



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

EDDY LOPES MEDEIROS

# SENSOR DE TEMPERATURA RFID

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2014

EDDY LOPES MEDEIROS

## SENSOR DE TEMPERATURA RFID

*Relatório de Estágio Integrado submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrônica

Orientador:

Professor Raimundo Carlos Silvério Freire, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2014

EDDY LOPES MEDEIROS

## SENSOR DE TEMPERATURA RFID

*Relatório de Estágio Integrado submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrônica

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Raimundo Carlos Silvério Freire, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Capes que através do programa BRAFITEC me permitiu fazer um intercâmbio muito proveitoso tanto academicamente quanto pessoal.

Agradeço aos meus amigos do LCIS por terem me acompanhado durante todo o estágio.

Agradeço, também, a meus amigos Lucas Simões, Maurício Cardoso, Carolyn Turnell, Mathew Turnell, Felipe Maia e José Sánchez que estiveram sempre presentes durante todo o intercâmbio, o que tornou tudo mais fácil.

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”*

José de Alencar.

## RESUMO

Desde 1973, utiliza-se o código de barras para identificar os produtos no mercado. Mais recentemente começou-se a usar uma nova tecnologia, a identificação por radiofrequência (RFID, do Inglês - *Radio Frequency IDentification*). Neste trabalho utiliza-se esta nova técnica para o projeto de um sensor sem fio usando a faixa de frequência UHF (*Ultra High Frequency*), sem o uso de baterias. Faz-se uma pesquisa bibliográfica e a partir desta propõe-se três novas topologias de sensores, duas usando termistores e uma usando as propriedades da água (constante dielétrica), estuda-se a viabilidade destas topologias, tanto por simulação, quanto pelo desenvolvimento experimental. Neste trabalho mostra-se o potencial deste tipo de solução de sensores RFID passivos.

**Palavras-chave:** Sensor. RFID. Desadaptação de impedância. Temperatura. Constante dielétrica.

## ABSTRACT

Since 1973 the bar code is used to identify products in the market. More recently a new technique has been introduced, the Radio Frequency Identification (RFID). In this work we used this new technique for designing a wireless sensor using the UHF frequency band (Ultra High Frequency) without the use of battery. We have performed a literature review from which we have proposed three new topologies of sensors, two using thermistors and one using a property of water. We studied the feasibility of these topologies, with both simulation and experimental implementation. We have shown the potential of this type of passive RFID sensor solutions.

**Keywords:** Sensor, RFID, Impedance mismatch, Temperature, Dielectric constant.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Faixa de frequências da RFID UHF [8].....	7
Figura 2: Princípio da modulação de carga.....	10
Figura 3: Ilustração da comunicação Leitor/tag .....	10
Figura 4: Componentes do sensor [1] (adaptado).....	18
Figura 5: tau em função da frequência para os dois estados da tag [1] (adaptado) .....	18
Figura 6: Componentes do sensor, vista de cima [1] (adaptado).....	19
Figura 7: Elevação da placa metálica; a) estado 1 ; b) estado 2 [1] .....	19
Figura 8: A tag [2] (adaptado).....	19
Figura 9: Constante dielétrica da água em função da temperatura [2] (adaptado).....	20
Figura 10: Frequência de operação em função da temperatura [2] (adaptado).....	20
Figura 11: A tag dos dois lados do substrato [3] (adaptado).....	20
Figura 12: Capacitâncias parasitas na tag [3] (adaptado).....	21
Figura 13: Coeficiente de reflexão em função da frequência com a variação da constante dielétrica [3](adaptado).....	21
Figura 14: Constante dielétrica do Kapton em função da temperatura [13] (adaptado).....	22
Figura 15: Ak-tag [12] .....	23
Figura 16: Princípio utilizando a tag de referência .....	23
Figura 17: A tag com o termistor no braço radiante .....	24
Figura 18: Termistor no laço.....	24
Figura 19: A tag com o laço em meio aquoso.....	25
Figura 20: Mudança da Power-on-tag com a temperatura para os diferentes valores de termistores.....	26
Figura 21: A tag TBR com o substrato plástico .....	27
Figura 22: Resposta do coeficiente de reflexão em função da frequência na topologia TBR .....	28
Figura 23: Power-on-tag em função da temperatura para a topologia TBR .....	28
Figura 24: Resposta do coeficiente de reflexão em função da frequência para a topologia TL.....	29
Figura 25: Power-on-tag em função da temperatura para a topologia TL.....	29
Figura 26: Resposta do coeficiente de reflexão em função da frequência para a topologia LMA .....	30
Figura 27: Frequência de operação em função da temperatura para a topologia LMA .....	30
Figura 28 Esquema de medição .....	31
Figura 29: Esquema de medição na câmara anecóica.....	32
Figura 30: Parâmetros da tag .....	32
Figura 31: Foto da tag virgem.....	32
Figura 32: Foto da tag com termistor .....	34
Figura 33: Foto da tag na topologia LMA .....	35
Figura 34: Resposta observada no osciloscópio .....	35
Figura 35: Aquecimento da tag .....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplos de sensores ativos.....	12
Tabela 2: Estimação financeira para a parte contínua.....	37
Tabela 3: Estimação financeira para a parte de medição .....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASIC	<i>Application Specific Integrated Circuit</i>
CAO	<i>Conception Assistée par Ordinateur</i>
COSY	Sistemas Complexos Cooperantes
CST	<i>Computer Simulation Technology</i>
CTIC	Ciências e Tecnologia da Informação e Comunicação
CTSYS	Concepção e Teste de Sistemas Embarcados
ESISAR	Escola Nacional Superior em Sistemas Avançados e Redes
HF	<i>High Frequency</i>
IUT	<i>Institut Universitaire de Technologie</i>
LCIS	Laboratório de Concepção e Integração de Sistemas
LF	<i>Low Frequency</i>
LMA	Topologia a Laço em Meio Aquoso
MACSY	Modelagem, Análise e Controle de Sistemas Dinâmicos
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
ORSYS	Sistemas Optoeletrônicos e Radiofrequência
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
RF	Radio Frequência
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SMP	<i>Shape Memory Polymer</i>
TBR	Topologia a Termistor No Braço Radiante
TL	Topologia a Termistor No Laço
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UJF	<i>Université Joseph Fourier</i>
UPMF	<i>Universidade Pierre Mendès France</i>

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivo do projeto .....	2
1.2	Apresentação do LCIS – Laboratório de Concepção e de Integração de Sistemas .....	2
1.2.1	Apresentação geral .....	2
1.2.2	ORSYS .....	4
2	Contexto do Projeto.....	5
2.1	A tecnologia RFID.....	5
2.1.1	Introdução.....	5
2.1.2	A RFID – UHF .....	6
2.1.3	A TAG.....	7
2.1.4	A comunicação RFID .....	9
2.2	Sensores .....	11
2.2.1	Introdução.....	11
2.2.2	Modo de funcionamento .....	11
2.2.3	Tipos de sensores.....	12
2.2.4	Sensor sem fio .....	13
2.2.5	Métodos de medição da temperatura .....	14
3	Sensor RFID.....	17
3.1	Introdução .....	17
3.2	Pesquisa bibliográfica: Estado de arte.....	17
3.2.1	“RFID Tag Antenna Based Temperature Sensing in Frequency Domain” [1] .....	17
3.2.2	“Temperature Sensor Tag for Passive UHF RFID Systems” [2].....	19
3.2.3	“Inkjet-Printed Humidity Sensor for Passive UHF RFID Systems Propositions” [3] .....	20
3.3	Propostas .....	22
3.3.1	Ak-tag .....	22
3.3.2	Topologia a Termistor no Braço Radiante (TBR) .....	23
3.3.3	Topologia a Termistor no Laço (TL).....	24
3.3.4	Topologia a Laço em Meio Aquoso (LMA).....	24
4	Resultados de simulação.....	26
4.1	Topologia TBR .....	26
4.2	Topologia TL .....	28
4.3	Topologia LMA .....	30
5	Medição e experimentos .....	31
5.1	Topologia TBR .....	33
5.2	Topologia LMA .....	34
6	Estimação financeira .....	37
7	Conclusão .....	38
	Bibliografia.....	39

