, que é o caso que aqui será tratado. No entanto, ainda existem algumas dificuldades no uso de RFID para localização. Por exemplo, esse uso requer muita infraestrutura para determinar com precisão a localização do objeto desejado e a maioria dos dispositivos de RFID não contém funções Indicação Intensidade do Sinal Recebido (RSSI), que pode contribuir para melhorar a precisão e a caracterização dos materiais onde a tag é alocada e também é indispensável para a implantação bem-sucedida dessa técnica. Além disso, uma vez que o RFID trabalha desde frequências de microondas até baixas frequências, é necessário escolher uma frequência de funcionamento adequada para atender a necessidade a qual se deseja. Diferentes escolhas de entre as tags existentes, tais como as tags ativas, passivas e semi-passivas, também podem afetar a precisão da localização.

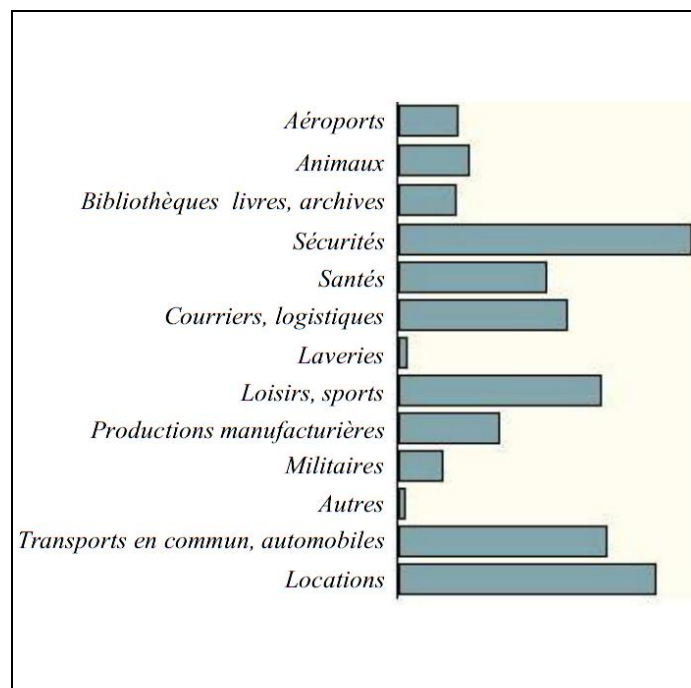


Figura 2 – Distribuição das aplicações RFID no ano de 2007 (IDtechEx).

Um exemplo de um sistema completo é mostrado na Figura 3.



Figura 3 – Exemplo de Sistema RFID.

## 1.2 Classificação das tags RFID quanto à alimentação

Existem diversos tipos de tags RFID, uma breve introdução desses tipos é apresentada nesta seção. Um dos componentes básicos do sistema é a etiqueta ou tag, cuja função básica é o armazenamento de dados a respeito do processo ou produto do qual ele faz parte (uma pessoa, um animal, um equipamento, uma embalagem ou produto) e enviar esses dados quando solicitado. A evolução tecnológica e na área da engenharia de materiais levam a produção de tags cada dia menores e mais finas, onde muitas se assemelham a pequenas cápsulas ou adesivos.

As tags são constituídas basicamente por uma antena e um chip, como é mostrado na Figura 4. Esses dois blocos são então encapsulados para que possam ser utilizados na aplicação a que se destinam.

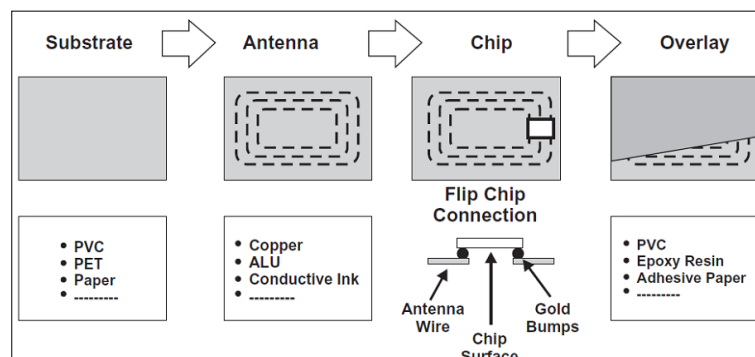


Figura 4 – Arquitetura básica de uma tag.

Uma das principais características de uma etiqueta RFID é quanto a sua alimentação. Como já foi citada anteriormente, uma etiqueta passiva não apresenta qualquer fonte de energia na sua arquitetura. Já as etiquetas ativas têm essa fonte on board. As consequências dessa alimentação (ou falta dela) recaem sobre o raio de alcance e tamanho da tag.

As tags RFID podem ser classificadas em duas categorias principais, tags ativas e tags passivas, em função da sua fonte de alimentação elétrica. As tags ativas possuem sua própria fonte de alimentação, geralmente uma bateria embarcada. As tags passivas recebem energia a partir da recuperação da potencia de um sinal emitido por um leitor externo, não apresentam qualquer fonte de energia na sua arquitetura. Existe também o tipo de tag semi-passiva (ou semi-ativas) que também possuem uma bateria no seu circuito. Porém, essa fonte de energia não é usada para alimentar a parte de transmissão, e sim para alimentar circuitos eletrônicos extras, como sensores, por exemplo. Ver Figura 5.

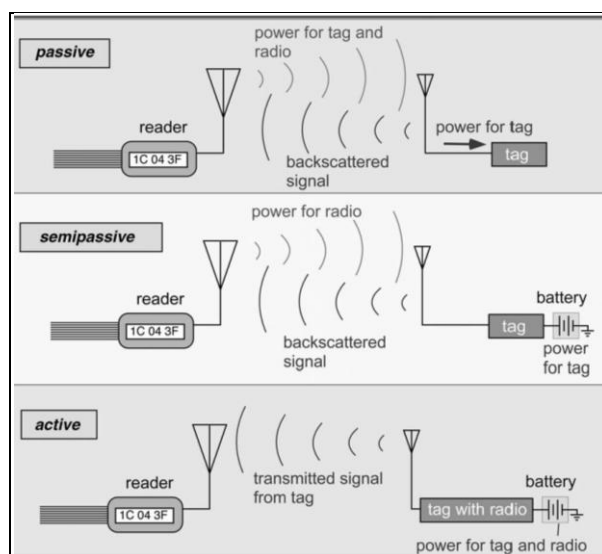


Figura 5 – Tipos de tags (Dobkin, 2008).

### 1.2.1 Tags ativas

As tags ativas são equipadas com uma fonte de alimentação própria, um receptor e um transmissor ativos. Diferentes tags ativas podem conversar entre si formando uma rede. Elas podem ser comparadas como os nós de uma rede de sensores, por exemplo, ver Figura 6.

Os circuitos eletrônicos podem conter microprocessadores, sensores e portas de entrada/saída alimentadas pela fonte interna.

A comunicação tag-leitor pode ser iniciada por qualquer uma das partes. A tag pode transmitir de forma contínua mesmo na ausência de um leitor. Um outro tipo de tag ativa permanece em estado de espera (sleep state – estado de economia de energia) na ausência de um leitor. O leitor então envia um comando, previamente programado, que desperta a tag do sleep state. A distância de leitura de uma etiqueta ativa pode chegar a 1 km, é interessante notar que o consumo de energia varia com a distância de comunicação.

As tags ativas também permitem a integração de sensores, mas não apresentam a capacidade de gerar um sinal de energia comparável ao do leitor, como tags passivas ou semi-passivas e possuem pequena vida útil da bateria (desvantagem quando comparado à uma tag passiva), em condições de operação normal, o tempo de vida útil médio de uma etiqueta ativa pode variar de 3 a 7 anos, a depender do fabricante, dentre os produtos disponíveis no mercado e o tempo média de vida útil é de 5 anos.

Na prática, as tags ativas são capazes de cobrir uma área de várias centenas de metros no máximo. A possibilidade de armazenamento de uma grande quantidade de dados em uma tag ativa é frequentemente usada para armazenar informações sobre um carregamento de mercadorias em um contêiner, por exemplo.

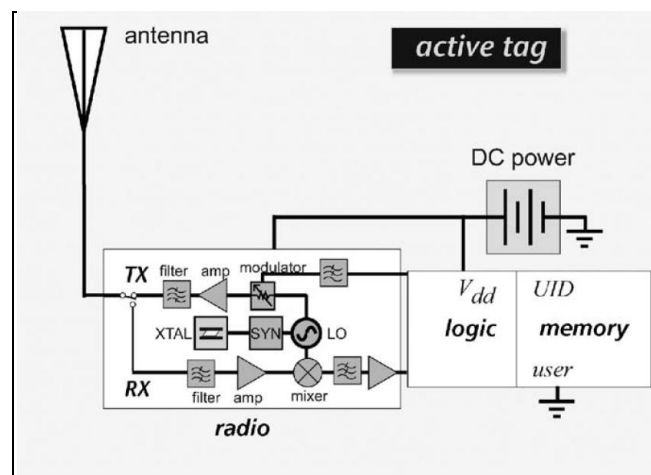


Figura 6 - Representação esquemática de uma tag RFID ativa (Dobkin, 2008).

### 1.2.2 Tags passivas

As tags passivas não têm nenhuma fonte independente de energia elétrica para alimentar o circuito interno. Elas recuperam a energia recebida do leitor para alimentar os seus circuitos internos,

ao receberem o sinal emitido pela fonte emissora, parte dessa energia é transformada em corrente elétrica, que por sua vez gerará um sinal de resposta. Essa forma de funcionamento possui a vantagem de tornar a tag mais barata, porém exige que a fonte emissora seja de maior potência, pois apenas uma fração da energia irradiada pela antena/leitor RFID é efetivamente utilizada na resposta da tag/etiqueta RFID (Dobkin, 2008).

Finalmente, para transmitir informações para o leitor, a tag modifica as características elétricas da estrutura da antena para alterar o sinal refletido a partir dele. O diagrama do circuito equivalente do processo apresentado pode ser visualizado na Figura 7.

A corrente elétrica induzida na antena pelo sinal de radiofrequência recebido fornece potência suficiente para alimentar o circuito CMOS integrado (IC) presentes na tag e transmitir uma resposta.

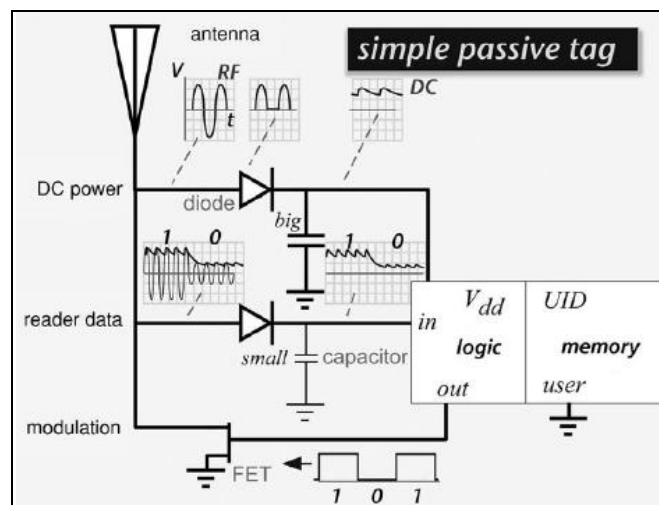


Figura 7 – Representação esquemática de uma tag RFID passiva (Dobkin, 2008).

As principais vantagens das etiquetas passivas sobre outros tipos é a sua simplicidade e baixo custo. Além de apresentarem boa resistência a ambientes rigorosos, por não possuírem partes móveis.

Para este tipo de etiqueta, o leitor sempre inicia a comunicação. Sua faixa de alcance de leitura vai desde menos de 1cm até, aproximadamente, 15 m. Uma grande vantagem das etiquetas passivas é que sua vida útil é virtualmente infinita. Uma vez que não necessitam de fonte de energia interna, enquanto não forem danificados estarão em funcionamento, assim ela possui vida útil virtualmente infinita.

### 1.2.3 Tags semi-passivas

As tags semi-passivas têm uma fonte de energia embarcada. A fonte de energia conselho serve para dois propósitos:

- garantir um fornecimento contínuo da alimentação dos sensores e;
- permitir que as informações constantes no chip funcionem sem recuperação energia.

As tag semi-passivas, também conhecidas com o nome de bateria assistida de tags passivas, utiliza a bateria embarcada para fornecer a potência necessária para o funcionamento do seu circuito interno. Ao contrário de tags ativos, eles utilizam, como as tags passivas, comunicações retroespalhados para as comunicações entre a tag e o leitor.

A desvantagem é que requer uma bateria, o que induz um aumento no tamanho, custo e exigências de manutenção (Dobkin, 2008).

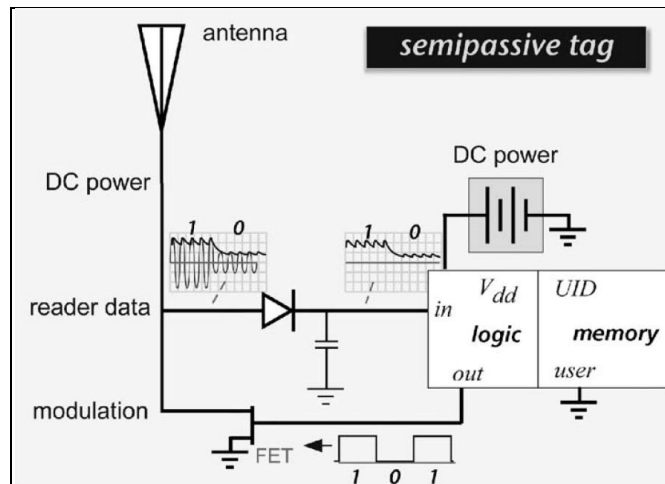


Figura 8 – Representação esquemática de uma tag RFID semi-passiva (Dobkin, 2008).

### 1.3 Classificação das tags RFID quanto ao tipo de memória

As tags de RFID também podem ser classificadas quanto ao tipo e a capacidade de armazenamento. Alguns vários kbytes estão disponíveis para que as informações sejam armazenadas. Quanto às funções e tipo de memória, podemos classificar as etiquetas de três formas gerais Read Only(RO), Read Write(RW) e Write Once Read Many(WORM).

Nas memórias do tipo Read Only a informação é escrita de forma definitiva uma única vez e não pode ser modificada a partir de então. O acesso para leitura pode ser feito inúmeras vezes. Etiquetas com memória RO são bem mais baratas

Já nas memórias Read & Write podem armazenar uma grande quantidade de informação e também possuem memória endereçável que pode ser modificada facilmente. Dessa forma, os dados podem ser escritos e apagados inúmeras vezes. Pela maior complexidade, essas etiquetas costumam ser mais caras, as tags que possuem esse tipo de memória são chamadas de “smart” tags.

Enquanto que as memórias Write Once Read Many (WORM) são semelhantes as RO, distinguindo-se no fato de que neste tipo de memória a informação é escrita pelo usuário final.

Existem ainda etiquetas que possuem dois tipos de memórias. Por exemplo, uma etiqueta com memória RO e RW pode usar sua parte estática para armazenar número de série de um produto, que uma informação imutável. Já a parte RW poderá ser usada para gravar informações adicionais que podem mudar com o tempo, como o preço de um determinado produto, por exemplo.

#### 1.4 Classificação das tags quanto à frequência de utilização

As faixas de frequências comumente utilizados para sistemas RFID são 0-135 kHz, e as frequências ISM em torno de 6,78, 13,56 MHz, 27,125 MHz, 40,68 MHz, 433,92 MHz, 869.0MHz, 915.0MHz (com exceção da Europa), 2,45 GHz, 5,8 GHz e 24,125 GHz, ver Figura 9. Mas deve-se ter em mente que os sistemas de RFID não devem ocupar todo o espectro. Nesta seção, uma breve introdução é apresentada.

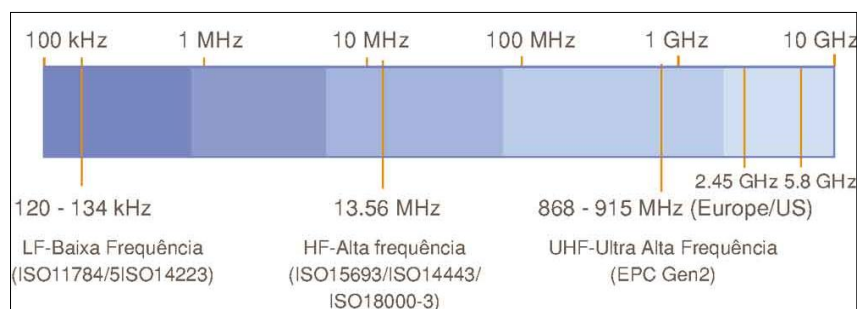


Figura 9 – Espectro de frequência.

Os sistemas RFID raramente operam de maneira aleatória sobre estas faixas do espectro, a maior parte da atividade está concentrada em faixas relativamente estreitas que foram disponibilizados para as atividades sem licença industrial (Dobkin, 2008).

Cinco frequências são utilizadas na tecnologia RFID:

- Low Frequency (LF) - 125kHz;
- High Frequency (HF) - 13,56;
- Ultra High Frequency (UHF) - 860-960 MHz;
- Microwave - 2,45 GHz;
- Ultra Wideband (UWB)- 3.1-10.6GHz.

As ondas de rádio se comportam de forma diferente dependendo da frequência, portanto o usuário deve selecionar a frequência correta mais adequada à sua aplicação. Frequências diferentes têm diferentes características que as tornam mais adequadas para determinadas aplicações do que outras. Assim, a escolha da frequência de operação de um sistema RFID afeta diretamente algumas de suas principais características.

O alcance de leitura é bem menor para os sistemas que operam nas faixas de frequência mais baixas, uma vez que nessas faixas o tamanho das antenas para um ganho razoável é muito grande, o que não é possível se considerarmos que as tags devem ser as menores possíveis. Usualmente, são

utilizadas tags passivas nessas frequências. Em frequências mais altas, esse alcance costuma aumentar, principalmente com o uso de tags ativas. Porém, como ondas em UHF e microondas podem causar danos a saúde, órgãos reguladores estabeleceram um limite para a potência de ondas nessas frequências, o que reduz o alcance de leitura na prática.