# 1 INTRODUÇÃO

Desde o início da história da humanidade a identificação de objetos é de suma importância para as suas atividades. No mundo moderno um dos métodos mais recentes utilizados e de maneira muito eficaz é a identificação por código de barras. Mais recentemente, um outro método baseado na identificação por rádio frequência foi desenvolvido e aplicado em diversas áreas. Este método tem a vantagem da flexibilidade no posicionamento entre o objeto a ser identificado e o leitor, assim como a facilidade de identificar rapidamente objetos diversos ao mesmo tempo.

Segundo as previsões de mercado mais de 56 milhões de tags RFID serão vendidas até 2022 para empresas de varejo e bens de consumo na Europa. Com o protocolo atualmente utilizado, todos os produtos podem conter um identificador único.

Mais recentemente a tecnologia RFID permite igualmente a incorporação de sensores inteligentes que podem ser utilizados para supervisionar os diferentes parâmetros físicos tais quais a humidade, a pressão, o deslocamento e a temperatura. As áreas de aplicação dessas tags RFID com sensores são, por exemplo, a supervisão das condições de transporte de produtos alimentícios ou que necessitam de cuidados especiais.

Dentre os parâmetros pesquisados, a grandeza física mais medida é a temperatura. O conhecimento desta grandeza pode melhorar os numerosos processos práticos. Do conhecimento da temperatura pode-se decidir utilizar um casaco ou uma roupa leve para sair de casa, a temperatura do corpo pode indicar um sintoma de infecção nos seres humanos e outros mamíferos. A temperatura influencia na velocidade de desenvolvimento de bactérias em produtos alimentares assim como a vida útil de componentes elétricos. Levando em conta a importância que ela possui na indústria, no transporte, na saúde e no conforto, escolheu-se fazer o estudo e o desenvolvimento de um sensor de temperatura utilizando uma tag RFID.

Neste trabalho desenvolvido no Laboratório de Concepção e Integração de Sistemas (LCIS), após uma pesquisa bibliográfica sobre os sensores de temperatura que utilizam a tecnologia RFID, foi estudada uma topologia já desenvolvida e foi proposta e estudada uma nova. Foram realizadas diversas simulações objetivando criar um sensor

de temperatura baseado na transformação de uma tag RFID passiva. Foram, igualmente, colocados em prática alguns experimentos objetivando avaliar o desempenho de tais estruturas.

## **1.1 OBJETIVO DO PROJETO**

O objetivo deste trabalho é o de estudar os diferentes métodos de implementações de sensores utilizando as diversas vantagens da tecnologia RFID. As vantagens de transformar uma tag RFID passiva em um sensor sem fio são numerosas dentre as quais a detecção sem fio e sem bateria de um parâmetro físico. Isto constitui uma grande vantagem prática em diversas áreas como: o controle industrial, a rastreabilidade de animais e acompanhamento médico. Um dos parâmetros físicos utilizados na maior parte das indústrias, que seja, a automotiva, a alimentícia ou na área da saúde é, por exemplo, a temperatura. Neste contexto que se desenvolveu este estudo, baseado na transformação de uma tag RFID passiva em sensor de temperatura sem fio.

## **1.2 APRESENTAÇÃO DO LCIS – LABORATÓRIO DE CONCEPÇÃO E DE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS**

### **1.2.1 APRESENTAÇÃO GERAL**

O LCIS foi fundado em outubro de 1996 como unidade própria do Grenoble-INP. Em 1999, ele tornou-se uma equipe jovem do ministério e uma equipe de acolhimento (EA 3747) do ministério desde janeiro de 2003. Em janeiro de 2007 ele teve mais um reconhecimento por parte da UPMF (*Universidade Pierre Mendès France*).

É o primeiro laboratório de pesquisa em universidade na cidade de Valence. Ele está localizado na Escola Nacional Superior em Sistemas Avançados e Redes (Grenoble INP - ESISAR). O laboratório tem um pouco mais de cinquenta pessoas, destes, quase metade são pesquisadores-professores (2/3 ESISAR, 1/3 IUT).

O LCIS desempenha o seu papel na estrutura de pesquisa de acolhimento para professores-pesquisadores do ESISAR e do IUT (*Institut Universitaire de Technologie*)

no domínio das CTIC (Ciências e Tecnologia da Informação e Comunicação). É parte de uma dinâmica regional interessante em torno de sistemas embarcados buscando uma complementaridade com o trabalho dos principais centros de pesquisas circundantes na França. Ele ainda tem margem para crescimento através da incorporação de outros professores locais, incluindo a UJF (*Université Joseph Fourier*). As atividades em publicações é de cerca de 0,5 artigos em jornais e três conferências por ano e por pesquisador, mas ganhando em visibilidade em locais de publicação mais famosos. O LCIS tem muitos contratos diretos com a indústria. O orçamento anual do laboratório é de cerca de 750 mil euros.

Os tópicos abordados incluem a especificação, a modelagem, o design, a comunicação, a validação e o diagnóstico destes sistemas. Nestes temas, o laboratório oferece novos métodos e elabora ferramentas de design e validação, que são aplicados no ambiente industrial.

O laboratório é constituído por quatro grupos:

- **Concepção e Teste de Sistemas Embarcados (CTSIS):** Suas atividades se concentram no desenvolvimento e confiabilidade do funcionamento de sistemas embarcados e distribuídos.
- **Sistemas Complexos Cooperantes (COSY):** Seu objetivo é fornecer um quadro e um formalismo (ou um conjunto de formalismos) para a engenharia de sistemas abertos complexos com base no conceito de agente.
- **Modelagem, Análise e Controle de Sistemas Dinâmicos (MACSY):** O trabalho do grupo MACSY possui, principalmente, o objetivo de desenvolvimento e implementação de leis de controle e/ou supervisão e asseguarção de sistemas distribuídos Dinâmicos.
- **Sistemas Optoeletrônicos e Radiofrequência (ORSYS):** As pesquisas giram em torno do uso de tecnologias e sinais de radiofrequência (RF), sem fio/sem contato (*wireless*) e ópticos para a comunicação, processamento de sinais e medição.

O estágio foi realizado no grupo ORSYS.

### 1.2.2 ORSYS

O grupo ORSYS, constituído exclusivamente por professores-pesquisadores fortemente envolvidos na educação, gera uma atividade de investigação coerente e dinâmica. O grupo se concentrou nestes quatro anos, tendo a coragem de cessar suas atividades em optoeletrônica para melhor se concentrar no tema RFID/UWB.

As pesquisas se baseiam em ferramentas de CAO (*Conception assistée par ordinateur*, Concepção Assistida por Computador) profissionais para a concepção RF e simulação eletromagnética, em particular as antenas e os meios de medições RF, em especial, uma câmara anecóica.