Por exemplo, tags de baixa frequência são mais baratas, consomem menos, e possuem maior capacidade de penetrar em materiais não metálicos quando comparados com as tags UHF. Eles são ideais para a digitalização de objetos com alto teor de água, tais como papel. Frequências UHF oferecem maior alcance e transferência de dados mais rápida. Mas eles consomem mais e não apresentam um alto nível de penetração na matéria. E já que eles são mais sensíveis em uma direção, eles precisam de um caminho claro/desimpedido entre a tag e leitor. Tags UHF são mais adequadas para a identificação de caixas de mercadorias através de um portão do armazém. Contudo, deve-se tomar cuidado, pois nem todos os países utilizam as mesmas faixas de frequência, tornando-se difícil de ler etiquetas RFID na Europa associados às mercadorias provenientes da Ásia ou da América do Norte.

Para resolver tal problema, os fabricantes de chips estão estudando tags de multi-frequência. Por outro lado, o governo também regula a potência dos leitores para limitar a interferência eletromagnética em outros equipamentos. Alguns grupos como o GCI (Global Commerce Initiative) estão tentando incentivar o governo a assinar acordos sobre as frequências e a potencia. Os fabricantes das tags e dos leitores também estão desenvolvendo sistemas que podem lidar com múltiplas frequências para contornar o problema (Oversleep).

O tipo HF RFID tem sido considerado a melhor solução para os desafios apresentados acima. No entanto, a UHF também tem sido amplamente adotada para identificação de mercadorias, criando um ecossistema de RFID potencialmente complexo de dupla frequência por meio de cadeias de fornecimento global.

A escolha da faixa de operação também afeta o modo como será feita a comunicação entre etiqueta e Leitor. Usualmente, para frequências abaixo de 100 MHz, essa interação é feita através de acoplamento magnético, o que exige uma proximidade das antenas do Leitor e da etiqueta (raramente ultrapassam os 50 cm). A distância máxima de leitura dependerá essencialmente da capacidade que a antena do Leitor possui para projetar o mais longe possível as linhas de campo magnético, ao mesmo tempo em que transfere energia para a etiqueta através das linhas de fluxo magnético que atravessam as espiras da antena da etiqueta. A relação é o inverso da distância ao cubo. Seu princípio de funcionamento é equivalente ao de um transformador com núcleo de ar.

As tags LF são usados para aplicações de pequena escala que requerem períodos mais curtos de leitura. Sistemas de alta frequência são usados para aplicações de grande escala, que exigem mais faixas de leitura, tais como rastreamento de veículos e emissão de bilhetes na cobrança de pedágios, etc. Em geral, as frequências mais elevadas dispõem de intervalos maiores de leitura e são menos sensíveis ao ruído quando comparadas com as tags de baixa frequência. Embora as tags de alta-



frequência possam transmitir dados mais rapidamente elas também consomem mais energia e são mais caras que as tags de baixa frequência de operação. Para a banda LF, a taxa é da ordem de kbits/s, enquanto nas frequências de microondas essas taxas podem atingir a ordem de Mbits/s (V. D. Hunt, 2007).

### 1.5 Leitores de RFID

Num sistema de RFID é comum a presença de inúmeras tags devido ao custo relativamente baixo e a simplicidade de fabricação. Já os Leitores são estruturas mais complexas e que aparecem em número bem mais reduzido. Eles são basicamente compostos por uma antena, módulos RF e circuitos eletrônicos. A sua antena poderá ou não estar acoplada. O Leitor é o hardware responsável por fazer a ligação entre a tag e o gerenciador da aplicação, por meio de uma interface de rede. Essa comunicação entre tag e Leitor poderá ser feita para ler e/ou escrever dados ou energizar, como no caso de tags passivas.

Os Leitores são responsáveis pela verificação e avaliação dos dados recebidos, determina quando e como os mesmos deverão ser enviados pela interface de rede. E a interface de rede, que são os meios pelos quais os Leitores enviam os dados coletados, pode ser serial, Ethernet, Wireless, Bluetooth ou Zigbee.

Do mesmo modo que as tags, existem hoje no mercado uma vasta quantidade de modelos e formatos para as mais variadas aplicações, de diversos fabricantes. Podendo ser encontrados em tamanhos que variam desde meia polegada até o tamanho de um computador de mesa, possibilitando a sua instalação ou adaptação para as configurações do tipo portais, túneis, Leitores em empilhadeiras ou prateleiras inteligentes (Bill Glover, 2007).



Figura 10 – Tipos de Leitores RFID (Intermec)

### 1.6 Conclusão

A tecnologia RFID já existente há anos e é potencialmente utilizada para uma ampla variedade de aplicações. Embora os problemas e os desafios estão sempre presentes, o RFID é uma tecnologia promissora, onde se espera padronizar nos próximos anos, ajudando as empresas a resolver os problemas de gestão da cadeia de abastecimento, segurança, identificação e controle de ativos, por exemplo.

O maior obstáculo não está diretamente relacionado à tecnologia, mas os sistemas de programas que são necessárias para gerenciar um sistema de controle RFID. O uso constante da tecnologia de identificação eletrônico gera um fluxo de informações de grandes proporções.

Os softwares de gerenciamento de base de dados precisarão, no futuro, resolver pontos de níveis de referência, vendas de produtos ou, no caso de um recall, responder dados recuperados da memória acessível de escrita de uma tag. Eles também podem tomar decisões automáticas sobre os produtos. Pois, os rastreadores das tags são automáticos e permanentes, assim o fluxo de dados virá a partir de produtos vendidos no mundo, em todos os fusos horários. Um grande número de processos será então obrigado a usar esses dados em tempo real. Estes dados devem ser integrados aos sistemas de gestão dos recursos existentes, uma tarefa que vai desafiar os desenvolvedores de software comercial.

Todos estes esforços irão promover uma maior utilização das tecnologias de etiquetagem global, de modo que um dia todos os artigos manufaturados podem incluir uma tag de RFID, o que proporcionará aos consumidores e fornecedores, como as muitas vantagens anteriormente citadas (Want, 2004).

## Capítulo 2: Diferentes métodos para caracterização de materiais

### Apresentação do capítulo

Este capítulo é dedicado à caracterização de materiais. Antes da concepção de uma antena, é importante compreender as propriedades dos materiais que constituem a antena, o material no qual ela será inserida e as propriedades dos materiais localizados nas imediações da antena. Na realidade, as características das antenas serão modificadas pela presença de materiais dielétricos e/ou condutores. A Figura 11 mostra a variação da impedância de entrada de um dipolo de 50  $\Omega$ , dependendo da frequência e da proximidade de um dielétrico.

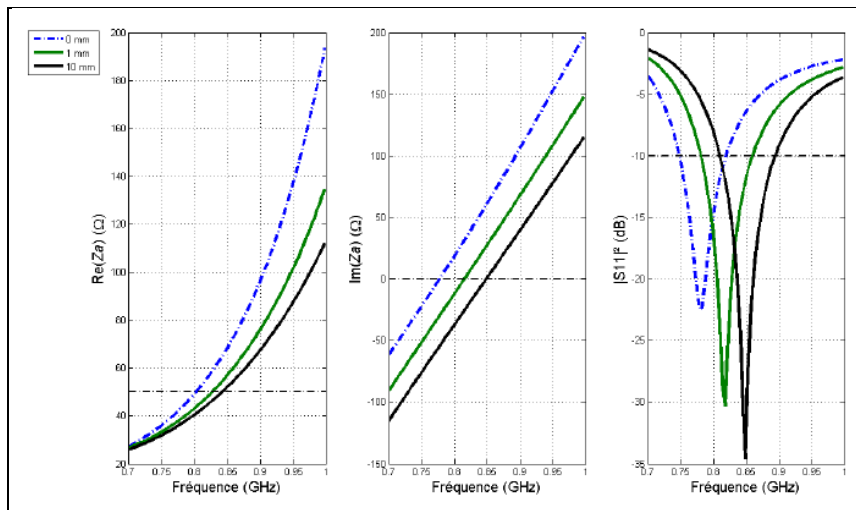


Figura 11 – Simulação do efeito de presença de um dielétrico (1,6 x 20 x 160 mm,  $\epsilon_r=4,4$ ,  $\tan\delta=0,025$ ) a uma distância de 0, 1 e 10 mm da impedância de entrada  $Z_a$  de um dipolo adaptado à 852 MHz no espaço e seu coeficiente de adaptação.

### 2.1 Introdução

O estudo das propriedades do material contribuiu para a introdução de novos dispositivos usados em engenharia elétrica. O desenvolvimento tecnológico da indústria eletro-eletrônica está fortemente ligado ao avanço da ciência dos materiais.

Tem-se que a maioria dos materiais utilizados é do tipo condutor ou dielétrico. Dentre os condutores, um ou mais elétrons de cada átomo são fracamente ligados. Eles são praticamente livres para navegar no material. Nos materiais dielétricos, os elétrons são fortemente ligados aos átomos. A livre circulação de elétrons é possível somente sob um campo elétrico muito intenso. Os Semicondutores são uma categoria intermediária. Eles não são tão bons condutores como os metais, mas são melhores condutores do que os materiais dielétricos. A condutividade de um semicondutor pode ser controlada pela adição de impurezas em concentrações adequadas, processo conhecido como dopagem.

Ao projetar, é importante conhecer as propriedades dos materiais que constituem a antena. De fato, as características da antena como ganho, diagrama de radiação, impedância e frequência de ressonância serão modificadas pela presença, nas imediações, de materiais dielétrico e condutores, por exemplo (Ghiotto, 2008).

Segundo Dakin(1947) todos os materiais têm um conjunto de características eletromagnéticas específicas para eles. O conhecimento destes parâmetros é essencial para atender indústria e integrar em sistemas de boas condições no seu ambiente (Bowie, 1956).

É possível medir a permissividade de um material, utilizando quatro diferentes técnicas. A escolha da técnica depende das características da amostra (material, geometria, dimensão), da frequência e da precisão desejada. Cada técnica de medição será brevemente descrita neste capítulo.

## 2.2 Diferentes tipos de materiais

### 2.2.1 Materiais dielétricos

Um material dielétrico é caracterizado pela sua permissividade  $\epsilon$ , que é uma função da frequência  $f$ . Essa grandeza pode ser expressa com relação à permissividade no vácuo  $\epsilon_0 = 8.854.10^{-12}$  F/m, para  $\epsilon_r(f)$  definido por (1).

$$\epsilon_r(f) = \frac{\epsilon(f)}{\epsilon_0} \quad (1)$$

No caso de um material sem perdas, estas quantidades são reais. No entanto, no caso de um material com as perdas, elas são complexas, e são expressas por (2). A parte imaginária representa as perdas (polarização) no material dielétrico (Pozar, 1988).

$$\epsilon(f) = \epsilon'(f) - j\epsilon''(f) \text{ e } \epsilon_r(f) = \epsilon'_r(f) - j\epsilon''_r(f) \quad (2)$$

Materiais dielétricos são caracterizados pela permissividade relativa real  $\epsilon'_r$  e pela tangente de perdas  $\tan \delta$  em uma dada frequência. Assim, pode-se representar matematicamente a permissividade através de (3).

$$\epsilon(f) = \epsilon_r E_0 (1 - j \tan \delta(f)) \quad (3)$$

### 2.2.2 Materiais condutores

Materiais condutores são caracterizados por diversas variáveis, incluindo: a condutividade ou a resistividade, coeficiente de temperatura, condutividade térmica, a possibilidade de contato e comportamento mecânico.

Os principais materiais de alta condutividade elétrica são os metais preciosos e alguns outros grupos e suas ligas. Eles são usados, por exemplo, como condutores de enrolamentos de máquinas elétricas e em transformadores. Além disso, em algumas aplicações, tais como aquecedores ou filamentos de lâmpadas, exigem materiais, geralmente ligas de alta resistência, com alta resistividade.

### **2.2.3 Materiais semicondutores**

Os Semicondutores podem ser considerados como estando entre metais e os isolantes, pois eles nem são bons e maus condutores.

Vale ressaltar que, de modo contrário a um condutor, não existem elétrons livres em um semicondutor. Ao contrário de um isolador, os elétrons são fracamente atraídos pelo núcleo. Quando uma tensão é aplicada em um semicondutor, os elétrons podem superar a força de atração produzida pelo núcleo e tornar-se livre gerando corrente elétrica.

Os semicondutores podem ser considerados como elementos que estão entre os metais e os isolantes, pois nem são bons, nem maus condutores.

## **2.3 Métodos de caracterização**

### **2.3.1 Método no espaço livre**

A técnica de espaço livre é um procedimento relativamente antigo. Diversos trabalhos detalham este método (Kadaba, 1984). Com relação à faixa de RF, o seu princípio, apesar de algumas diferenças (Noor Hasimah et al, 2004), baseia-se na aquisição dos coeficientes de reflexão e transmissão. Na faixa de milímetros, a permissividade complexa do material pode ser determinada usando o dielétrico em um guia de onda, em uma cavidade ressonante, em um ressonador aberto ou usando as técnicas no espaço livre.

O método no espaço livre é muito bem adaptado para medições de banda larga da permissividade e permeabilidade complexas. Esta técnica é baseada na medição do coeficiente de transmissão e reflexão de amostras planares para diferentes estados de polarização, ângulos de incidência, frequências e diferentes espessuras da amostra. Esta tecnologia é não destrutiva e pode ser usado para medir uma vasta gama de materiais, seja gasoso, líquido ou sólido. Uma das principais desvantagens do método do espaço livre é o efeito da difração nas bordas da amostra. Com este

sistema de medição, é possível abstrair reflexões múltiplas usando uma técnica de domínio do tempo (Biebl, 1997).

Esta medida é de banda larga e não-destrutivo de um lado e não requer contato entre a amostra e as ferramentas de medição, do outro. As antenas funcionando em emissão ou em transmissão servem como ferramenta de medição.

Estes tipos de tecnologia espacial para a medição de propriedades elétricas são melhores do que os métodos utilizando cavidades e guias de onda, pelas seguintes razões:

1) Materiais, como cerâmicas, são heterogêneos devido às variações no processo de fabricação. Devido à heterogeneidade, os modos de ordem superiores podem ser excitados a uma interface ar/dielétrico dentro de guias de onda e cavidades.

2) Medidas dielétricas usando tecnologia espacial são não-destrutiva e sem contato. Graças a esse recurso, estes métodos são particularmente adequados para medidas dielétricas em altas temperaturas.

3) Nos métodos de cavidade e guia de onda, é necessário modelar amostra para que a mesma caiba na seção do guia de onda e que a espessura do ar entre o metal e o dielétrico seja desprezível. Esta exigência limita a precisão da medição de materiais que não podem ser precisamente modelados (D.K. Ghodgaonkar, 1989).

A Equipe de D. K. Ghodgaonkar desenvolveu um novo princípio com base na medição dos parâmetros S de reflexão e transmissão em amostras planares. Este novo princípio é eficaz em termos de tempo e medição de banda larga de materiais que apresentam fortes perdas. Quanto aos materiais de baixa perda, uma metalização não ligada a terra é colocado abaixo da amostra a ser caracterizada para reduzir os efeitos da radiação de onda.

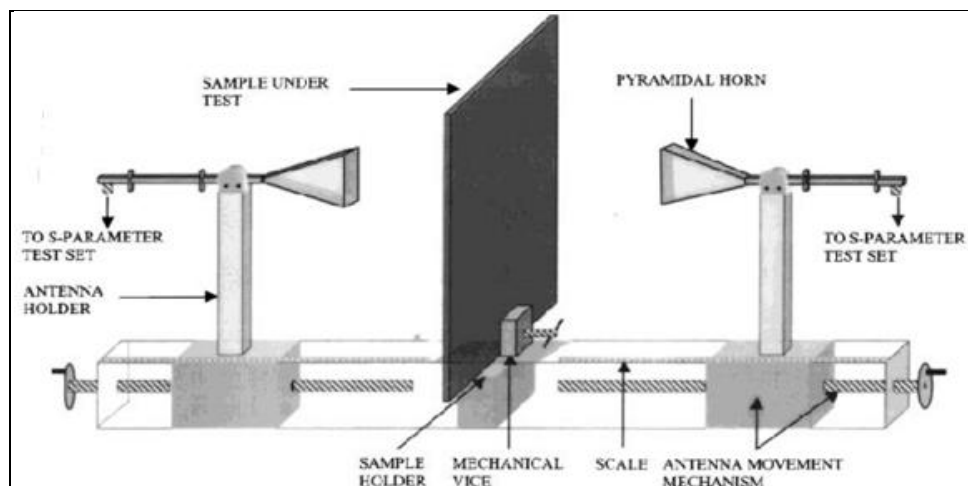


Figura 12 – Esquema de uma bancada de testes na presença de uma amostra no centro da figura.

### 2.3.2 Métodos ressonantes

O método de ressonância é baseado no uso de uma cavidade ressonante de metal no qual a amostra é colocada. A perturbação medida na cavidade ressonante é usada para extrair a permissividade da amostra.

Os métodos ressonantes são os métodos de caracterização mais confiáveis em termos de precisão de  $\epsilon_d$  e  $\tan\delta$ , especialmente para materiais de baixa perda. Este método é geralmente de banda estreita (Pojar, 1988). Eles também tomam como base nos parâmetros de ressonância, ou seja, a frequência de ressonância  $f_r$  e o fator de qualidade  $Q$ . A extração de  $f_r$  ou de  $Q$  é baseada nos parâmetros de reflexão. Entre as configurações para a aplicação do método de ressonância, podemos citar o ressoador chamado « whispering-gallery » (J. Krupka, 2000), guias de onda (cilíndrico, retangulares, etc.), cavidades ressonantes (Wang, 2000), etc.

A montagem ressoante permite o trabalho em alta e/ou de baixa frequência de ressonância, ajustando as dimensões da amostra e da montagem. A Figura 13 apresenta um esquema de como deve ser realizado montagem e onde a amostra deve ser posicionada (Mbango, 2008).

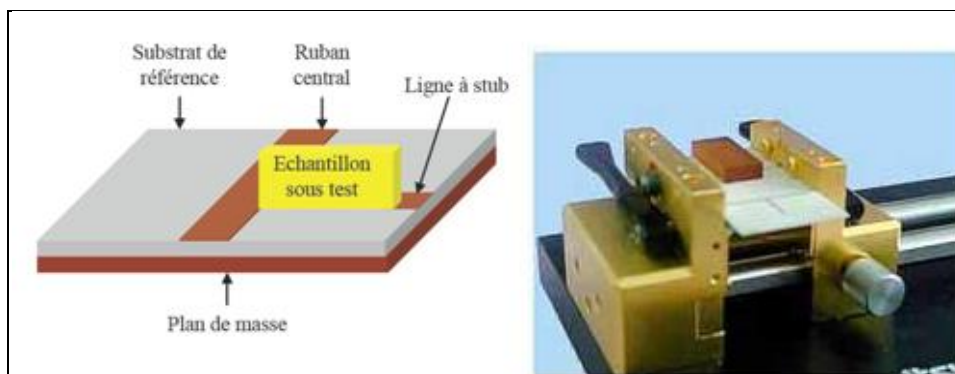


Figura 13 – Stub em microstrip (Univ-brest).

Os parâmetros de funcionamento  $S_{ij}$  do dispositivo em teste para medir a frequência de ressonância e calcular o apoio fator de qualidade (na presença do dielétrico de amostra). A determinação desta frequência de ressonância pode ser rastreada a partir da parte real da permissividade efetiva  $\epsilon'_{\text{eff}}$  complexo  $\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon'_{\text{eff}} - j\epsilon''_{\text{eff}}$  rms da estrutura ressonante. A determinação do fator de qualidade nos dá o valor da parte imaginária  $\epsilon''_{\text{eff}}$ . A permissividade  $\epsilon$  e  $\epsilon''_{\text{eff}}$  é calculado, usamos um procedimento de otimização para voltar aos valores de  $\epsilon'$  e  $\epsilon''$  do material dielétrico para caracterizar.

Os parâmetros  $S_{ij}$  do dispositivo em teste permite a medição da frequência de ressonância e o calculo do fator de qualidade. O conhecimento desta frequência de ressonância permite a obtenção da parte real,  $\epsilon'_{\text{eff}}$ , da permissividade efetiva complexa,  $\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon'_{\text{eff}} - j\epsilon''_{\text{eff}}$ , da estrutura ressoante. A

determinação do fator de qualidade fornece o valor da parte imaginária,  $\varepsilon''_{\text{eff}}$ . As permissividades  $\varepsilon'_{\text{eff}}$  e  $\varepsilon''_{\text{eff}}$  é então conhecida.

### 2.3.2.1 Método da sonda coaxial

Este método de caracterização é baseado na determinação do coeficiente de reflexão de uma descontinuidade abrupta entre uma linha coaxial e do material em estudo. O coeficiente de reflexão da descontinuidade é medida usando um analisador de rede vetorial (VNA) configurado para uma banda larga de 200 MHz a 20 GHz. A representação da descontinuidade de um circuito elétrico equivalente permite a determinação apenas da permissividade do material.

Este método permite a realização de uma medição em larga banda de frequência da permissividade complexa do material isotrópico na forma líquida, em pó, ou sólida sólidos (BUFFLER, 1991). Tem a vantagem de ser não destrutiva, e de fácil implementação. Também é possível identificar mudanças na permissividade em função da temperatura.

A sonda coaxial modificar o coeficiente de reflexão de uma estrutura coaxial, aplicando em sua extremidade à amostra, ver Figura 14.

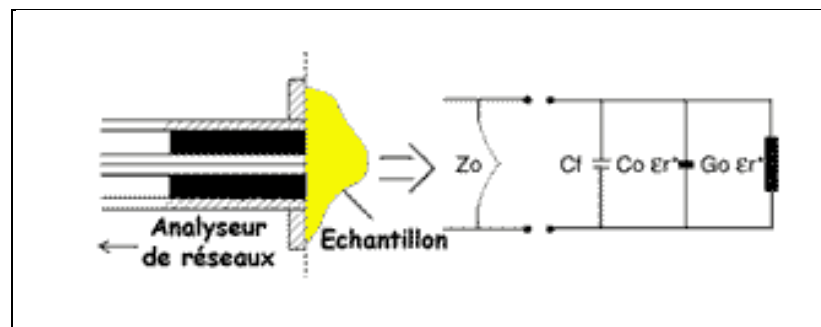


Figura 14 – Sonda coaxial em reflexão (Univ-brest).

### 2.3.2.2 Guia de Onda

Este método é semelhante ao método da sonda coaxial com a diferença que a propagação estrutura é um guia de ondas cilíndrico ou retangular, ver Figura 15. Este método utiliza o modelo de abertura de radiação para a obtenção do valor do coeficiente de reflexão. Ele também permite a medição, limitado pela banda do guia, da permissividade do material (Fourneaud, 2009).

A determinação de  $\varepsilon$ ,  $m$  e  $k$  do material a partir dos parâmetros  $S_{ij}$  do dispositivo precisa fazer a associação da análise eletromagnética dinâmica da célula (problema direto) a um programa otimização (problema inverso).

- O problema direto envolve o cálculo de modos de propagação em diferentes regiões da célula, e depois conecta os campos eletromagnéticos no plano da descontinuidade da célula vazia -



célula preenchida. Esta análise permite a descrição rigorosa do comportamento dinâmico da célula. Para garantir uma boa precisão dos resultados teóricos, 10 modos levados em conta nos cálculos.

- O problema inverso é consiste em executar a uma dada frequência, a partir de um estado inicial, uma série de iterações das incógnitas do problema, para obter a convergência dos parâmetros  $S_{ij}$  teórico, calculados a partir do software de simulação da célula para os parâmetros medidos  $S_{ij}$ . Para isso, usamos um procedimento de otimização numérica.

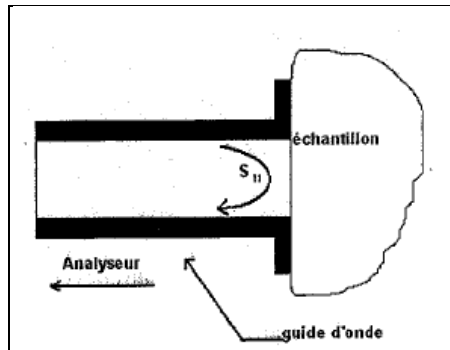


Figura 15 – Guia de onda em reflexão.

### 2.3.2.3 Estruturas guiadas

São dispositivos utilizados para a caracterização de materiais magnéticos e dielétricos ou para determinar as suas características com um alto grau de precisão.

### 2.3.3 Método capacitivo

Agora, será apresentado o método capacitivo que é baseado na utilização de um isolamento da amostra, entre duas armaduras de metal, formando assim um capacitor, daí o nome MIM (Metal-Isolante-Metal), ver Figura 16.

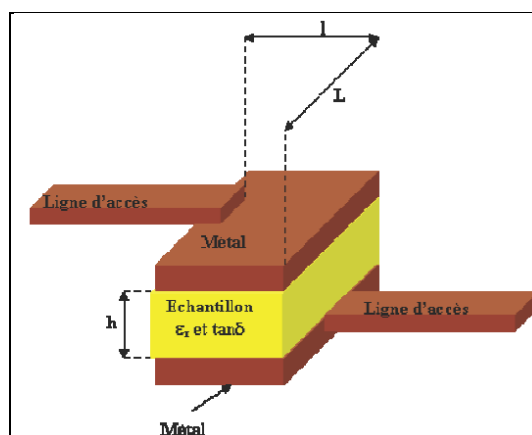


Figura 16 – Schéma d'une capacité MIM en microélectronique.

O uso dessa capacitância MIM para caracterizar materiais utilizados como dielétricos é muito comum em microeletrônica. Vários trabalhos apresentam tal técnica como um bom método, mas é indispensável dominar o impacto causado pelos condutores (P. Lombard, 2004).

### 2.3.4 Método da linha de transmissão

Existe na literatura um grande número de estruturas propagadoras que permitem a transmissão de sinais elétricos (Gardiol, 1987). Estas estruturas podem ser utilizadas para caracterização de materiais em geral.

A escolha da estrutura depende dos objetivos que estabelecemos no início: velocidade de método, facilidade e precisão sobre qualquer um dos parâmetros para caracterizar. Quando as estruturas são preenchidas com dielétrico, chama-se de um guia de onda carregado ou linha de onda carregada. A partir de diferentes estruturas propagatícias, podem-se formar diversas configurações (microstrip, coplanar, fio, cabo coaxial, etc.) para caracterizar os materiais. A Figura 17, ilustra alguns tipos de linha de transmissão.

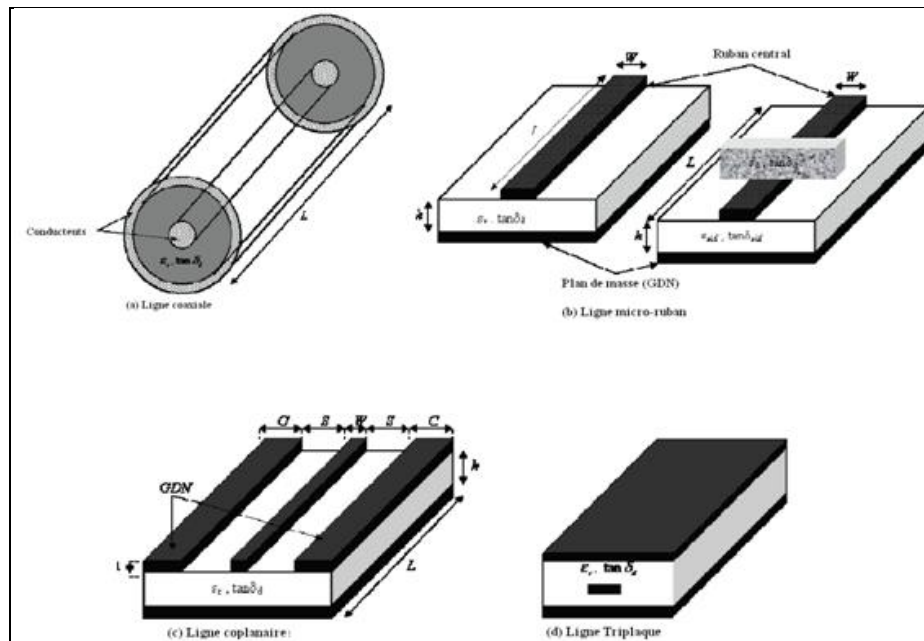


Figura 17 – Diferentes tipos de configurações de estruturas de transmissão.

Em geral, o princípio do método é colocar uma amostra no caminho de uma onda eletromagnética e medir os valores dos coeficientes de reflexão e transmissão, que serão diferentes dependendo das propriedades do material estudado, o que permite a obtenção dos parâmetros intrínsecos do material (Mbango, 2008).

## 2.4 Escolha o método a ser utilizado

Na primeira parte deste capítulo, foi dito que as propriedades eletromagnéticas dos materiais são definidas pela permissividade,  $\epsilon_d$ , e permeabilidade relativa,  $\mu_d$ . A primeira descreve a reação do meio submetido a uma excitação elétrica (E) e a segunda reflete seu comportamento em resposta a uma excitação magnética (H). A escolha de métodos para a caracterização eletromagnética está intimamente relacionada em primeiro lugar, a natureza do material (magnético ou dielétrico, transparente ou absorver, isotrópico ou anisotrópico, homogêneo ou heterogêneo) a ser caracterizado, e por outro lado à sua forma (sólido, líquido, gasoso, película fina ou espessa) (Jarvis, 2001) (Olivier, 2002).

Para realizar a caracterização que aqui é proposta, optou-se pela utilização do método de linha de transmissão única. O princípio do método envolve a colocação de uma amostra no caminho de uma onda eletromagnética e efetuar a medição dos valores dos coeficientes de reflexão e transmissão, valores estes que serão diferentes dependendo das propriedades do material estudado.

O princípio do método de extração baseia-se na medição dos parâmetros S de uma linha de transmissão. A amostra a ser caracterizada é inserida diretamente na montagem em teste. Este método pode extrair a constante de propagação  $\gamma$  e a impedância característica da linha de transmissão,  $Z_c$ .

**Princípio:** Considere uma linha de transmissão de comprimento L, impedância característica  $Z_c$  e constante de propagação  $\gamma$ . Esta linha de transmissão pode ser visto como um quadripolo com entrada em 1 e saída em 2, como mostrado na Figura 18.

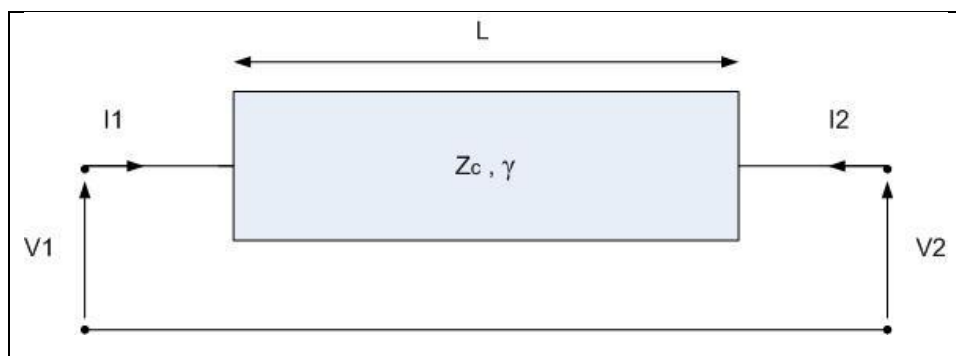


Figura 18 – Esquema de uma Linha de transmissão e suas portas de entrada e saída.

O acesso aos terminais 1 e 2 são alimentados pelas tensões  $V_1$  e  $V_2$ . As expressões de tensões e correntes em ambos os terminais são estabelecidos em forma matricial por uma matriz chamada "cadeia de matriz [ABCD]", ver Equação 4.

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

No Anexo 1, é apresentado as relações entre os parâmetros S e a matriz [ABCD]. A partir da Equação 4, podemos extrair os elementos de [ABCD] relacionada com os parâmetros elétricos de acordo com a Equação 5:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh(\gamma L) & Z_c \sinh(\gamma L) \\ \frac{\sinh(\gamma L)}{Z_c} & \cosh(\gamma L) \end{pmatrix} \quad (5)$$

São estabelecidas as duas principais relações mostradas abaixo para qualquer tipo de configuração de linha de transmissão de duas portas:

$$Z_c = \sqrt{\frac{B}{C}} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{\cosh^{-1}(A)}{L} \quad (7)$$

Ao substituir A, B, C e D nas equações (6) e (7) pelos parâmetros S, obtemos  $\gamma$  e  $Z_c$  (com impedância normalizada igual a  $50\Omega$ ), ver Equações (8) e (9).

$$Z_c = Z_n \sqrt{\frac{(1-S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}{(1+S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}} \quad (8)$$

$$\gamma = \frac{\left[ \cosh^{-1} \left( \frac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{2S_{12}} \right) \right]}{L} \quad (9)$$

## 2.5 Simulação do método escolhido

Todas as simulações que serão apresentadas nesta seção foram feitos no software Ansoft® e para a parte do tratamento matemático foi utilizado o software MathCAD®.

Como citado na seção precedente, o método da linha de transmissão foi o escolhido. Para tal,

utilizou-se uma linha como mostrado na Figura 19. E para execução das medições foi utilizado uma bancada como a apresentada na Figura 20.

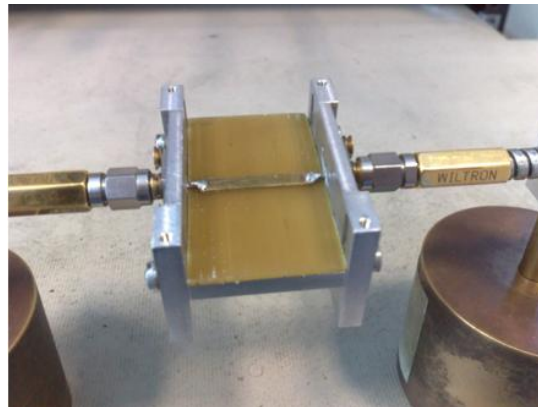


Figura 19 – Cavidade proposta em contato com a linha utilizada.



Figura 20 – Bancada de medição composta por um VNA 8510C da Agilent.

Como forma de validação do algoritmo responsável pelo tratamento matemático dos dados obtidos durante a medição, foi simulado uma linha de transmissão, utilizando o Ansoft Designer® sob as mesmas condições durante a medição real.

Inicialmente, foi realizada a simulação da linha no ar, em contato com um substrato e a simulação do conector. Para a simulação, buscou-se utilizar os mesmos valores dos parâmetros utilizados na medição, a menos da permissividade, que neste caso aqui foi escolhido  $\epsilon_d = 6$ . Os resultados da simulação são apresentados pela curva mostrada na Figura 21.