O trabalho do grupo é parte de muitas colaborações acadêmicas e industriais, tanto nacional quanto internacional. O grupo é um parceiro em projetos apoiados pelos grupos: Minalogic, Techtera e SCS. As pesquisas sobre RFID são desenvolvidas em sinergia com o centro de monitoramento de Valence. Os membros do ORSYS estão presentes em muitas conferências e eventos (IEEE, URSI,...) a nível nacional e internacional, muitas vezes como organizadores ou convidados.

O grupo tem cerca de vinte pessoas, incluindo cinco pesquisadores seniores e uma dezena de doutorandos, dos quais metade estão diretamente envolvidos em trabalhos de P&D para empresas.

## 2 CONTEXTO DO PROJETO

### 2.1 A TECNOLOGIA RFID

#### 2.1.1 INTRODUÇÃO

A tecnologia RFID (*Radio-Frequency IDentification*) permite, como o nome sugere, uma identificação por rádio frequência. Os dispositivos são comumente presos à pessoas ou objetos móveis, assim como objetos que podem ser rastreados e identificados utilizando leitores fixos em lugares diferentes.

A RFID é um meio de armazenar e recuperar dados através de um circuito RF integrado específico (*ASIC, Application Specific Integrated Circuit*). É hoje, considerado como uma forma de melhorar o processo de coleta e processamento de dados. Um sistema RFID tem vários componentes básicos, incluindo certo número de leitores RFID, tags RFID, e a comunicação entre eles. O leitor RFID é capaz de ler os dados emitidos das tags RFID. Os leitores RFID e as tags RFID usam um protocolo definido e padronizado para transmitir e receber dados. As tags são classificadas em três categorias: passivas, semipassivas ou ativas.

- **Passiva:** as tags RFID passivas operam sem bateria e precisam do sinal do leitor para se auto alimentar e para responder. Elas são utilizadas principalmente para substituir a tecnologia de códigos de barras tradicionais e são mais leves e menores. Elas refletem o sinal RF que é enviado a elas pelo leitor e adicionam informações modulando o sinal recebido.
- **Semipassiva:** ela utiliza uma bateria (recarregável ou não) para a alimentação de um circuito interno, ou um sensor acoplado, um atuador. A bateria não é utilizada para gerar a resposta da tag. Ela se comporta, então, como uma tag passiva.
- **Ativas:** estas são as verdadeiras transmissoras que transmitem sua identidade (ou dados adicionais em resposta a uma interrogação), graças

a uma fonte de energia embarcada. A principal vantagem da RFID ativa é a distância de leitura muito maior (podendo alcançar dezenas de metros).

Os sistemas RFID normalmente fazem uso de quatro bandas: LF (125 kHz, 134 kHz), HF (13,56 MHz), UHF (433, 860-960 MHz) e frequência de micro-ondas (2,45 GHz, 5,8 GHz).

### **2.1.2 A RFID – UHF**

A tecnologia RFID para banda de frequência UHF (*Ultra High Frequency*, ultra alta frequência) fornece várias vantagens sobre as tecnologias LF (*Low Frequency*, baixa frequência) e HF (*High Frequency*, alta frequência). Os benefícios incluem a melhoria na velocidade de detecção, a anticolisão e distância de leitura. Ela permite também a identificação unitária e em massa. Por exemplo, potencialmente, ela pode fazer a leitura rápida de 200 tags posicionadas numa pequena caixa, ao contrário da alta frequência que encontra limitações na leitura de uma dúzia de tags. A leitura em massa oferece a possibilidade de reduzir erros e acelerar o processo de identificação.

No entanto, o UHF possui desvantagens em comparação com as outras bandas de frequência. Em razão das diferentes padronizações encontradas nos diferentes países as faixas de frequências para UHF não são as mesmas em todos os lugares. As faixas de frequências para UHF no Brasil é de 902-907,5 MHz e de 915-928 MHz, na França está entre 865,6-867,6 MHz. Outra desvantagem é a sua sensibilidade elevada a meios líquidos e metais. Este último leva a quedas significativas no desempenho causando elevadas taxas de erro.

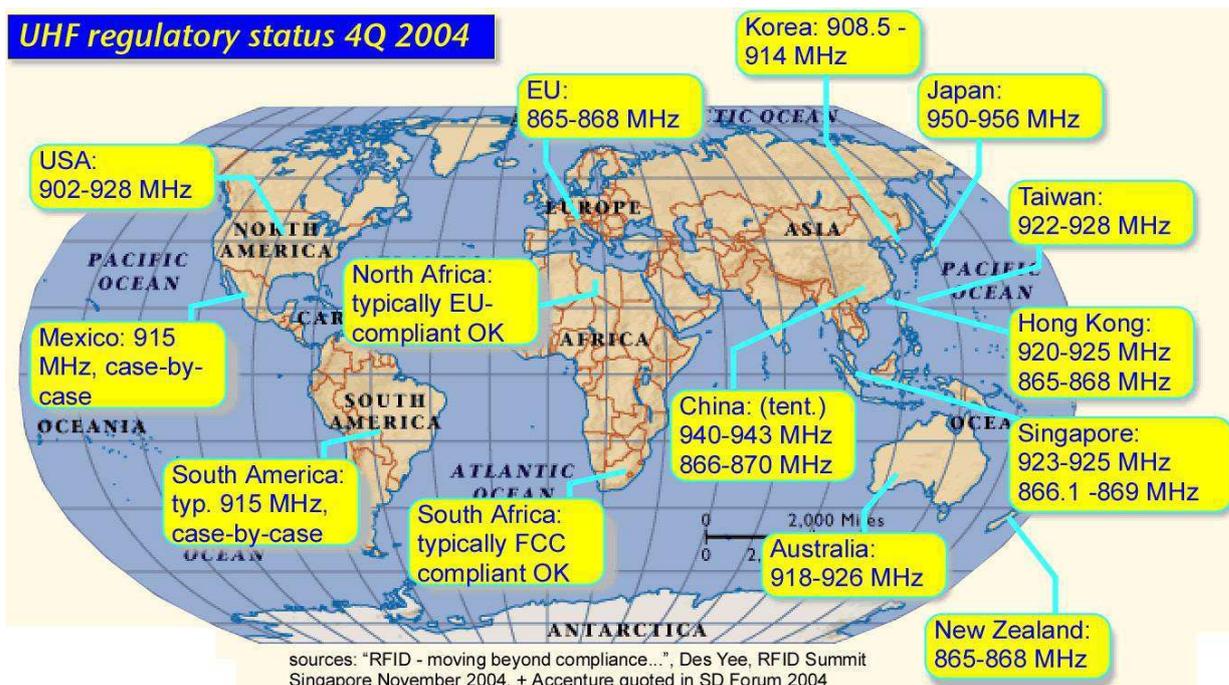


Figura 1: Faixa de frequências da RFID UHF [8]

### 2.1.3 A TAG

A tag RFID proporciona o gerenciamento físico de comunicações (frequência, taxa de transferência, modulação,...), a gestão lógica da troca (protocolo) e o armazenamento de dados. Ela pode ser encontrada em diferentes formas. Suas funções básicas são:

- **Somente leitura:** o identificador é gravado na fabricação do chip, ou durante a programação inicial da tag;
- **Leitura/escrita:** a tag possui uma área de memória regravável; e
- **Anticolisão:** protocolo que permite o reconhecimento e tratamento de várias tags posicionadas no campo de leitura.

A tag RFID é normalmente composta por três elementos: o circuito RF, a antena (braços radiantes) e o substrato.