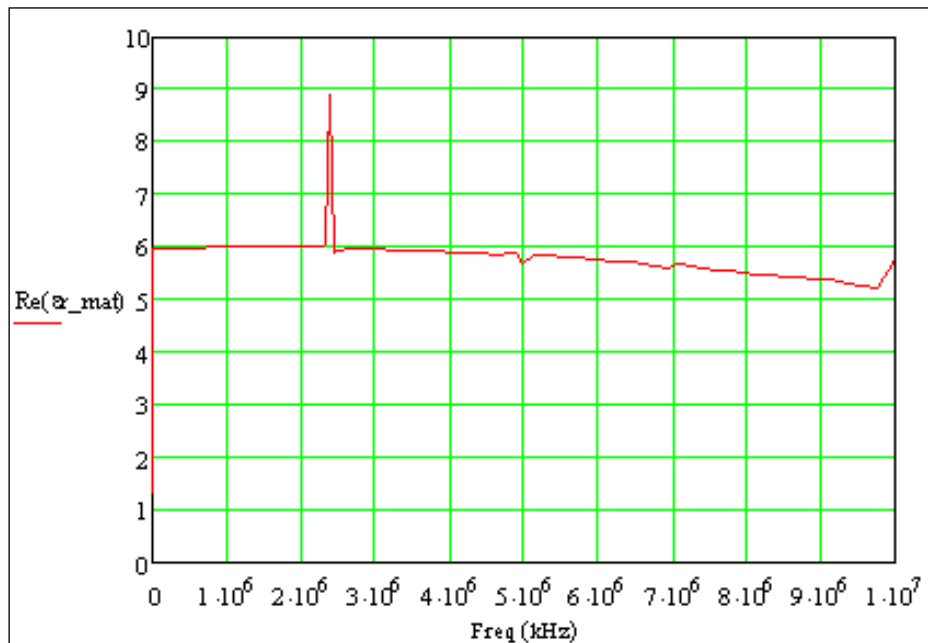


Figura 21 – Resultado da simulação de um substrato com  $\epsilon_d = 6$ , Ansoft®.

Observando a Figura 21, percebe-se que o método escolhido apresenta um comportamento satisfatório na banda de frequência que aqui se pretende utilizar (UHF), mas para frequências maiores do que os autorizados pelo comprimento da linha, o resultado não é realmente satisfatória. Também é observado na Figura 21 picos em determinadas frequências, estes refletem as frequências de ressonância da linha.

## 2.6 Medições

Durante a etapa de medição, os resultados encontrados não foram satisfatórios, e como não foi possível encontrar a origem do mau funcionamento, as medições previstas com diferentes tipos de calçados constituídos por diferentes materiais, onde as tags seriam inseridas para testar o funcionamento, não puderam ser efetuadas.

## 2.7 Conclusão

Durante todo o capítulo foi apresentado diferentes métodos utilizados na caracterização de diferentes tipos de materiais. Por fim, a técnica da linha de transmissão foi a escolhida, uma vez que, atendia os requisitos necessários para o caso em estudo. Este método apresentou bons resultados durante o processo de simulação, mas na prática não foi obtido um bom desempenho. Várias tentativas foram feitas para tentar identificar o erro, mas sem sucesso.

## Capítulo 3: Implantação e Instalação de Sistemas

### Apresentação do capítulo

Ao longo deste capítulo são apresentadas as técnicas de aplicação que devem ser seguidas para se obter um bom funcionamento de todo o circuito levando-se em conta todos os componentes que são necessários, e os aspectos que compõem cada um deles.

Antes de considerar as questões levantadas pela tecnologia RFID, é útil entender o básico de seu funcionamento (Want, 2004).

### 3.1 Visão geral

Esta seção detalha a maneira a qual um projeto deve ser estudado. O primeiro passo para instalar um sistema de RFID é pensar e considerar o processo complexo de instalação e não uma simples tarefa de instalação. Um fator muito importante é saber que para um sistema RFID funcionar corretamente, ele deve, acima de tudo, trabalhar com todos os sistemas pré-existentes no local. Trazer a tecnologia RFID para o mundo dos negócios exige não só um profundo entendimento de seus processos e a infra-estrutura dos sistemas, mas também a introdução de perturbações ao longo da cadeia de suprimentos, ou seja, a implantação de RFID muda todo o processo de uma empresa ou local onde se deseja instalar este sistema (Portal, 2010).

### 3.2 Variáveis do sistema

Para dar início a um projeto é necessário ter em conta que alguns elementos têm influência direta sobre o processo de instalação de um sistema de RFID. Estes são chamados de variáveis do sistema, e a escolha dessas variáveis determinam a configuração do sistema RFID a ser implantado. Algumas dessas variáveis são antenas, tags, leitores, normas de segurança, a escolha de fornecedores de hardware, problemas de integração do sistema RFID com o sistema já existente no local, a manutenção de equipamentos, entre outros.

Ao se pensar em instalar um sistema RFID, uma questão básica deve ser discutida de imediato, essa questão se trata do tipo de elementos que serão lidos pelo sistema, já que o seu conteúdo, a embalagem e o posicionamento das tags nesses elementos podem afetar a leitura impedindo que o sistema funcione corretamente.

A escolha das tags e dos leitores é parte da configuração do sistema, pois é necessário saber se os leitores escolhidos são compatíveis com as tags. O número de leitores é também um ponto a ser considerado. A frequência de operação do sistema é outro fator que não pode ser ignorado no caso em

estudo, uma vez que já possui uma frequência fixa. Na Figura 22 são mostrados alguns modelos de etiquetas RFID.

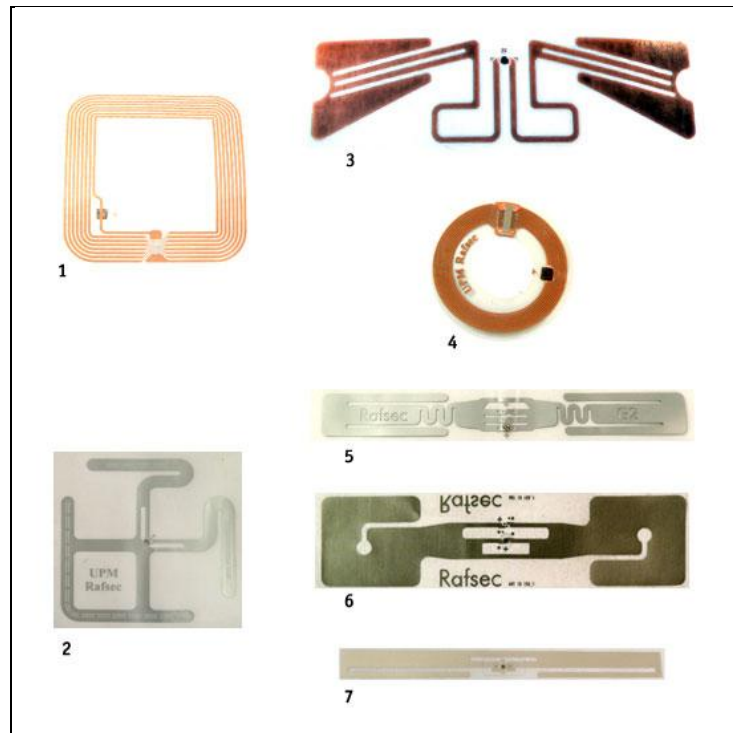


Figura 22 – Tags RFID (Zdnet, 2007).

Após a discussão dos leitores e tags, é necessário discutir a questão das antenas. O número de antenas, o tipo das mesmas, área de cobertura e a potência radiada são determinantes para a configuração do sistema RFID.

Um sistema RFID é instalado em um local onde já existem alguns outros sistemas, como aplicações, internet, entre outros. Assim, faz-se necessário que o sistema RFID funcione corretamente em conjunto com os sistemas já existentes no local.

### 3.3 Elementos do processo

Como mencionado anteriormente, deve-se considerar a instalação e implantação de um sistema de RFID como um processo, não como uma tarefa isolada. Como qualquer processo, há alguns elementos que definem como continuar a instalação de um sistema RFID com sucesso. Alguns desses elementos são apresentados na Figura 23, onde é mostrado um sistema RFID funcionando no controle de uma biblioteca.





Figura 23 – Exemplo de um Sistema RFID para uma biblioteca (Foulk, 2010).

### 3.3.1 Análise do local

A análise local determina como o sistema RFID proposto irá se encaixar na infra-estrutura já existente no local, incluindo uma verificação de obstruções físicas, interferências elétricas, de questões ambientais externas como temperatura e umidade local que influem diretamente no tipo de sistema a ser instalado. A análise local é basicamente um levantamento de requisitos do sistema, e é a partir dessa análise que se pode fazer a seleção dos elementos que compõem o do sistema.

### 3.3.2 Design do sistema

Tendo feito a análise local, o segundo passo do processo de instalação do sistema RIFD se trata da escolha do design do sistema propriamente dito. Que compreende a seleção da frequência de operação, os componentes de hardware e os tipos de portais RFID a serem utilizados. Esta etapa é sensível as exigências do ambiente no qual o sistema irá operar, ou seja, a seleção do design do sistema está diretamente relacionada à análise local feita anteriormente.

### 3.3.3 Tarefa de instalação

Esta parte do processo trata da Instalação do hardware e dos possíveis softwares existentes e também a realização de testes dos mesmos. Nessa etapa, é importante ter em mente que sempre será necessário melhorar o sistema RFID instalado, buscando aperfeiçoar os resultados e facilitar a leitura dos dados, para que o sistema instalado possa funcionar corretamente não só durante um curto período de tempo, uma vez que o cenário no qual o sistema é instalado é passível de alterações durante topo tempo.

### **3.3.4 Manutenção do sistema**

Um Sistema RFID necessitará sempre de manutenção após sua instalação, é importante conhecer os elementos que são essenciais para manter o sistema instalado funcionando corretamente. Como componentes da manutenção podemos citar os cabos que conectam todo o sistema, os dispositivos, os componentes do hardware como leitores, antenas, computadores e a manutenção dos dados propriamente dita, que significa antecipar o volume de dados coletados e processados pelo sistema RFID a ser implantado, garantindo a capacidade desse sistema em realizar essa coleta e processamento.

## **3.4 Instalação do Hardware**

Feito toda a análise local, tendo o design do sistema selecionado, junto com as normas de segurança e manuais dos fabricantes do hardware, pode-se então instalar os componentes de hardware do sistema de fato. Aqui serão apresentados alguns desses componentes.

### **3.4.1 Instalação dos leitores**

Para a instalação dos leitores alguns fatos devem ser levados em conta, uma vez que são decisivos para que esse leitor funcione corretamente. O leitor precisa ser colocado em um local limpo, ventilado, levando em consideração a umidade, a temperatura e a poeira desse local.

Deve-se olhar também se esse local está sujeito a interferências e barulhos, que podem dificultar no trabalho de leitura das tags. Os leitores criam as chamadas “Zonas de Interrogação”, que são zonas onde as tags poderão ser lidas, a densidade dessa zona, a existência de fontes de efeitos adversos como reflexão e absorção e a localização dos itens a serem lidos também podem ser considerados como fatores a serem levados em consideração para se instalar um leitor.

### **3.4.2 Instalação das antenas**

A Antena é o elemento mais exposto de um sistema RFID. A antena deve ser montada próxima ou dentro da zona de interrogação criada pelos leitores.

### **3.4.3 Instalação dos cabos**

Como em todo ambiente de transmissão de dados, a instalação dos cabos é parte fundamental do processo de instalação. É necessário ter certeza que o cabo escolhido é o certo para o determinado tipo de conexão. No contexto do RFID, as antenas são conectadas com os leitores via cabos, normalmente um leitor tem, na maioria das vezes, uma, quatro ou oito portas de antena. Se as portas de transmissão e recepção são diferentes, serão necessários 2 cabos para cada antena. Se essas portas forem combinadas, então apenas 1 cabo é necessário por antena.

Os cabos conectam todo sistema, inclusive os cabos de energia são responsáveis por ligar eletricamente o sistema. É necessário garantir o funcionamento correto dos componentes interligados pelo tipo correto de cabos. Caso um cabo seja mal instalado, ou não seja adequado para o tipo de conexão desejada, todo o sistema RFID pode não funcionar corretamente ou no pior caso pode haver um curto circuito ou a queima de componentes elétricos.

### **3.5 Testes do sistema**

Após a instalação do sistema, uma parte obrigatória do processo consiste em efetuar vários testes para garantir um bom funcionamento do sistema instalado. Esses testes devem cobrir todos os componentes e todos os cenários possíveis do sistema, a fim de que seu rendimento seja satisfatório. As testes são divididas em várias etapas.

#### **3.5.1 Teste da zona de interrogação criada pelo leitor**

Determinar as bordas, os limites da zona, medindo a força do sinal em vários pontos ao redor da antena.

#### **3.5.2 Teste de cada componente**

Teste para validar o funcionamento de um determinado componente do sistema, pode ser um componente de hardware, de software ou ambos. Na oportunidade deve-se verificar o desempenho desse determinado componente.

#### **3.5.3 Teste da integração das aplicações**

O sistema RFID deve funcionar corretamente em colaboração com a aplicação a que está integrado. Assim, um teste do sistema RFID funcionando em harmonia com a aplicação é fundamental.

### **3.5.4 Testes do sistema**

Após estas verificações parciais, deve-se proceder com a avaliação coletiva do sistema, incluindo todos os subsistemas e aplicações existentes. Todos os testes usados para determinar se o sistema funciona com sucesso.

Os testes de integração do sistema talvez sejam o que de fato dizem se o sistema realiza a leitura corretamente e é capaz de resolver o problema proposto. A realização de testes de volume de dados, número de objetos a serem lidos, também é bastante necessária, pois é importante prever se o sistema RFID implantando conseguirá funcionar corretamente caso o número de dados lidos pelo sistema aumente de acordo com o tempo (Portal, 2010).

### **3.6 Conclusão**

Em conclusão, pode-se dizer que é essencial examinar especificamente a instalação de um sistema de RFID. Uma vez que, faz-se necessário um estudo aprofundado e análise de vários fatores para a instalação do sistema com sucesso. A instalação do hardware deve ser acompanhada por testes de todos os componentes individualmente e em conjunto.

Um sistema de RFID a ser instalado deve funcionar perfeitamente em harmonia com os sistemas pré-existent no local da instalação. A manutenção de um sistema RFID pós-instalação é uma característica comum de extrema importância para o sucesso deste sistema.

Cada cenário de instalação possui características individuais, ou seja, cada local é outro cenário. Algumas soluções podem ser viáveis em alguns casos, mas pode não ser em outros.

## Capítulo 4: Antenas

### Apresentação do capítulo

Atualmente, um dos principais desafios na construção de dispositivos eletrônicos é desenvolver dispositivos sem fio com pequenas dimensões. Esta exigência leva à necessidade de integração das antenas.

O mecanismo real de propagação de ondas eletromagnéticas pode ser explicado quantitativamente por meio de equações de Maxwell. Portanto, é importante estudar cada parâmetro que compoem uma antena.

### 4.1 Introdução

Para começar o trabalho proposto, uma pequena abordagem sobre a teoria antena é feita. A antena é o dispositivo utilizado para radiar ou receber ondas de rádio, ou seja, é o dispositivo de transição entre o espaço livre e uma linha de transmissão ou um guia de onda. Além de possibilitar a transmissão ou recepção de energia eletromagnética, geralmente, também se requer que a antena otimize ou acentue a radiação de energia em algumas direções e as suprima em outras. Assim, uma antena pode possuir diferentes formas para atender a diferentes aplicações, podendo ser um pedaço de fio condutor, uma abertura, um arranjo de elementos, um refletor, uma lente, etc.

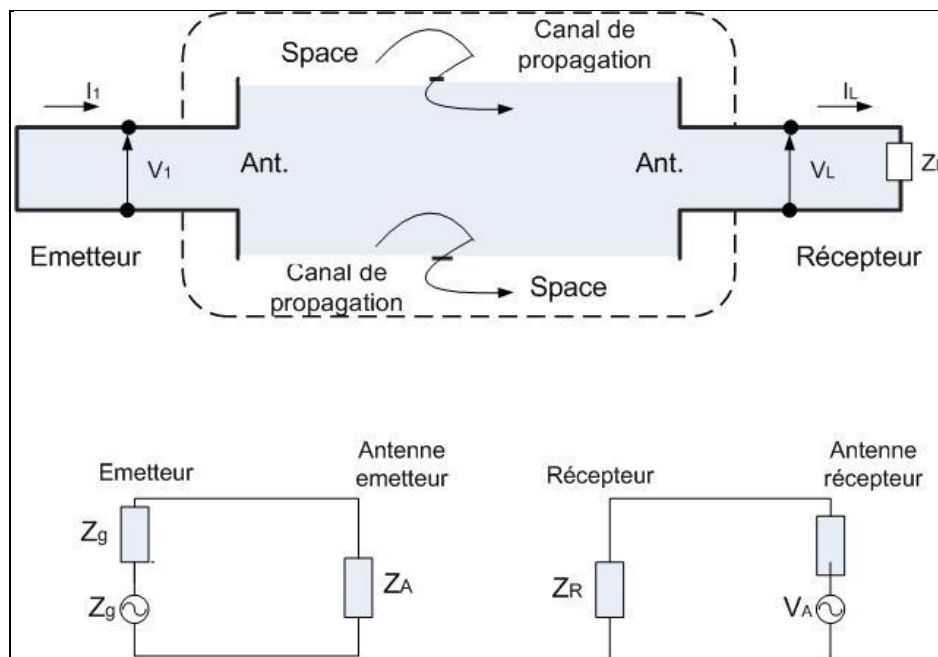


Figura 24 – Circuito elétrico representativo de uma antena.

## 4.2 Parâmetros fundamentais da antena

Nesta seção, é apresentada uma breve descrição dos principais parâmetros que afetam o funcionamento de uma antena.

### 4.2.1 Diagrama de radiação

Segundo Balanis um padrão de radiação da antena é definido como uma função matemática ou representação gráfica das propriedades de radiação da antena com base em coordenadas espaciais. Na maioria dos casos, o padrão de radiação especificados na região e campo distante é representada de acordo com o contato direções. as propriedades incluem a densidade de fluxo de radiação de energia, a intensidade da intensidade de campo de radiação, directividade, fase ou polarização (Balanis, 1938). Um conjunto prático de coordenadas é mostrado na Figura 25.

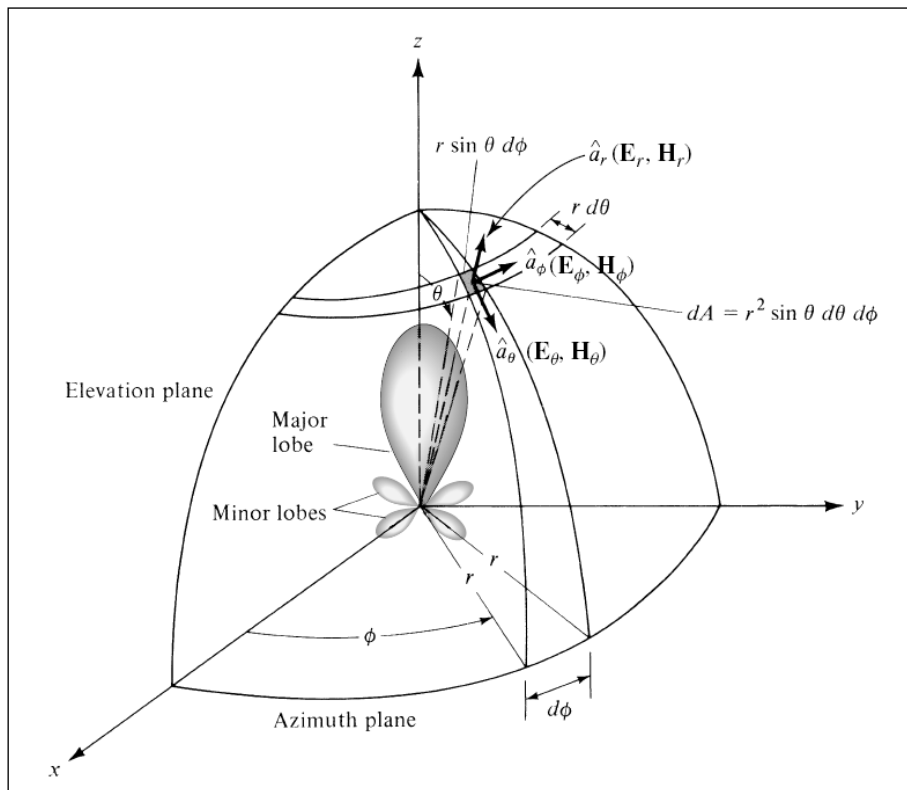


Figura 25 – Sistema de coordenadas prático.

A medição do campo elétrico da antena de recepção é usado para representar o padrão de radiação da antena de emissão. Existem dois tipos de padrão de radiação, ver Figura 26, cada um com uma representação muito particular, que são o diagrama horizontal ou campo E de uma antena dipolo

paralelo ao chão Figura 26 - (a) e o diagrama azimutal ou campo H para uma antena dipolo também paralela ao chão Figura 26 - (b).

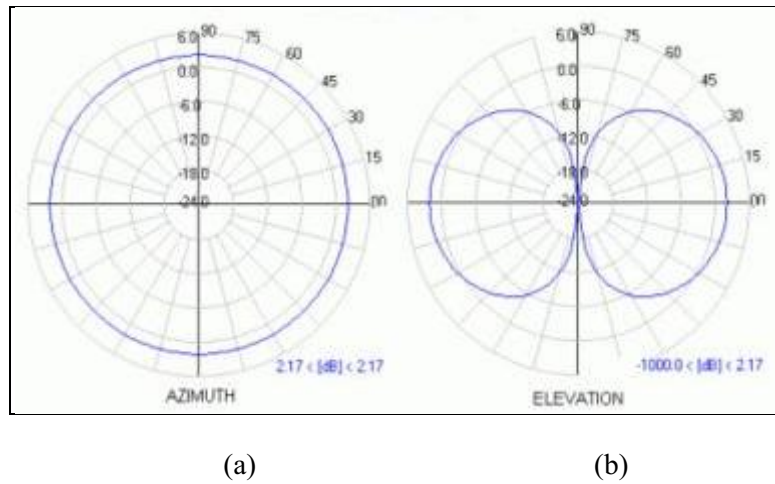


Figura 26 – Dois tipos de diagrama de radiação de um dipolo.

O diagrama de radiação de uma antena dipolo 3D é formado a partir da composição dos dois tipos de padrão de radiação, apresentados na Figura 26, como pode ser visto na Figura 27.

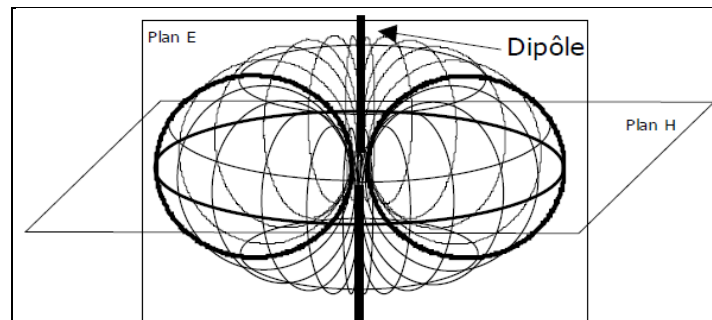


Figura 27 – Diagrama de radiação 3D de um dipolo.

#### 4.2.2 Ganho

A noção de ganho de uma antena deve ser entendido de forma diferente da usada para os amplificadores. Antenas são elementos passivos, logo as mesmas não podem amplificar sinais.

O ganho de uma antena é definida como a razão entre a intensidade da antena em uma dada direção e uma que seria emitida por uma antena isotrópica. Assim, ele representa a capacidade de uma antena para dirigir a energia irradiada em uma direção específica. Para calculá-lo é preciso levar em conta as perdas do sistema.

Na Figura 28 é apresentado a curva aproximada da potência radiada por um dipolo de meia onda. Um vetor que parte do centro do dipolo em qualquer ponto da curva representa a potência

irradiada na direção do vetor. Assim, para obter o ganho em um sentido basta tomar o vetor  $P$  e vetor correspondente  $P_i$  de uma antena isotrópica.

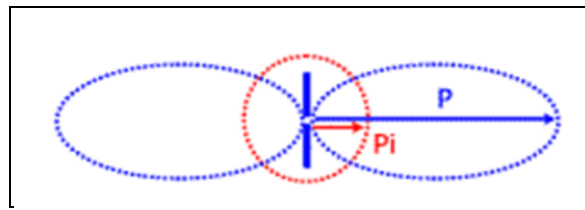


Figura 28 – Diagrama auxiliar para determinação do ganho de uma antena.

### 4.2.3 Propriedades das antenas

#### 4.2.3.1 Antenas Isotrópicas

É um tipo de antena que irradia da mesma forma em todas as direções, este tipo de antena não existe, mas muitas vezes é tomado como referência para expressar propriedades direcionais. Assim, pode-se dizer que uma antena isotrópica é uma antena ideal, sem perdas onde a energia irradiada é distribuída uniformemente no espaço.

#### 4.2.3.2 Antenas direcionais

Uma antena é direcional quando ela concentra sua energia radiada em uma dada direção no espaço. Ou seja, ela é mais eficaz em uma cada direção, ver Figura 29.

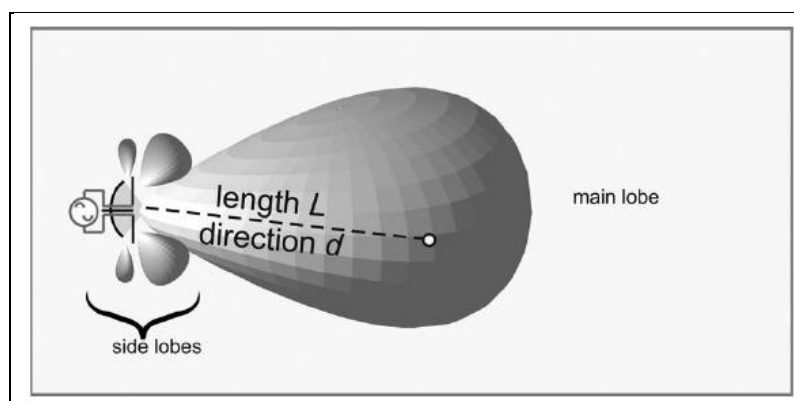


Figura 29 – Diagrama de radiação 3D para uma antena direcional.

#### 4.2.3.3 Antena unidirecional



Uma antena unidirecional, Figura 30, é uma antena que apresenta um modelo essencial não direcional em um dado plano e um modelo direcional em um plano ortogonal. Essas antenas possuem um ganho que varia entre de 0 a 15 dBi, sendo 8 dBi um valor já aceitável.

Sua radiação é realizada em 360°. Elas são usados para estabelecer uma rede do tipo cliente-servidor, permitindo o acesso à rede em um parque, por exemplo.

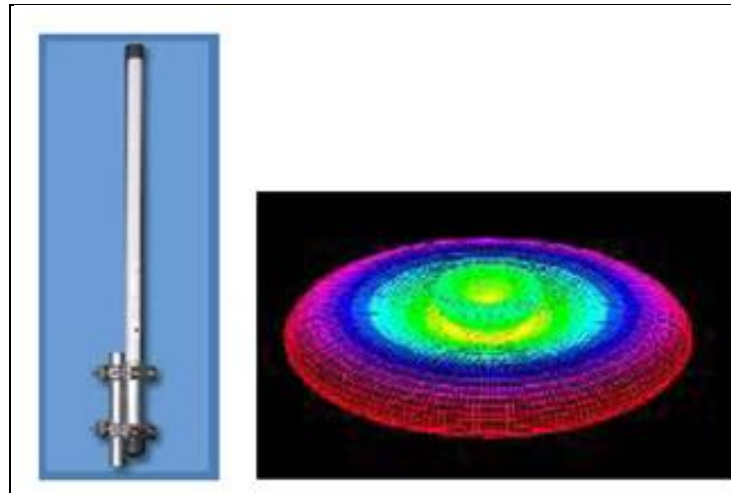


Figura 30 – (a) Exemplo de uma antena unidirecional (b) Vista 3D da propagação das ondas utilizando uma antena unidirecional.

#### 4.2.3.4 Intensidade de radiação

A intensidade de radiação é a potência média irradiada por unidade de ângulo sólido. Ela permite caracterizar a radiação de uma antena em uma determinada direção.

#### 4.2.3.5 Abertura do diagrama de radiação

Para a obtenção desse parâmetro, pode-se utilizar duas possíveis definições:

- Existem zeros de transmissão em ambos os lados do lóbulo principal. A abertura é o ângulo entre os dois zeros
- Não há zeros de transmissão, deve-se observar a abertura em -3dB, que é o valor onde metade da potência máxima é irradiada.

Aqui, será utilizada a segunda definição, Figura 31.

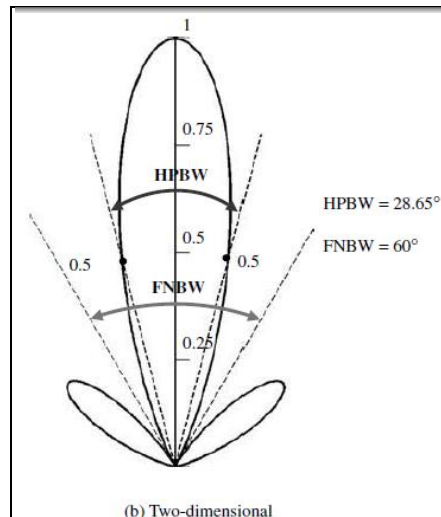


Figura 31 – Diagrama de radiação

#### 4.2.3.6 Directividade

Fala-se que uma antena é directiva quando ela é mais eficiente em uma dada direção. A directividade de uma antena 1 em relação a uma antena 2 é obtida comparando suas respectivas intensidades de radiação para um mesmo valor de potencia total. A directividade total emitida dá uma idéia da intensidade da radiação em uma determinada direção de uma antena em comparacao a intensidade de radiacao média de todos os sentidos. Directividade não leva em conta as perdas da antena. Alguns exemplos desse tipo de antena pode ser visto na Figura 32.

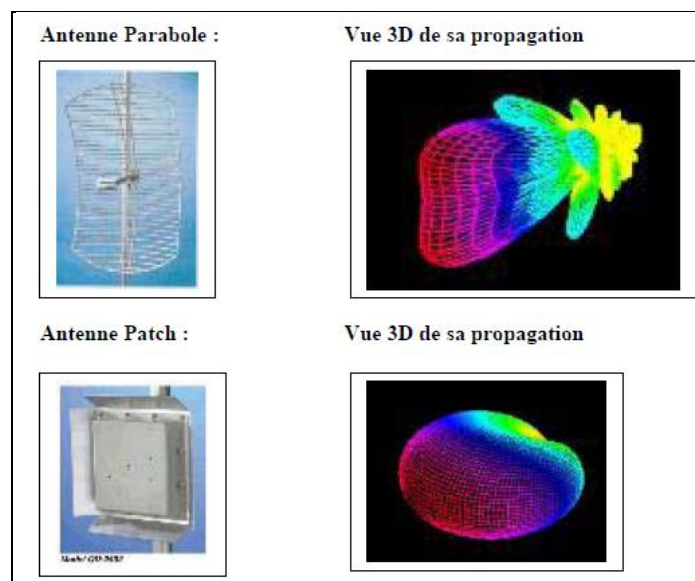


Figura 32 – Exemplos de antenas directivas.

#### 4.2.3.7 Polarização

A polarização reflete a forma como a amplitude e a direção de uma onda eletromagnética varia ao longo do tempo. Está intimamente relacionada com a parte real do campo elétrico. O ângulo entre a antena e o plano horizontal determina a orientação dos campos elétricos e magnéticos irradiados, que são perpendiculares em relação ao outro, veja a Figura 33.



Figura 33 – Ângulo de polarização

Para uma maior eficiência do transmissor e receptor, ambas as antenas devem ter a mesma polarização. Uma polarização não casada provoca uma queda no nível do sinal recebido (e, portanto, um aumento do ruído). Existem três tipos de polarização, Figura 34, como será descrito na sequência.

##### 4.2.3.7.1 Tipos de polarização

No espaço livre, o campo elétrico é ortogonal à direção de propagação da onda e possui componentes nos dois eixos ( $x$  e  $y$ ) ortogonais à propagação da onda.

Para a polarização linear, o campo  $\vec{E}$  é sempre paralelo a uma dada direção durante a propagação. Para a polarização circular, as duas componentes ortogonais do campo elétrico possuem a mesma amplitude e são defasadas de  $90^\circ$ . Para a polarização elíptica, polarização em que as duas componentes ortogonais do campo elétrico possuem magnitudes diferentes e defasagem não nula.

Na Figura 34 pode-se observar esses três tipos de polarização.

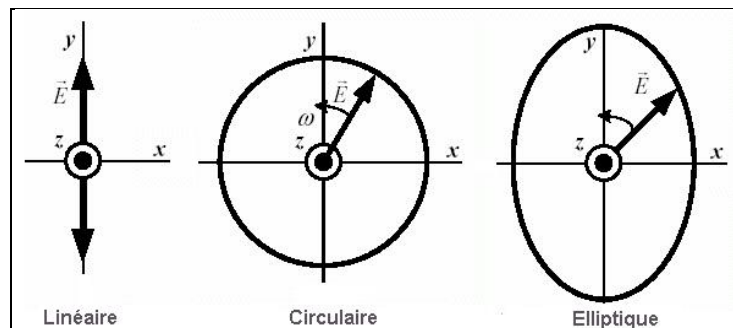


Figura 34 – Tipos de polarização.

### 4.3 Tipos de antenas

Nesta seção, serão apresentadas as maiores famílias das antenas.

#### 4.3.1 Antenas filaires

Por definição, a classe de antenas de fio inclui todas as antenas formadas por estruturas de cabo condutor de diâmetro pequeno, onde considera-se a densidade linear de corrente. As antenas básicas são os dipolos e monopolos, enquanto que como estruturas mais avançadas pode-se citar as antenas do tipo hélices, Yagis e log-periódica (Vuong, 2009-10).

##### 4.3.1.1 Dipolo de meia-onda

Tipo básico de antena, consistindo de dois condutores de direções opostas, com comprimentos iguais a um quarto do comprimento de onda que é transmitido ou recebido. O dipolo caracteriza, mais especificadamente, uma antena de comprimento inferior ao comprimento de onda. É geralmente representado como mostrado na Figura 35.

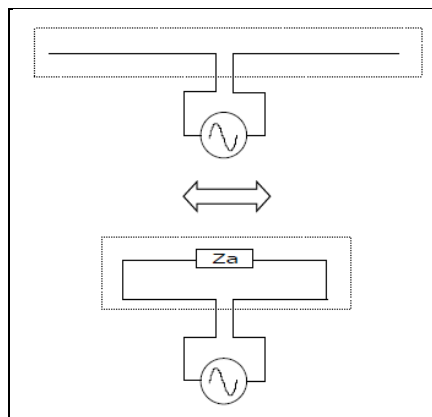


Figura 35 – Dipolo de meia-onda.

A Figura 36 apresenta um segmento de comprimento  $l = \frac{\lambda}{2}$ . Entre os dois nós, tem-se que:

$$l = \frac{\lambda}{2} \text{ ou } \lambda = \frac{c}{f}$$

Portanto,

$$f = \frac{c}{2l}$$

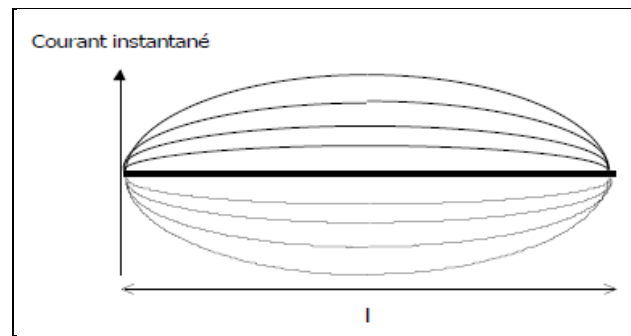


Figura 36 – Comportamento da corrente em um dipolo.

O dipolo é alimentado em seu ponto médio, que é o ponto de baixa impedância. Se o valor da impedância é baixo tem-se um valor de tensão nule e consequentemente um valor máximo de corrente. Assim, para evitar perdas resistivas, alimenta-se o dipolo entre os dois braços. Na Figura 37 é possível visualizar tal fenômeno.