- **Circuito RF:** é o coração da tag RFID. Este é um ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*), muitas vezes chamado de *chip* RFID ou *chip*. Ele fornece a funcionalidade de um microprocessador. Sua

principal função é transmitir o identificador ou outra informação contida em sua memória.

- **Antena:** o comprimento dos braços radiantes determina o tamanho da tag, pois eles são seus maiores componentes. Eles são responsáveis pela transmissão e recepção de ondas de rádio, permitindo assim a comunicação. Para as tags RFID passivas, a antena também age como um coletor de energia para alimentar o circuito integrado a partir da energia do sinal enviado do leitor.
- **Substrato:** o substrato é o material que sustenta a tag como um todo. O substrato pode ser rígido ou flexível, dependendo da aplicação. O material do substrato influencia significativamente a resposta da tag. Para que a tag possua alto desempenho, a sua concepção deve levar em conta as propriedades do substrato.

No entanto, é possível encontrar tags sem circuito RF, ou seja, sem chip (*chiplless*). Por a tag sem chip não conter nenhum circuito eletrônico ela deve armazenar as informações de identificação na estrutura física, especialmente sua assinatura eletromagnética. O princípio de funcionamento de um radar é, então, usado para ler a tag. No entanto, as tags sem chip têm uma capacidade de armazenamento de dados limitado a poucas dezenas de bits (cerca de 32 bits). Outra desvantagem é a distância relativamente baixa de leitura. Como vantagens pode-se notar o baixo custo de produção, a possibilidade de serem diretamente impressos em produtos, a capacidade de trabalhar em uma ampla faixa de temperaturas e são menos suscetíveis a interferências RF.

Uma equação muito importante para comunicações sem fios é a equação de Friis, a que permite uma avaliação das potências envolvidas na comunicação RF. Aplicada a uma comunicação RFID, essa equação pode ser colocada na forma:

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t \cdot G_r \cdot (1 - |p|^2) |p_r p_t|^2 \cdot \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

$P_r$  = potência recebida pela tag;

$P_t$  = potência transmitida pelo leitor;

$G_r$  = ganho da antena da tag;

$G_t$  = ganho da antena do leitor;  
 $p$  = coeficiente de reflexão na entrada da tag;  
 $p_r$  = vetor unitário de polarização da tag;  
 $p_t$  = vetor unitário de polarização do leitor;  
 $\lambda$  = comprimento de onda;  
 $d$  = distância entre as antenas de leitura e da tag;

O fator  $(1 - |p|^2)$  pode ser visto como a desadaptação de impedâncias entre o chip RFID e a antena da tag. Pode-se definir igualmente o coeficiente de transmissão da tag como:

$$\tau = (1 - |p|^2) = \frac{4R_{\text{chip}}R_a}{|Z_{\text{chip}} + Z_a|^2}, \quad (2)$$

onde  $Z_{\text{chip}} = R_{\text{chip}} + i X_{\text{chip}}$  é a impedância do chip e  $Z_a = R_a + i X_a$  é a impedância dos braços radiantes.

#### 2.1.4 A COMUNICAÇÃO RFID

Quanto a comunicação entre a tag passiva (utilizada neste trabalho) e a estação base, o leitor envia consultas que são moduladas em amplitude e/ou fase de acordo com a norma, por exemplo, o padrão EPCglobal Classe 1 ou 2 Gen ISO 18600. Essas solicitações chegam à fronteira da tag que interpreta graças à sua máquina de estado e, para responder o leitor, utiliza o princípio da modulação reversa (*backscattering*, em Inglês).

O leitor envia o pedido e continua a transmitir a portadora durante um tempo regido pela norma para permitir a tag realizar o *backscattering*.

Num estado de adaptação conjugada (perfeita), a tag absorve o máximo da potência incidente. Em seguida, durante a fase de resposta, a tag varia a sua impedância (alternando entre dois estados de impedância) como no diagrama mostrado na Figura 2.

Esta operação de comutação torna possível modular a onda recebida entre um nível baixo e um nível elevado (modulação da amplitude) pela adição ou não, em paralelo com a antena, de uma carga de desadaptação.

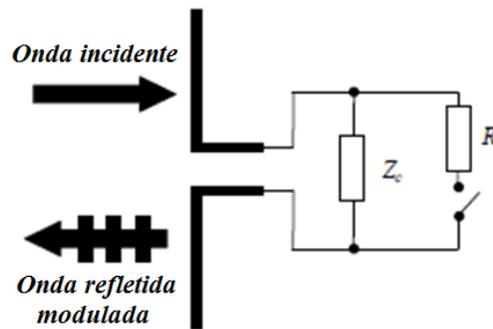


Figura 2: Princípio da modulação de carga

Esta técnica utiliza um princípio de funcionamento de antenas bem conhecido. Na verdade, uma antena excitada por um campo eletromagnético re-irradia uma parte do sinal no espaço: princípio da reflexão. A reflexão da antena varia segundo a impedância do circuito ligado a ela. A tag, fazendo variar a carga nos terminais de sua antena, varia o coeficiente de reflexão da antena, variando assim a quantidade de onda refletida no espaço. Assim, através da modulação da carga, a tag será capaz de modular a portadora que é emitida durante um tempo pelo leitor (tempo que permite a tag de responder) e responde ao pedido do leitor.

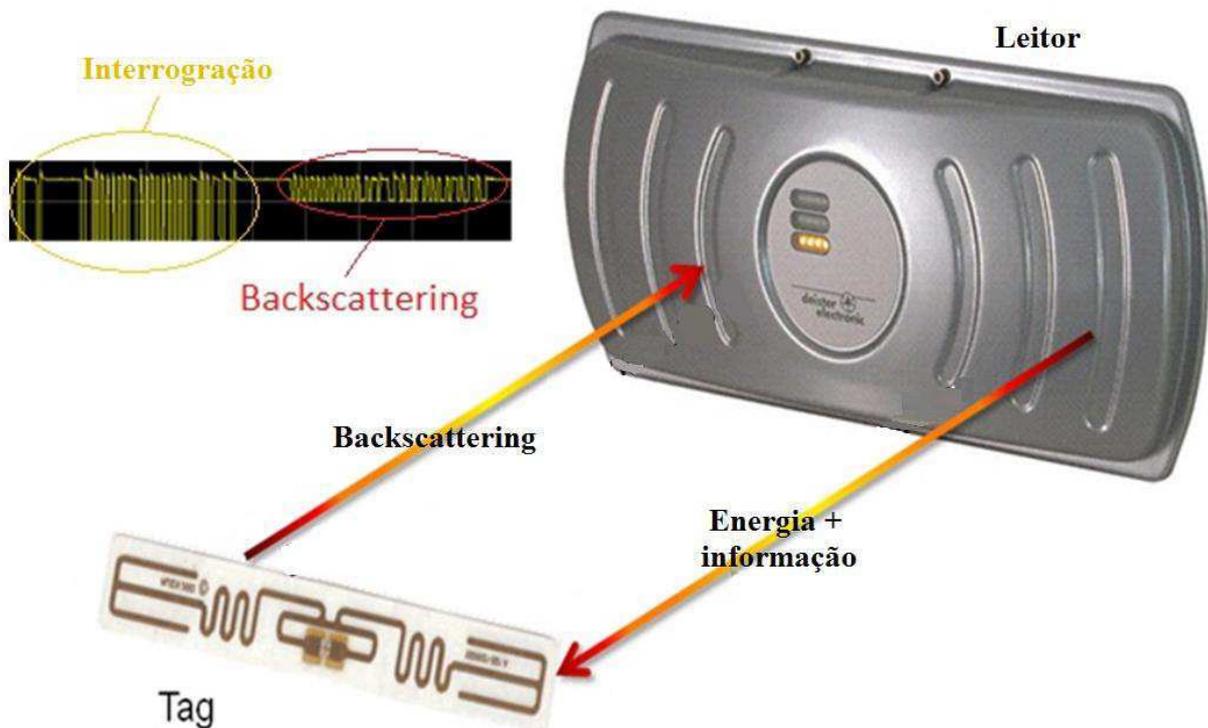


Figura 3: Ilustração da comunicação Leitor/tag

Um conceito importante a saber é a *Power on tag* ( $P_{\text{on-tag}}$ ). Esta é a potência mínima necessária que deve chegar à tag para ativá-la. Portanto, a  $P_{\text{on-tag}}$  pode ser considerada como a sensibilidade da tag.