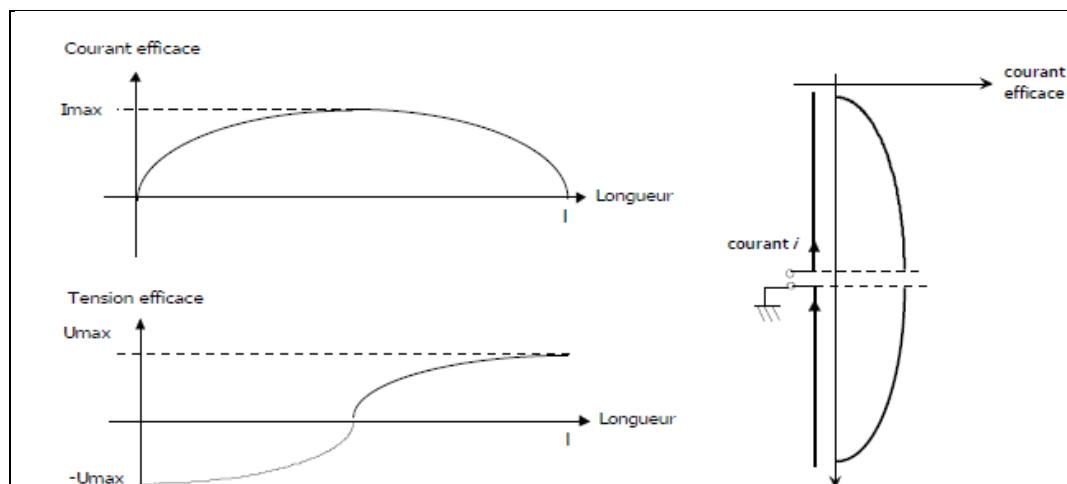


Figura 37 – Curva de corrente e tensão.

#### 4.3.1.2 Antena YAGI-UDA

O nome foi dado em homenagem ao seu inventor, Professor Hidetsugu Yagi, que com seu assistente, Shintaro Uta, desenvolveu em 1924 uma antena sensível e altamente direcional que é formada por um dipolo de meia, um refletor e um ou mais directores.

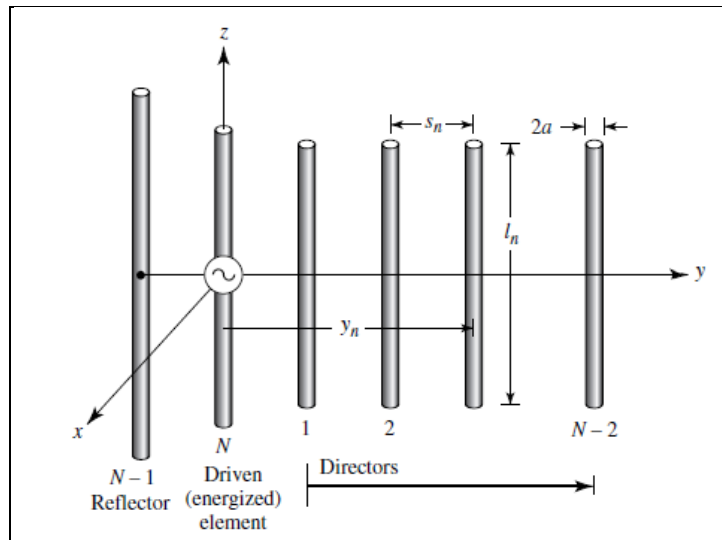


Figura 38 – Antena do tipo Yagi-Uda.

Muito mais elaborada do que uma simples antena dipolo, difere-se pela quantidade de braços, os directores, disposto em paralelo do dipolo original. Conforme mostrado na Figura 38.

#### 4.3.2 Antenas planares

A antena planar ou patch (em inglês) é uma antena plana onde o elemento irradiante é uma superfície condutora geralmente quadrada, separados de um condutor plano reflector por uma lâmina dielétrica. Sua implementação assemelha-se à um circuito impresso de dupla face. O substrato de ser constituído por um material de baixa permissividade para assegurar a radiação (Balanis, 1938). Pode ser usado sozinho ou como parte de uma rede.

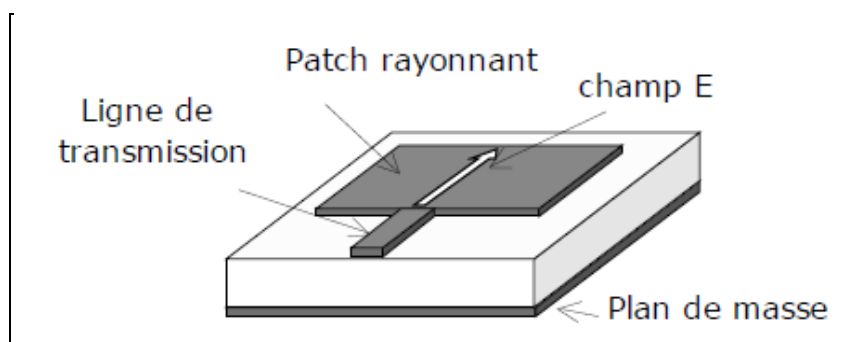


Figura 39 – Esquema de uma antena Patch.

#### 4.4 Conclusão

Neste capítulo foi descrito os fundamentos principais de antenas e seus diferentes tipos. Assim como foi apresentado uma discussão sobre o coeficiente de reflexão de uma antena, seu ganho e seu padrão de radiação.

## Capítulo 5: Simulação e Concepção de antenas

### Apresentação do capítulo

Neste capítulo será apresentado todo o processo que foi seguido até a obtenção de um modelo de antena que se adaptasse às necessidades propostas no início do trabalho.

#### 5.1 Introdução

Todas as simulações que serão aqui apresentadas foram realizadas utilizando o software CST<sup>®</sup>.

O substrato utilizado na simulação de todas as antenas foi o FR-4, a menos das antenas apresentadas na Figura 55 e Figura 57, onde foi utilizado um substrato do tipo ROGERS RO4003 (0.8mm). As especificações de ambos os substratos podem ser verificadas na Figura 40.

<b>Material</b>	<b>Rogers R04003 (lossy)</b>
<b>Type</b>	<b>Normal</b>
<b>Epsilon</b>	<b>3.38</b>
<b>Mue</b>	<b>1</b>
<b>Therm.cond.</b>	<b>0.64 [W/K/m]</b>
<b>Material</b>	<b>FR-4 (loss free)</b>
<b>Type</b>	<b>Normal</b>
<b>Epsilon</b>	<b>4.9</b>
<b>Mue</b>	<b>1</b>
<b>Therm.cond.</b>	<b>0.3 [W/K/m]</b>

Figura 40 – Especificações dos substratos utilizados.

#### 5.2 Dipolo clássico

As simulações foram iniciadas fazendo um estudo sobre as dimensões de uma antena dipolo funcionando na frequência de 868MHz.

Para um dipolo clássico tem-se que o comprimento dos braços são dados pela Equação 10. Assim, a partir dessa formulação matemática, a construção da antena proposta foi iniciada.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (10)$$

A primeira antena construída é apresentada na foi feita é mostrado na Figura 41.

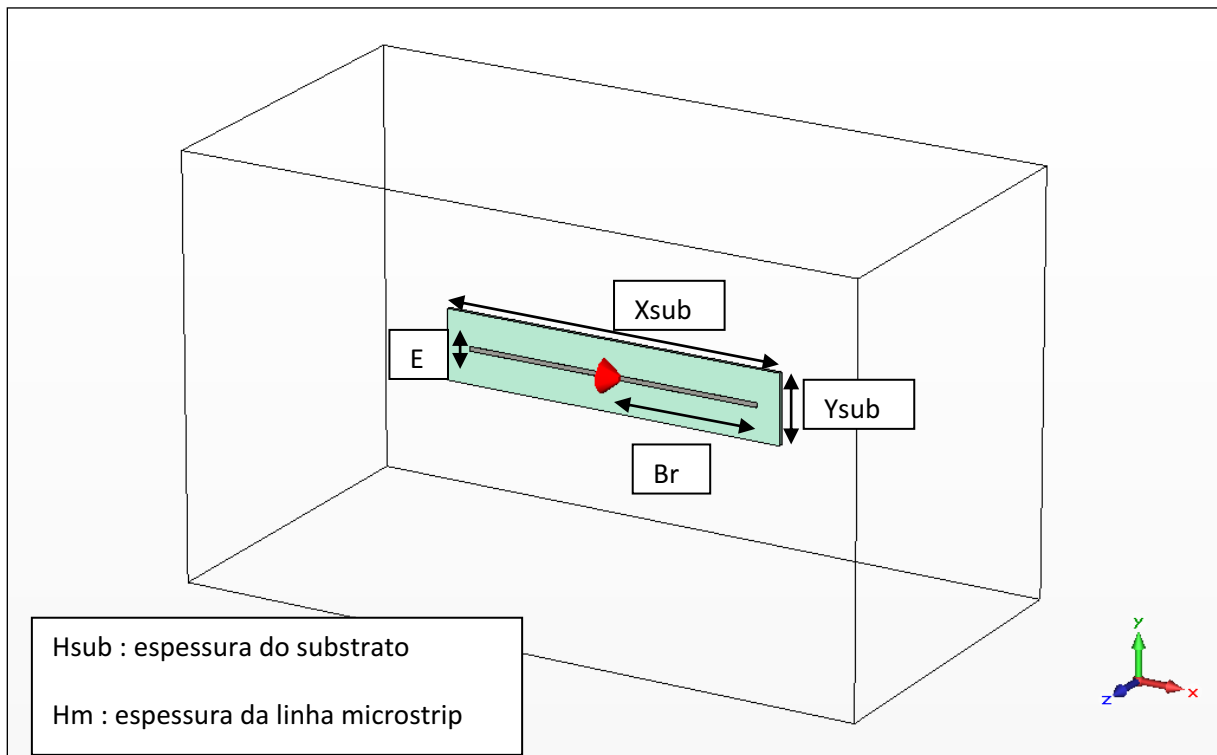


Figura 41 – Estrutura e parâmetros de uma antena dipolo clássica.

Os valores iniciais utilizados como valores de entrada para a simulação são aqueles obtidos utilizando cálculos matemáticos, mas a partir de um processo de otimização, novos valores foram encontrados. Valores esses que são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros da antena.

Nome	Valor (mm)
<b>br</b>	64.8
<b>Xsub</b>	150
<b>Ysub</b>	30
<b>Hsub</b>	-1.6
<b>E</b>	2
<b>hm</b>	0.035

Com todos os parâmetros bem determinados, foi realizado a simulação final, onde foi possível a obtenção dos resultados apresentados Figura 42 e Figura 43.



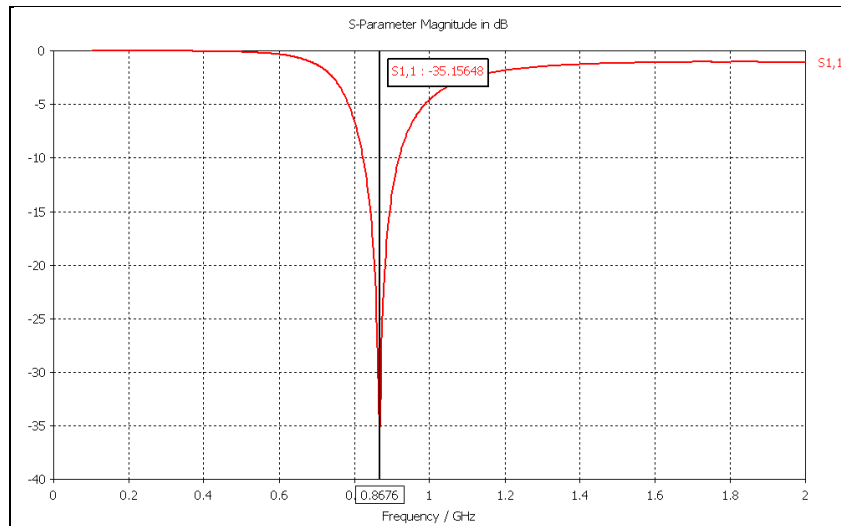


Figura 42 – Resultado da simulação do parâmetro  $S_{1,1}$ .

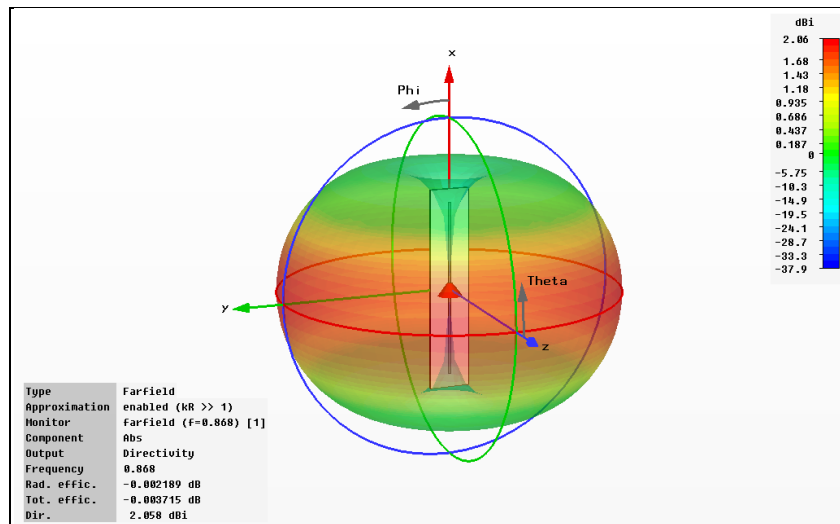


Figura 43 – Diagrama de radiação 3D simulado.

Observando a Figura 44 é possível verificar que a impedância de entrada da antena possui um valor próximo do valor de referencia que é de  $50\Omega$  para a parta real e de  $0\Omega$  para a parte imaginária.

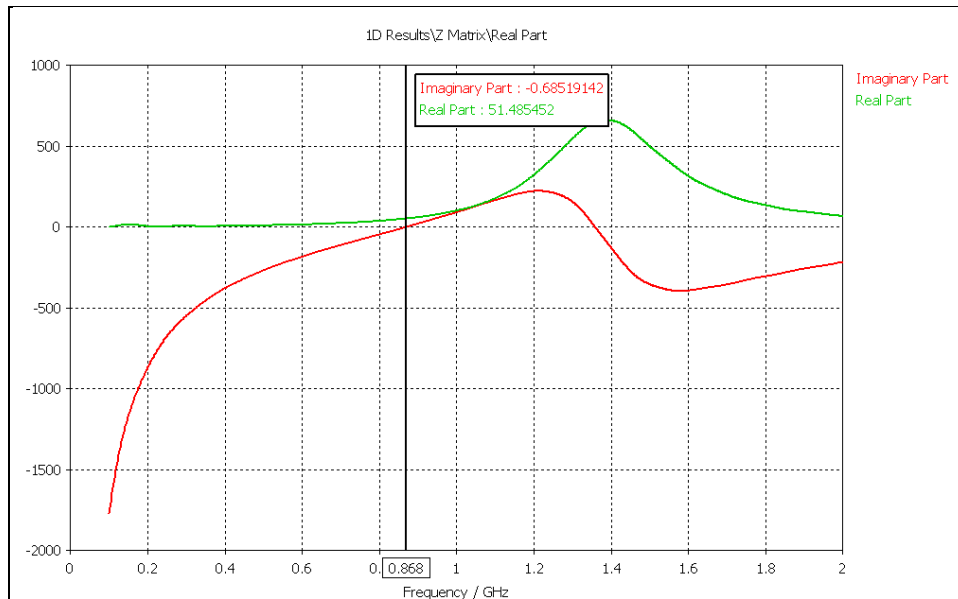


Figura 44 – Impedância da antena.

Para a simulação, deve-se considerar o efeito do chip RFID sobre o funcionamento da antena. Para tal, uma estrutura (azul) foi adicionado em série com a porta de alimentação, como pode ser visto na Figura 45.

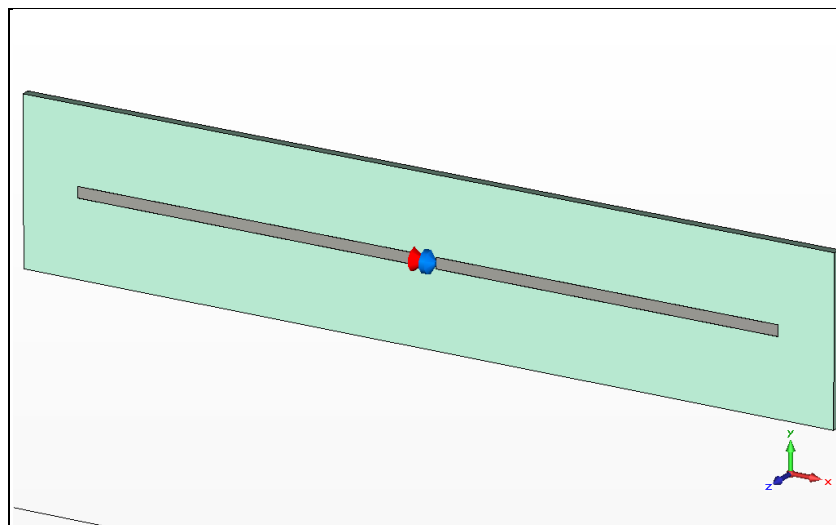


Figura 45 – Geometria da antena dipolo adaptado com um elemento discreto.

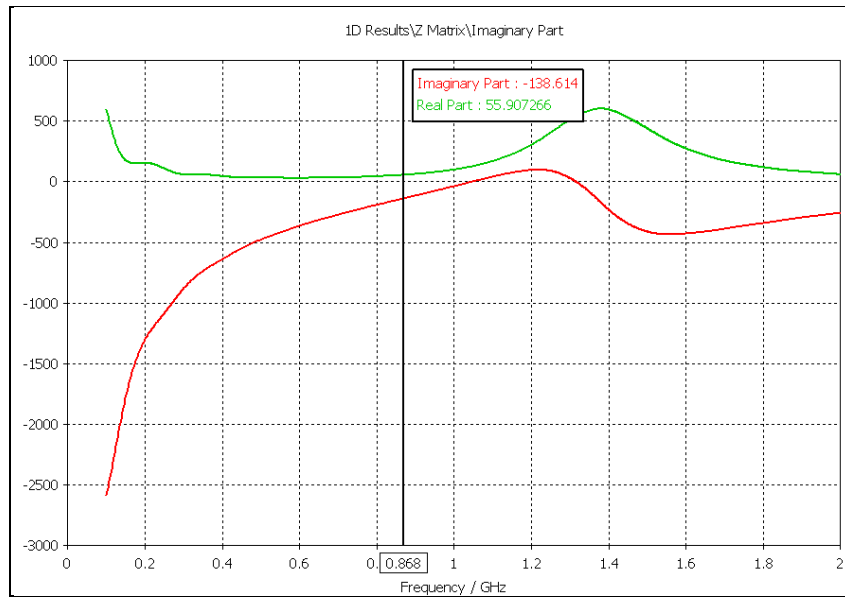


Figura 46 – Efeito de um chip RFID no circuito de adaptação da antena.

Na Figura 46 pode-se observar o efeito causado pela adição de um chip RFID no funcionamento de uma antena dipolo. Verifica-se que a parte real pouco foi alterada, enquanto que a parte imaginária sobre um aumento elevadíssimo. Tal constatação deve-se ao fato do chip simulado apresentar características fortemente capacitivas.

### 5.3 Adaptação da impedância

Como não pode-se mudar a impedância de entrada de uma antena dipolo, é necessário implementar um circuito correspondente para realizar tal função. Para isso, foi utilizado um laço/loop que possui um impedância com características indutivas. Assim, o modelo do circuito de uma tag RFID composto por uma antena dipolo adaptado com um circuito de impedância adequada é apresentado na Figura 47.

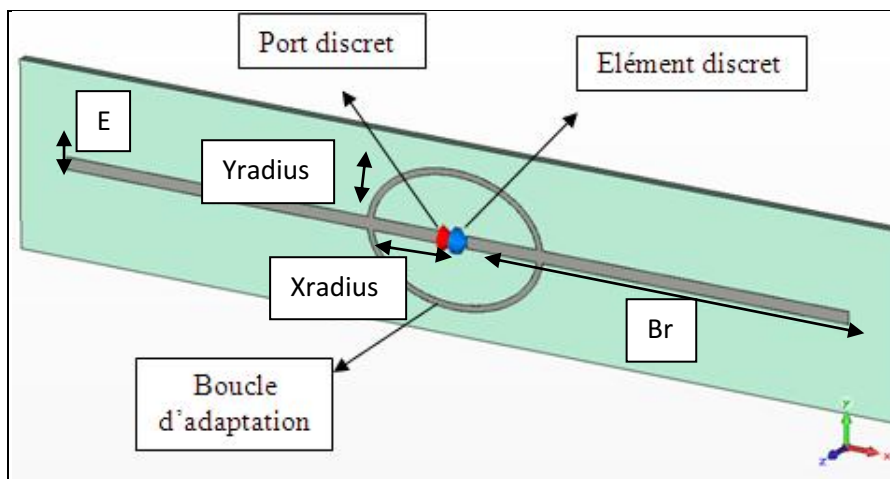


Figura 47 – Geometria de uma antena dipolo adaptada com o auxílio de um laço.

Após uma série de otimizações utilizando o CST, chegou-se a um modelo que possui as dimensões que são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros do dipolo com o laço de adaptação.

Nome	Valor(mm)
Xsub	150
Ysub	30
Hsub	-1.6
E	2
Hm	0.035
Xradius	15
Yradius	11
Br	69

A curva do parâmetro  $S_{1,1}$  é apresentado na Figura 48, já o diagrama de radiação pode ser visto na Figura 49.

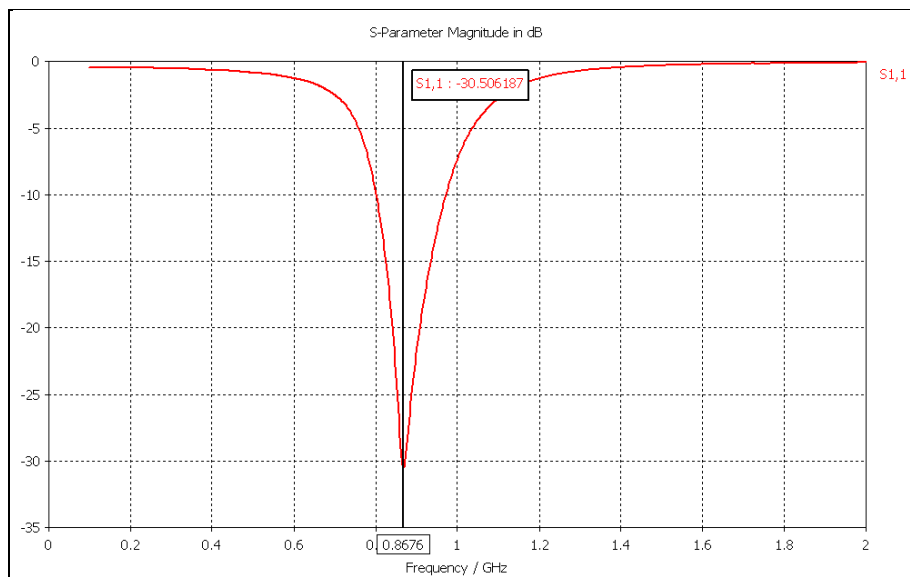


Figura 48 – Resultado da simulação, parâmetro  $S_{1,1}$ .

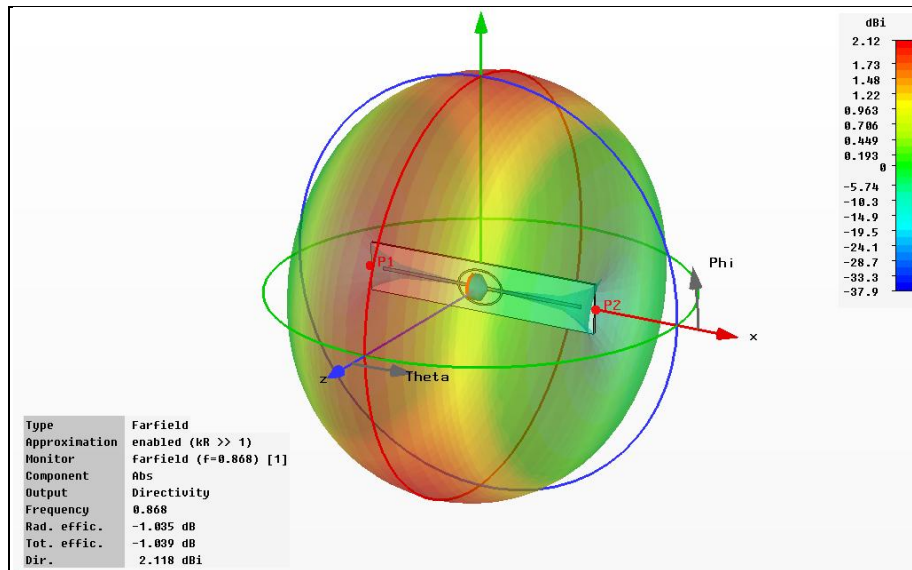


Figura 49 – Resultado da simulação do diagrama de radiação do dipolo com o circuito de adaptação.

Após a análise dos resultados, observou-se que a antena dipolo de 868 MHz tinha um valor de 30,5 dB para o parâmetro  $S_{1,1}$ , mas seu comprimento não satisfaz as necessidades da aplicação desejada, uma vez que necessita-se de antena de pelo menos 5x5 cm. Então decidiu-se fazer um estudo sobre a miniaturização de antenas.

## 5.4 Miniaturização de antenas

A miniaturização de antenas utilizadas em tags RFID UHF é de grande interesse por várias razões (Ghiotto, 2008):

- Tornar as etiquetas RFID mais discretas;
- Reduzir o custo, envolvendo menos material, de um lado e permitindo maiores taxas de produção;
- Permitir a identificação de pequenos objetos, a fim de obter a identificação individual (Ghiotto, 2008).

### 5.4.1 Dipolo miniaturizado

Como era esperado no início do trabalho, a solução proposta é a miniaturização da antena. Para minimizar o tamanho das antenas, foi proposto um novo design para a antena.

Para determinar as novas dimensões do sistema na frequência de 868MHz, uma série de melhorias e alterações foram feitas no modelo de antena original. As figuras abaixo mostram alguns modelos propostos para a miniaturização. Alguns apresentam um bom comportamento para a frequência de trabalho, mas o tamanho ainda não é compatível para o uso pretendido, pois possuem dimensões de cerca de 80mm.

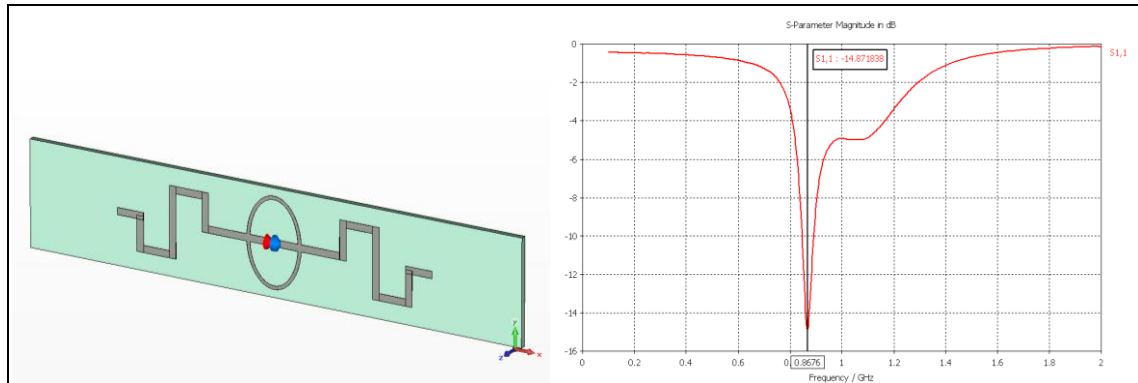


Figura 50 – Antena 1.

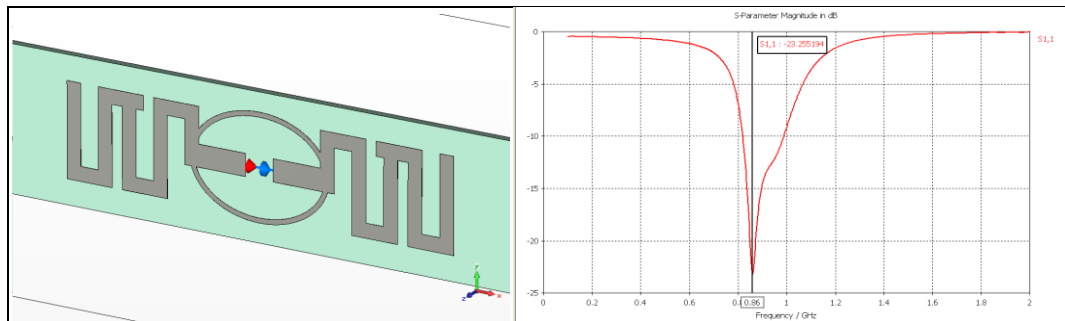


Figura 51 – Antena 2.

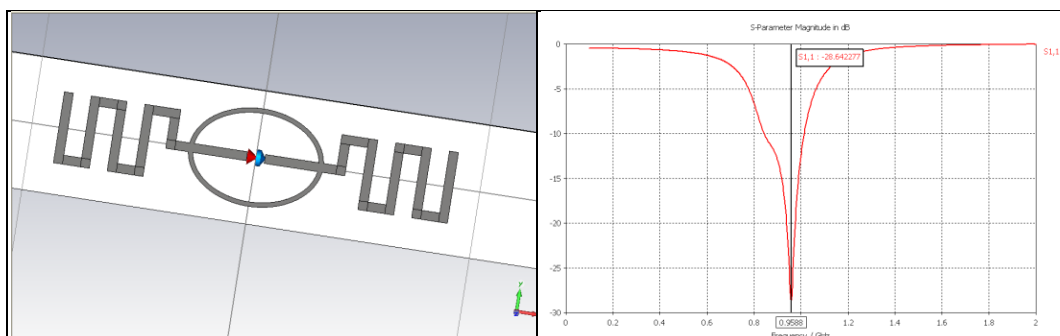


Figura 52 – Antena 3.

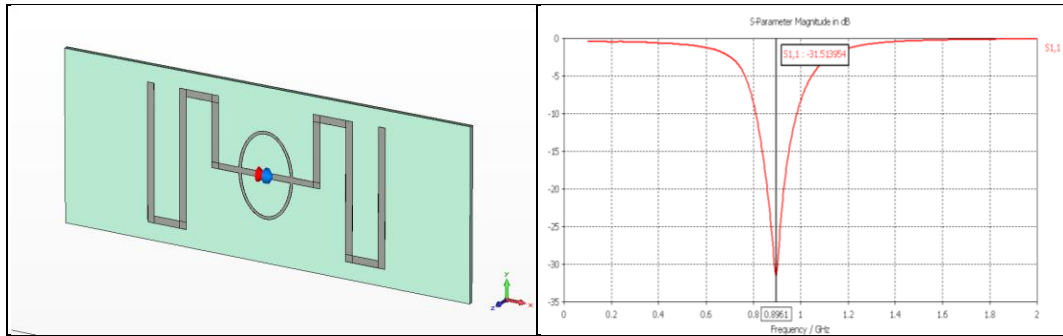


Figura 53 – Antena 4

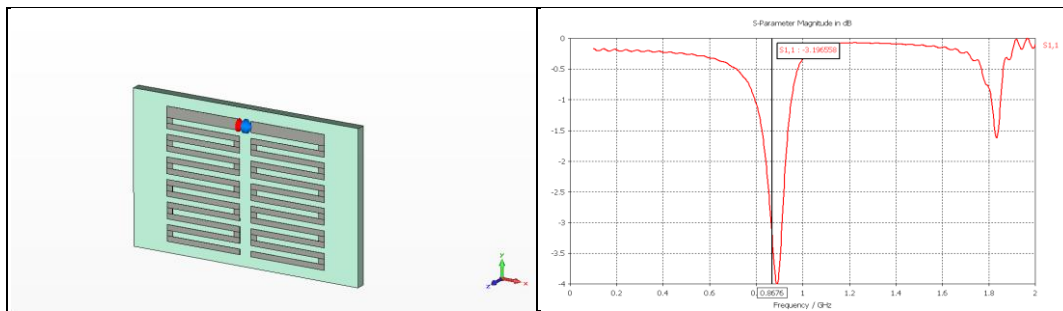


Figura 54 – Antena 5.

#### 5.4.2 Dipolo final miniaturizado

Depois de muitas tentativas de novas geometrias para a antena, chegou-se a configuração que é observado na Figura 55.

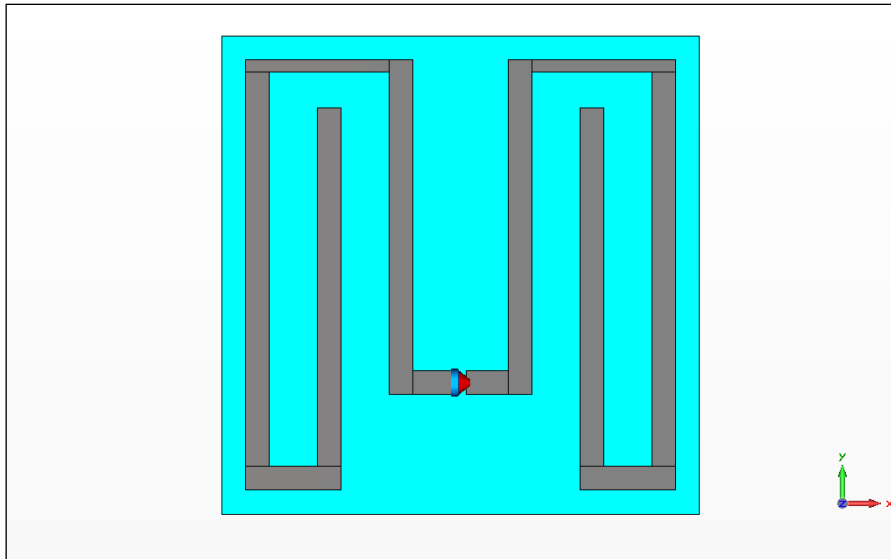


Figura 55 – Antena 6.

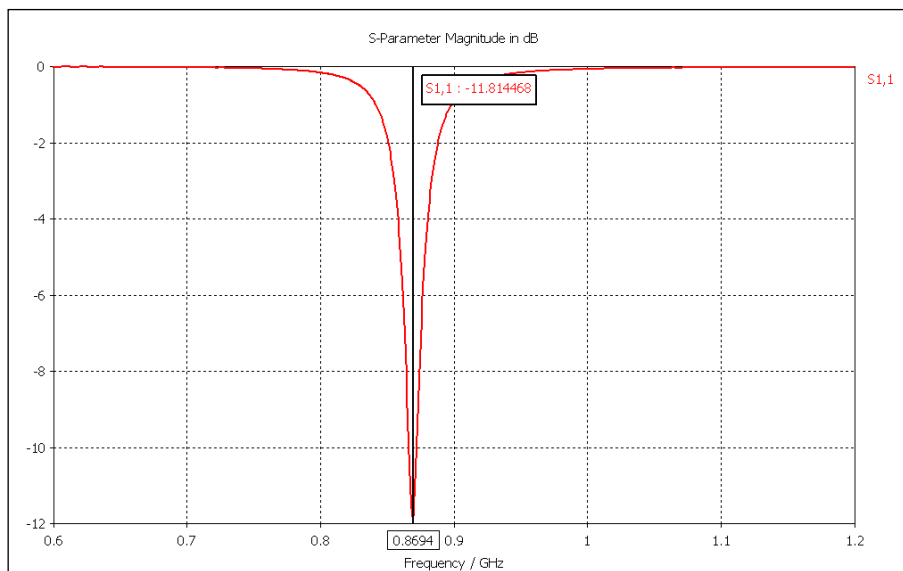


Figura 56 – Simulação do parâmetro  $S_{1,1}$  da antena 6.