$$P_{on-tag} = L_{fwd}P_{TS} \quad (3)$$

$L_{fwd}$  é equivalente às perdas devido ao trajeto entre o leitor e a tag e  $P_{TS}$  é a potência transmitida pelo leitor para a ativação da tag.

## 2.2 SENSORES

### 2.2.1 INTRODUÇÃO

O sensor é um dispositivo que reage especificamente de um modo mensurável a uma característica física ou química. Por exemplo, um termômetro de mercúrio, em que a variação da temperatura varia de acordo a expansão do mercúrio, pode ser medida por uma marcação no tubo de vidro. Quando um sensor converte um tipo de energia em outro pode ser chamado de um transdutor, por exemplo, a conversão de um sinal mecânico num sinal elétrico. Esta transformação pode ser diretamente entre duas grandezas, ou indiretamente, envolvendo outras.

Existem várias maneiras de usar os sensores, as duas principais são:

- **Medição contínua:** o sensor envia um sinal no qual a amplitude ou a frequência varia em proporção direta com a quantidade medida.
- **Detecção de limiar:** o sensor varia sua resposta quando a grandeza medida excede um nível predeterminado.

Os sensores são usados em quase todos os objetos do cotidiano. As aplicações incluem automóveis, máquinas industriais, aeroespacial, indústria e robótica. Existem também inúmeras aplicações menos conhecidas, tais como botões de elevador táteis, botões de lâmpadas e muitos outros.

### 2.2.2 MODO DE FUNCIONAMENTO

Os sensores podem ser divididos em dois modos: ativo e passivo.

- **Sensor ativo:** falamos de sensor ativo quando o fenômeno físico, que é usado para a determinação da grandeza medida, realiza diretamente a transformação em uma grandeza elétrica.

Tabela 1: Exemplos de sensores ativos

Grandeza física a medir	Efeito utilizado	Grandeza de saída
Temperatura	Termoeletricidade	Tensão
Temperatura	Piroeletricidade	Carga
Fluxo de radiação óptica	Foto emissão	Corrente
Fluxo luminoso	Efeito fotovoltaico	Tensão
Fluxo luminoso	Efeito fotoelétrico	Tensão
Força ou pressão	Piezelétrico	Carga
Aceleração ou velocidade	Indução eletromagnética	Tensão
Posição ou Corrente	Efeito Hall	Tensão

- **Sensor Passivo:** eles precisam na maioria dos casos de energia externa para funcionar (por exemplo, termistor, fotoresistor, potenciômetro, etc.). Estes são sensores modelados como uma impedância. Uma variação do fenômeno físico em estudo (medido) gera uma variação na impedância. A impedância e suas variações não são mensuráveis a não ser integrando o sensor num circuito elétrico alimentado, que constitui seu condicionador. O condicionador é inseparável de seu sensor.

### 2.2.3 TIPOS DE SENSORES

Os sensores também podem ser classificados pelo tipo de saída: analógica, digital e lógica.

- **Sensores analógicos:** a saída é uma grandeza elétrica que seu valor é proporcional à variável física medida pelo sensor. O sinal entregue pelos sensores analógico pode ser do tipo tensão ou corrente. Por exemplo, o par termoelétrico.
- **Sensores digitais:** a saída é uma sequência de estados lógicos, que normalmente formam um número. O sinal pode ser do tipo trem de impulsos, código digital binário, fieldbus,... Por exemplo: *encoders* incrementais e *encoders* absolutos.

- **Sensores lógicos:** a saída é um estado lógico (1-alta ou 0-baixa). O sinal pode ser do tipo corrente presente/ausente num circuito, potencial (ex.: 5 V/0 V), luminoso (ligado/desligado), ... Por exemplo: sensores de fim de curso e sensores de quebrar de feixe luminoso.

#### 2.2.4 SENSOR SEM FIO

Um sensor sem fio é um dispositivo que combina a funcionalidade de um sensor com a flexibilidade dos dispositivos sem fio, assim como a capacidade de processamento de dados, a transmissão e/ou comunicação com outros dispositivos sem fio.

A resposta enviada pelo sensor sem fio é interpretado pelo leitor que transforma o sinal recebido num determinado sinal de saída, como uma corrente analógica ou dados digitais.

Sensores sem fio são importantes porque oferecem muitas vantagens. Dentre elas, pode-se citar:

- Eles podem ser usados em lugares que são de difíceis acessos, devido às condições extremas, tais como alta temperatura, pH , pressão, ... Graças aos sensores sem fios, os operadores podem monitorizar continuamente os processos em ambientes perigosos e apresentar os dados a um operador de uma instalação situada a uma distância segura.
- Eles podem ser usados para formar uma rede (Intranet / Internet), a qual permite a um operador supervisionar certo número de lugares diferentes numa única estação. Isto proporciona um controle centralizado de uma usina.
- O controle de processo sem fio pode reduzir o custo de monitoramento e gerenciamento de uma fábrica, eliminando a necessidade de conexões com fio e outros acessórios caros.

Tecnologias sem fio normalmente utilizados para sensores sem fio são *Wi-Fi*, *ZigBee*, *Bluetooth* e agora, trabalhos envolvendo os sensores RFID estão em pleno desenvolvimento.

### **2.2.5 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA TEMPERATURA**

Neste trabalho é estudado um sensor de temperatura RFID. São discutidos primeiramente os métodos para a medição da temperatura.

#### **a. Termômetro**

A medição de temperatura pode ser baseada na dilatação e na pressão de corpos (sólidos, líquidos ou gasosos), ou qualquer outra propriedade física que varia com a temperatura. Este princípio geral está aplicado em muitas maneiras diferentes de acordo com a necessidade (para medir intervalos de temperatura, natureza dos materiais a estudar, etc.). Termômetros a líquido usuais são termômetros a mercúrio e termômetros a álcool, mas também é possível encontrar termômetros de óleo de colza.

#### **b. Termopar**

O princípio de um termopar é baseado em dois metais. Os dois metais A e B, de tipos diferentes, são ligados por duas junções (formando, assim, um termopar) as temperaturas de  $T_1$  e  $T_2$ . Pelo efeito de Seebeck, o termopar gera uma diferença de potencial que depende da diferença de temperatura entre as junções,  $T_1 - T_2$ . Os termopares não medem a temperatura, mas a diferença de temperaturas. Para medir uma temperatura desconhecida, uma das duas junções deve ser mantida a uma temperatura conhecida, tal como a de gelo fundente ( $0^\circ\text{C}$ ). É também possível que essa temperatura de referência seja medida por um sensor (temperatura ambiente, por exemplo). A medição de temperatura é, então, uma medida indireta, devido aos termopares medirem na verdade a diferença de potencial elétrico. Por conseguinte, é necessário o conhecimento da resposta do termopar utilizado em função da temperatura para ser capaz de fazer a relação da diferença de potencial elétrico com a diferença de temperatura. A precisão da medida depende fortemente, então, do voltímetro utilizado.

#### **c. Pirômetros ópticos**

A pirometria óptica é um método de medir a temperatura com base na relação entre a temperatura de um corpo e a radiação óptica (visível ou infravermelha) que este corpo emite. Então, os sensores utilizados são os sensores ópticos, fotoelétricos ou

térmicos. A vantagem do pirômetro óptico é permitir a determinação da temperatura sem contato com o objeto, por isso, é um método apropriado quando as condições experimentais não permitem a utilização de sensores termométricos convencionais:

- Temperatura muito elevada (acima de 2000°C);
- Medição à distância;
- Meio muito agressivo;
- Equipamentos em movimento;
- Localização de pontos quentes.

O princípio é simples: todos os corpos emitem espontaneamente e continuamente radiação eletromagnética cujo espectro contínuo tem uma distribuição de energia em função da temperatura: a radiação térmica. As leis desta emissão são, primeiramente, estabelecidas para um corpo ideal, corpo negro, caracterizado por uma absorção total de toda a radiação incidente; a radiação térmica de um corpo real, de acordo com a sua capacidade de absorção, se aproxima mais ou menos do corpo negro.

#### **d. Termistor**

Um termistor é um aglomerado de óxidos metálicos sintetizados, isto é, compactado por alta pressão exercida a uma temperatura elevada, da ordem de 150 bar e 1000°C. A composição de um termistor pode ser, por exemplo:

- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (óxido de ferro);
- MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (aluminato de magnésio);
- Zn<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> (titânio de zinco).

A resistência elétrica de um termistor é muito sensível à ação da temperatura. Existem dois tipos de termistores, os de coeficiente de temperatura negativo (NTC), e os de coeficiente de temperatura positivo (PTC).

As equações da resistência em função da temperatura para os dois casos são diferentes, enquanto que a equação é linear no PTC:

$$R(T) = R(T_0)(1 + \alpha\Delta T). \quad (4)$$

A equação para o NTC é não linear:

$$R(T) = R(T_0)e^{-B/T_0}e^{B/T}, \quad (5)$$

onde,  $R(T)$  representa a resistência à temperatura  $T$ ,  $R(T_0)$  é a resistência à temperatura  $T_0$  e  $\alpha$  e  $B$  são os coeficientes de temperatura.

## **3 SENSOR RFID**

### **3.1 INTRODUÇÃO**

Os sensores RFID são sensores sem fio que usam a tecnologia RFID para comunicação com outros dispositivos sem fio. Eles têm todos os benefícios do RFID para identificação das peças, incluindo a leveza e tamanho pequeno combinado com um baixo custo.

Pode-se introduzir um sensor de temperatura em uma tag RFID e fazer a comunicação entre o chip RFID e o sensor com um microprocessador, mas para isso, deve-se incluir o sensor no chip RFID e/ou usar uma bateria para alimentar o sensor. Devido à simplicidade de implementação, neste trabalho modificará a estrutura da antena de modo a torná-la sensível à temperatura. Isto vai resultar numa alteração na sua impedância equivalente e, por conseguinte, as propriedades da retro modulação. Pode-se então mudar o nível do sinal retro modulado ou a frequência de ressonância da antena da tag dependendo da temperatura. É esta abordagem que se irá avaliar por simulação e experimentalmente.

Primeiramente se fará uma síntese dos trabalhos encontrados na literatura, em seguida, se desenvolverá estruturas próprias.

### **3.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA: ESTADO DE ARTE**

#### **3.2.1 “RFID TAG ANTENNA BASED TEMPERATURE SENSING IN FREQUENCY DOMAIN” [1]**

Este artigo apresenta um sensor de temperatura, sem fio, usando uma antena RFID UHF na faixa de frequências 902-928 MHz. Ele funciona como um detector de limiar e responde na faixa de 920-925 MHz. Quando a temperatura ultrapassa um determinado valor limite ele responde na faixa 907-912 MHz. A mudança de estado é preservada através de um mecanismo de memória não-elétrico.

Seu princípio de funcionamento é dado da seguinte forma: ele usa o fator  $\tau$  da equação 2 para mudar a faixa de frequência em que a antena responde. Isto é devido à alteração na adaptação de impedâncias entre a antena e o chip RFID. Normalmente é desejado  $\tau$  o mais próximo da unidade para que se obtenha uma distância de leitura a maior possível ou uma potência de ativação a menor possível para uma dada distância.

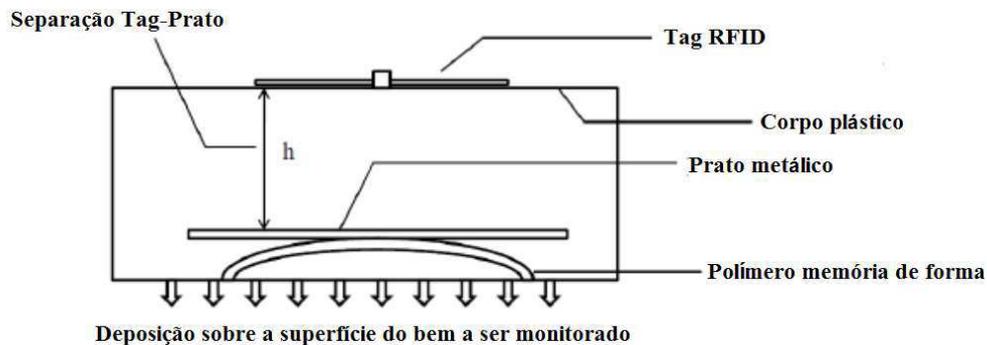


Figura 4: Componentes do sensor [1] (adaptado)

Sabe-se que  $Z_a$  e  $Z_{chip}$  (equação 2) são dependentes da frequência de trabalho da tag. Então, ao alterar  $Z_a$  com a violação do valor limite da temperatura irá mudar a frequência para a qual o parâmetro  $\tau$  mais se aproxima de um. Na figura a seguir pode-se ver a mudança na frequência central que o  $\tau$  terá valor mais próximo de 1. Ou seja, a antena terá uma maior absorção de energia numa frequência diferente do caso original.