Observando a Figura 56, nota-se uma baixa atenuação na frequência de 868MHz. Assim, a antena foi submetida a uma série de otimizações. Como resultado final obteve-se as dimensões que são apresentados na Tabela 4, a configuração final da antena é mostrado na Figura 60.



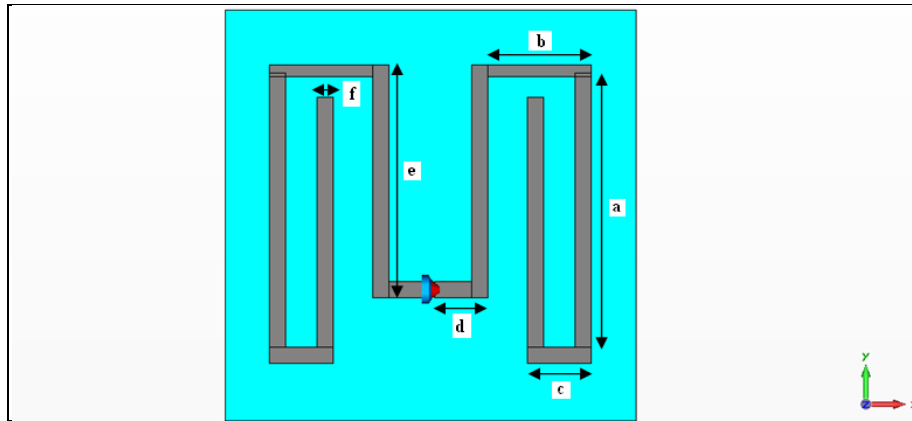


Figura 57 – Geometria da antena final.

Tabela 4 – Parâmetros do dipolo final.

Nome	Valor(mm)
<b>A</b>	34,8
<b>B</b>	14,2
<b>C</b>	9,3
<b>D</b>	4,3
<b>E</b>	29,8
<b>F</b>	2,6
<b>Xsub</b>	40
<b>Ysub</b>	40

Na Figura 58 é apresentado a atenuação do parâmetro  $S_{1,1}$ , enquanto que na Figura 59 o diagrama de radiação da antena final.

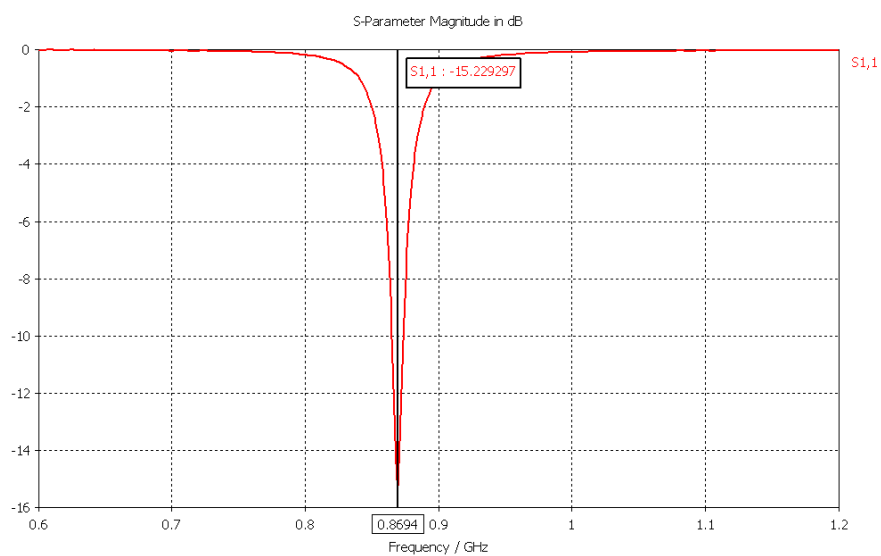


Figura 58 – Simulação do parâmetro  $S_{1,1}$ (dB) da antena final.

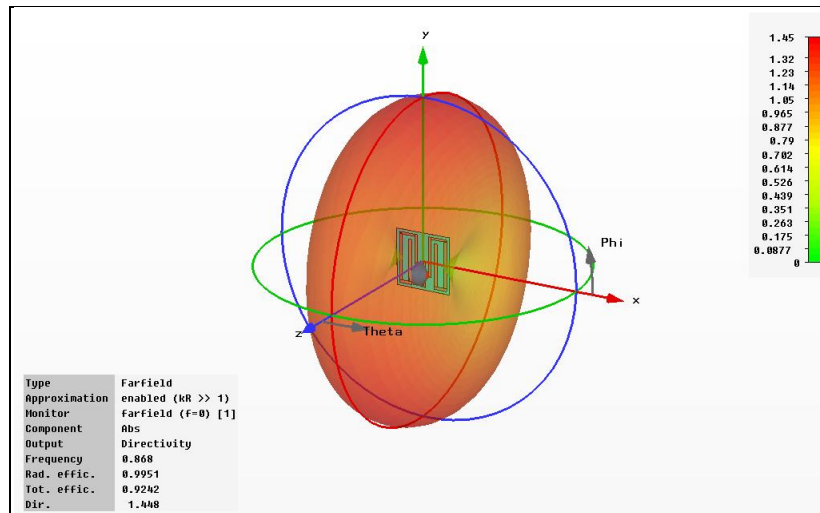


Figura 59 – Diagrama de radiação da antena final.

## 5.5 Conclusão

Foram estudados diversas configurações de antenas partindo de um dipolo clássico até chegar a um modelo que suprisse todas as exigências da aplicação desejada. Ao final, foi obtido uma antena com dimensões de 40x40mm e apresentando uma frequência de operação de aproximadamente 868MHz com um bom nível atenuação do parametro  $S_{1,1}$ . Aparentemente, a antena deve funcionar bem após a fabricação.

A fabricação da mesma não foi possível em virtude de corte de gastos do laboratório em que foi realizado esse estágio.

## Capítulo 6: Conclusões gerais e Perspectivas

O tema do estágio apresentado neste relatório discute o projeto de antenas para identificação utilizando tag RFID passiva.

Durante os seis capítulos deste relatório, foi realizado um detalhadamente de todos os pré-requisitos necessários à realização desse sistema: as diferentes tecnologias existentes de RFID, as propriedades dos materiais, o procedimento para instalar o sistema, os parâmetros básicos das antenas e também a concepção de antenas utilizando o CST ®.

A execução desse projeto permitiu por em prática todos os conhecimentos da área de RF, de antenas e também na área da caracterização dos materiais. Proporcionou também uma vasta experiência na utilização do software de simulação eletromagnética CST ®, no software de cálculo matemático, o MathCAD®, e também a prática no manuseio de dispositivos de medição, como analisadores de rede e de espectro.

Finalmente, pode-se dizer que foi um prazer ter trabalhado nesta área durante os cinco meses de duração do estágio, além de uma vasta aquisição de conhecimentos técnicos e intelectuais unidos a um fabuloso intercâmbio cultural.

## Bibliografia

- Balanis, C. A. (1938). *Antenna theory : analysis and design*. 2nd.
- Biebl, G. L. (1997). *A Broadband Free-Space Dielectric Properties Measurement System at Millimeter Wavelengths* (Vol. 46). IEEE Trans.Instrument. Meas.
- Bill Glover, H. B. (2007). *Fundamentos de RFID: Teoria e Prática*. Rio de Janeiro: Alta books.
- BUFFLER, D. S. (1991). *Measuring dielectric properties of food products at microwave frequency* (Vol. 12). Microwave World.
- D.K. Ghodgaonkar, V. V. (1989). *A Free-Space Method for Measurement of Dielectric Constants and Loss Tangents at Microwave Frequencies* (Vol. 38). IEEE Trans. Instrument. Meas.
- Dobkin, D. M. (2008). *The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice*. Newnes.
- Finkenzeller, K. (2003). *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification* (éd. Second Edition). (R. Waddington, Trad.) Munich, Germany: Wiley.
- Fouk, R. (2010, Janvier 21). Consulté le Juin 26, 2010, sur <http://rochellefouk.wordpress.com/2010/01/21/scott-granneman-rfid-chips-are-being-embedded-in-everything-from-jeans-to-paper-money-and-your-privacy-is-at-stake/>
- Fourneaud, L. (2009). *Caractérisation électromagnétique de matériaux*. Mémoire de DRT.
- Gardiol, F. (1987). *Hyperfréquences*. Ed. Dunod, Presses Polytechniques Romandes.
- Ghiotto, A. (2008). *Conception d'Antennes de Tag RFID UHF, Application à la Réalisation par Jet d'Encre*. Valence: Mémoire de thèse, LCIS, Grenoble-INP.
- IDtechEx. (s.d.). Consulté le mars 01, 2010, sur <http://www.idtechex.com>
- iFrance. (s.d.). Consulté le Juin 25, 2010, sur ETUDE TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE SUR LA TECHNOLOGIE RFID:  
<http://manianguisse.ifrance.com/Main/ProdStragIndust/Ingenierie/La%20RFID.html>
- Intermec. (s.d.). Consulté le 03 25, 2010, sur [http://www.intermec.com.br/products/rfid/fixed\\_readers/index.aspx](http://www.intermec.com.br/products/rfid/fixed_readers/index.aspx)
- Intermec. (s.d.). Consulté le 03 25, 2010, sur [http://www.intermec.com.br/products/rfid/fixed\\_readers/index.aspx](http://www.intermec.com.br/products/rfid/fixed_readers/index.aspx)
- J. Krupka, A. I. (2000). *Whispering Gallery Modes in Rutile Resonators at Millimeter Wave Frequencies*. (MIKON-2000, Éd.) in 13th International Conference on.
- James Baker-Jardis, E. V. (1990, Août). Improved technique for determinig complex permittivity with the transmission/reflexion method. *vol. 38* , pp. 1096-1103.

- Jarvis, J. B.-e. (2001, Juillet). Dielectric and Conductor-Loss Characterization and Measurements on Electronic Packaging Materials. *National Institute of Standards and Technology (NIST) Technical Note 1540*.
- Kadaba, P. K. (1984). *Simultaneous Measurement of Complex Permittivity and Permeability in the Millimeter region by a Frequency-Domain technique* (Vol. 33). IEEE Trans. Instrument. Meas.
- Landt, J. (2005, Oct. - Nov.). The history of RFID. *Potentials, IEEE*, 24, pp. 8-11.
- Lee, H. K. (2005). *Compact slotted planar inverted-F RFID tag mountable on metallic objects* (Vol. 41). Electron. Lett.
- Mathew, A. P. (2008). *RFID Handbook: Applications, Technology, Security, and Privacy* (éd. CRC Press). (S. Ahson, & M. Ilyas, Éds.)
- Mbango, F. M. (2008). *Contribution a la Caracterisation Electrique de Materiaux Utilises en Microelectronique Radiofrequence*. Grenoble: Mémoire de thèse, MINATEC, Grenoble-INP.
- Noor Hasimah et al. (2004). *Accuracy Considerations for Dielectric Measurements of Semiconductor Wafers Using Free-Space Microwave Measurement system 8-13 GHz Range*. Malaysia: IEEE RF Conference.
- Olivier, R. (2002, Novembre). Modélisation Electromagnétique de Boîtiers Plastiques pour les Circuit Intégrés Radiofréquences. *Thèse de doctorat INP Grenoble*.
- Oversleep. (s.d.). Consulté le mars 01, 2010, sur <http://www.overspeed.fr>
- P. Lombard, J.-D. A. (2004, Juin). Characterization of MIMCu-Si3N4-Cu Capacitors in 0.12µm - CMOS. Marseille, France: Mediterranean Microwave Symposium (M.M.S).
- Portal, R. (2010). Consulté le mars 10, 2010, sur <http://sites.google.com/site/portalrfid/implantacao-e-instalacao-de-sistemas>
- Pozar, D. M. (1988). *Microwave Engineering* (éd. Second Edition). John Wiley & Sons.
- SweeneyII, P. J. (2005). RFID for dummies. *Wiley Publishing, Inc.* Canada.
- Univ-brest. (s.d.). Consulté le mars 5, 2010, sur [http://www.univ-brest.fr/lest/caracterisation/pages/pages\\_francais/sondecoaxiale.php?ref=6862](http://www.univ-brest.fr/lest/caracterisation/pages/pages_francais/sondecoaxiale.php?ref=6862)
- V. D. Hunt, A. M. (2007). *RFID: A Guide to Radio Frequency Identification*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons,.
- Vuong, T. P. (2009-10). Different types d'antennes. *Cours d'antennes*. Grenoble: INPG-Phelma.
- Wang, C. (2000). *Determining Dielectric Constant and Loss Tangent in FR-4*. UMR EMC Laboratory Technical Report: TR00-1-041.
- Want, R. (2004, October). The Magic od RFID. *Q focus: RFID*, 2, pp. 40-48.

Zdnet. (2007, Janvier 25). Consulté le Juin 25, 2010, sur  
<http://www.zdnet.fr/zdnet/i/edit/39366528/1-RFID.jpg>

## Anexo 1

Relação de passagem: Matriz S -> Matriz ABCD

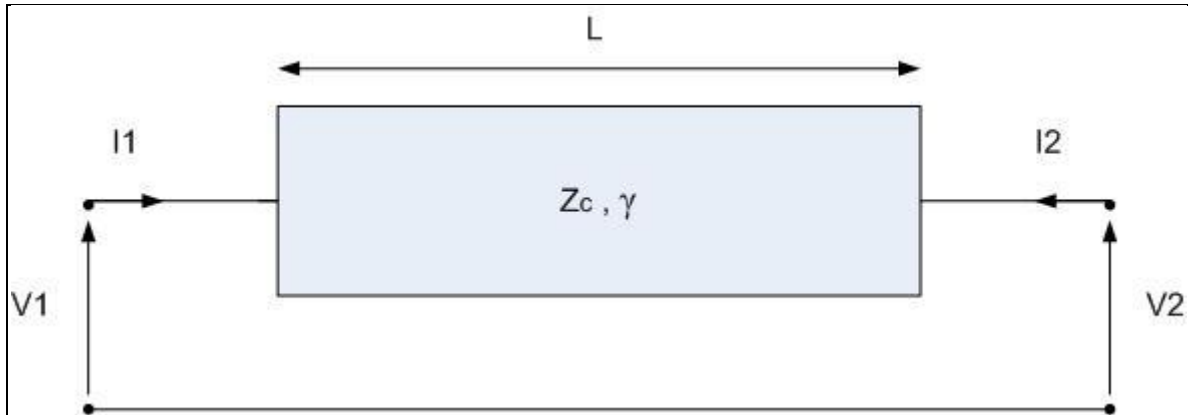


Figura 60 – Quadripolo auxiliar para a obtenção da matriz ABCD.

$$S_{11} = \frac{A - D + B / Z_C - CZ_C}{B / Z_C + CZ_C - A - D} \quad (1)$$

$$S_{21} = 2 \frac{BC - AD}{B / Z_C - A - D} \quad (2)$$

$$S_{12} = 2 \frac{BC - AD}{B / Z_C + CZ_C - A - D} \quad (3)$$

$$S_{22} = \frac{A - D - B / Z_C + CZ_C}{B / Z_C + CZ_C - A - D} \quad (4)$$

$$A = \frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{21}S_{12}}{2S_{12}} \quad (5)$$

$$B = -Z_C \frac{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{21}S_{12}}{2S_{12}} \quad (6)$$

$$C = -\frac{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{21}S_{12}}{2Z_C S_{12}} \quad (7)$$

$$D = -\frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{21}S_{12}}{2S_{12}} \quad (8)$$

$Z_C$  é a impedância de referencia dos parâmetros S.



## Résumé

### *Conception d'un tag RFID UHF passif pour la localisation des personnes*

**Mots clés :** RFID, UHF, Antenne, Miniaturisation, Caractérisation du matériau.

**Résumé :** L'objectif de ce stage a été de concevoir une antenne pour la localisation de personne en utilisant les tags RFID passif. Pendant ce stage, nous nous sommes intéressés à la caractérisation du matériel qui est en contact avec le tag. La caractérisation de matériaux est une activité en expansion avec de nombreuses applications industrielles telles que la micro-électronique. Notre travail s'appuie sur des simulations des antennes à l'aide du logiciel CST<sup>®</sup>, en considérant les différents types de configuration d'un dipôle pour obtenir un motif plus adapté à l'application requise.

## Resumo

### *Concepção de uma tag RFID UHF passiva para a localização de pessoas*

**Palavras-chave:** RFID, UHF, Antenas, Miniaturização, Caracterização de Material.

**Abstract:** O objetivo deste estágio foi a concepção de uma antena para a localização de pessoas utilizando tags RFID passivas. Durante o estágio, esteve-se interessado na caracterização dos materiais que estariam em contato direto com a tag. A caracterização do material é uma atividade que cresce a cada dia apresentando diversas aplicações industriais, como na microeletrônica. O trabalho foi baseado na simulação de antenas utilizando o software CST<sup>®</sup>, considerando os diferentes tipos de configurações de um dipolo até a obtenção de um padrão adequado a aplicação desejada.

## Abstract

### *Design of a passive UHF RFID tag for the location of people*

**Keywords:** RFID, Passive UHF, Antenna, Miniaturization, Material characterization.

**Abstract:** The aim of this internship was to conceive an antenna to be applied to the localization of persons using passive RFID tags. During this work, we were interested in the characterization of the material which is in contact with the tag. Such characterization is a growing business with many industrial applications such as microelectronics. Our work was based on simulations of antennas using the CST<sup>®</sup> software, considering the different types of configuration for a dipole, aiming the obtention of a most suitable pattern for the required application.

**Institut de Microélectronique Electromagnétisme et Photonique (IMEP) – Grenoble INP - PHELMA - MINATEC**

**3, rue Parvis Louis Néel, 38000 Grenoble, France.**