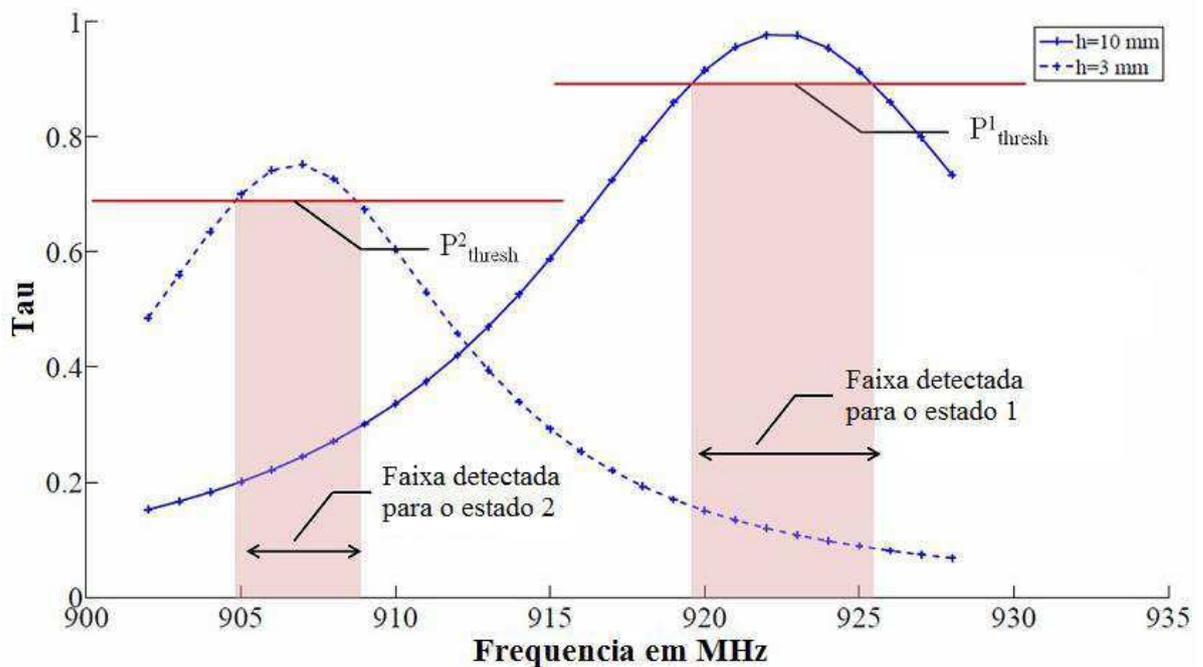


Figura 5: tau em função da frequência para os dois estados da tag [1] (adaptado)

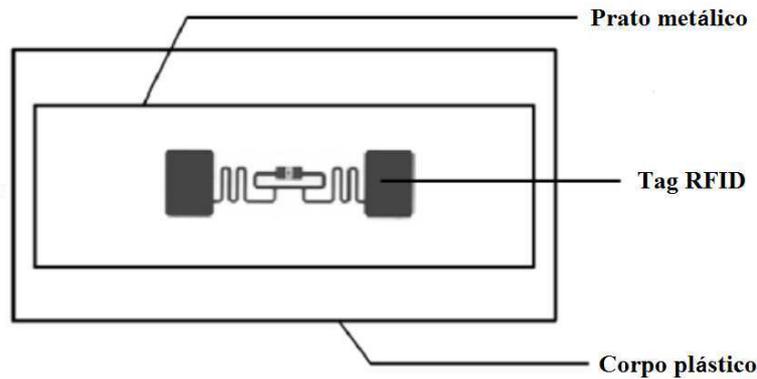


Figura 6: Componentes do sensor, vista de cima [1] (adaptado)

É usado um SMP (*Shape Memory Polymer*, polímero de memória de forma) que varia a sua altura quando uma temperatura predefinida é obtida. Esta modificação conduz a uma alteração na distância  $h$  entre uma placa de metal e a antena, criando assim uma capacitância parasita. Ela faz variar a impedância  $Z_a$  quando houver violação do valor limiar da temperatura.

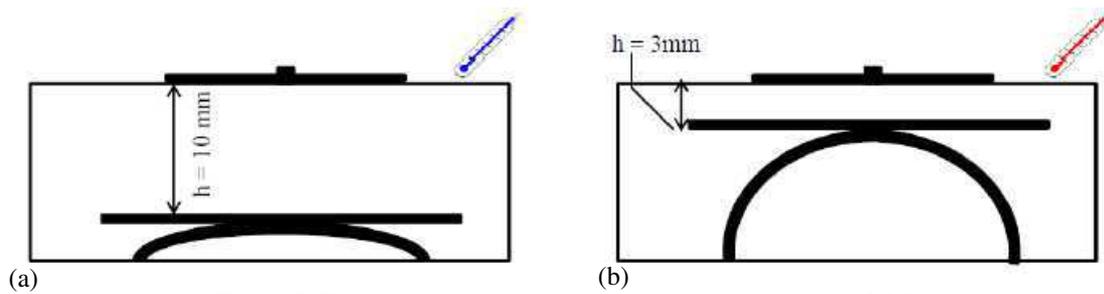


Figura 7: Elevação da placa metálica; a) estado 1 ; b) estado 2 [1]

### 3.2.2 “TEMPERATURE SENSOR TAG FOR PASSIVE UHF RFID SYSTEMS” [2]

Este artigo apresenta um sensor de temperatura RFID UHF passivo feito com componentes disponíveis comercialmente. O princípio é o mesmo, a ideia é mudar a impedância  $Z_a$  para que a frequência de operação da tag varie devido à desadaptação com a impedância do chip RFID  $Z_{chip}$ . No entanto, neste caso é utilizada água destilada para alterar a impedância devido à dependência da sua permissividade relativa com a temperatura.

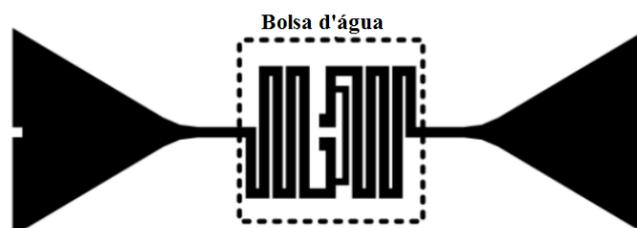


Figura 8: A tag [2] (adaptado)

A variação no valor da permissividade relativa da água provoca uma alteração na capacitância parasita no local indicado na Figura 8, que perturba a antena. Devido ao fato desta variação ser linear e bem definida com a temperatura podem-se ter diferentes frequências de trabalho para cada temperatura.

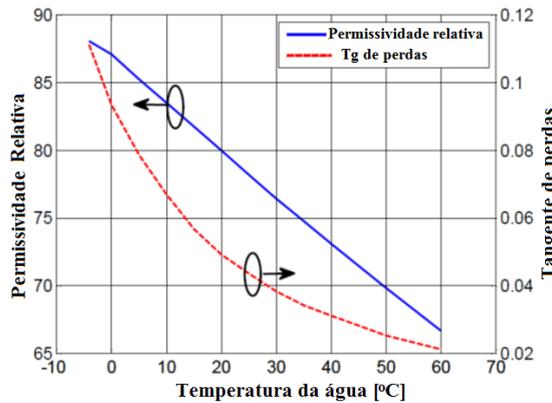


Figura 9: Constante dielétrica da água em função da temperatura [2] (adaptado)

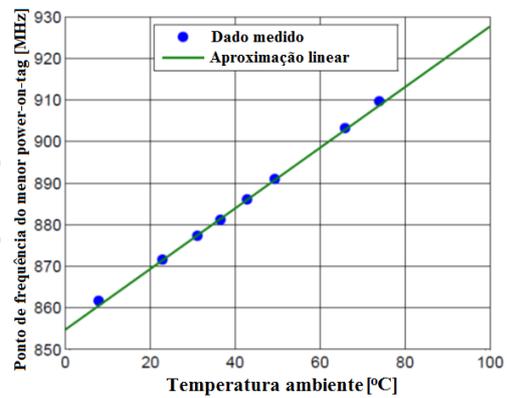


Figura 10: Frequência de operação em função da temperatura [2] (adaptado)

### 3.2.3 “INKJET-PRINTED HUMIDITY SENSOR FOR PASSIVE UHF RFID SYSTEMS PROPOSITIONS” [3]

Este artigo apresenta um sensor RFID UHF passivo para o parâmetro de umidade. Ele usa um princípio semelhante ao item destacado na seção 3.2.1. A antena de uma das faces do substrato e os elementos para ter uma capacitância parasita na outra face. A diferença é que, neste artigo, a distância entre a antena e a parte responsável pela capacitância parasita não muda.

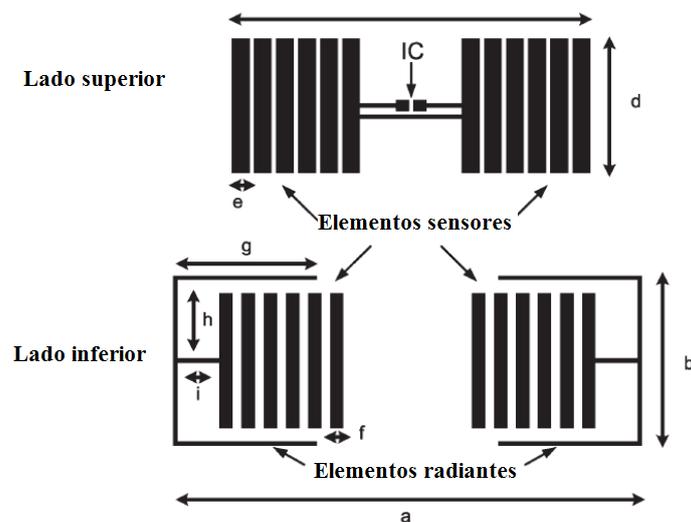


Figura 11: A tag dos dois lados do substrato [3] (adaptado)

A parte responsável pela mudança de capacitância parasita e, por consequência, a impedância da antena, é o substrato. O substrato utilizado é Kapton e ele tem uma dependência da permissividade relativa com a umidade.

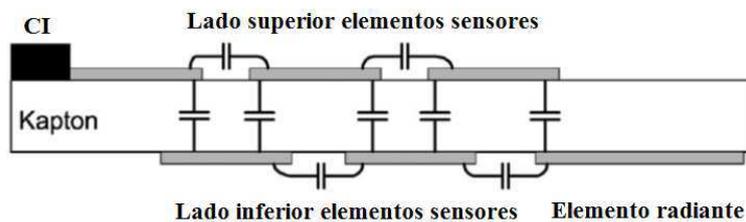


Figura 12: Capacitâncias parasitas na tag [3] (adaptado)

A dependência da permissividade com a umidade resulta numa variação da frequência de funcionamento da tag de acordo com a umidade, como pode ser visto na figura abaixo.

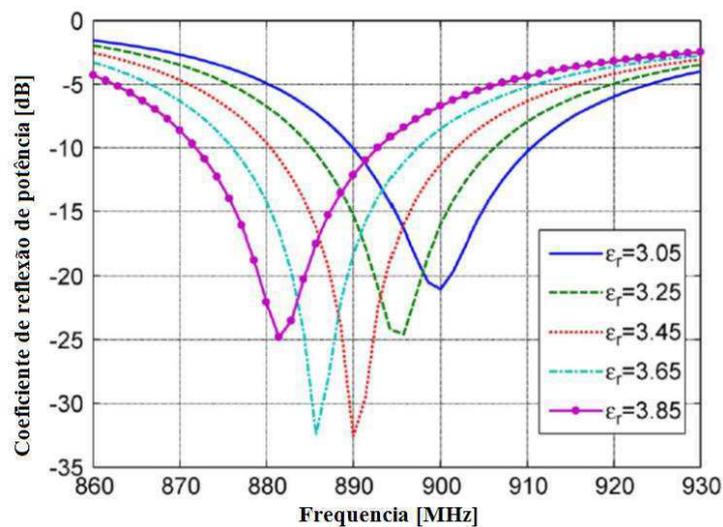


Figura 13: Coeficiente de reflexão em função da frequência com a variação da constante dielétrica [3](adaptado)

Para criar um sensor de temperatura baseado no conceito deste artigo, é apenas necessário encontrar um substrato que sua constante dielétrica varie de maneira bem definida no que diz respeito à temperatura. Após uma pesquisa descobriu-se que o Kapton tem uma variação linear entre 0 a 200°C, mas com uma baixa sensibilidade. Outros substratos com melhores sensibilidades são: o terpolímero Poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene-chlorofluoroethylene),  $\text{Ag}(\text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_3$ -based cerâmico e madeira da seringueira.

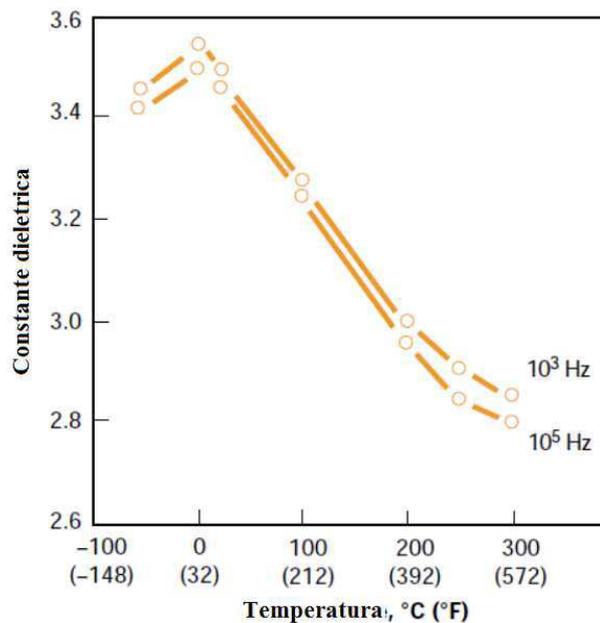


Figura 14: Constante dielétrica do Kapton em função da temperatura [13] (adaptado)

### 3.3 PROPOSTAS

#### 3.3.1 AK-TAG

Foram encontrados na literatura vários métodos para a medição de uma grandeza física utilizando uma tag RFID UHF passiva. Em virtude da sua facilidade e flexibilidade de implementação, os métodos propostos neste trabalho utilizou-se da Ak-TAG.

A ak-tag é uma tag criada pela empresa TAGSYS. Ela usa o chip Monza 5 e protocolo EPCglobal Classe 1 Gen 2 e ISO 18000-6C. Ela é projetada para ser acoplada a uma antena secundária, mas sem contato físico direto. Na verdade, existe um acoplamento EM (eletromagnético) entre a ak-tag e a antena da tag (também conhecido como uma antena secundária).

A ak-tag além do chip RFID possui um laço de cobre/alumínio, esse laço é o responsável pela adaptação da parte reativa da impedância da antena com a parte reativa do chip. Resultando numa frequência de operação fixa de 915 MHz. A parte resistiva da adaptação cabe então para a antena secundária.



Figura 15: Ak-tag [12]

### 3.3.2 TOPOLOGIA A TERMISTOR NO BRAÇO RADIANTE (TBR)

Como já encontrado em muitas publicações, decidiu-se utilizar o conceito de mudança de impedância da antena, devido à variação de temperatura. Contudo, mudar-se-á a parte real da impedância (resistência), desta forma não vai haver mudança na frequência de operação. Com a alteração da parte real será mudado o coeficiente de reflexão da antena, por conseguinte, o valor da energia de ativação.

Uma maneira simples de alterar a resistência da antena de acordo com a temperatura é a de adicionar um termistor no nível da antena. Esta topologia pode ser utilizada tanto para o limite de detecção quanto para a medição analógica da temperatura.

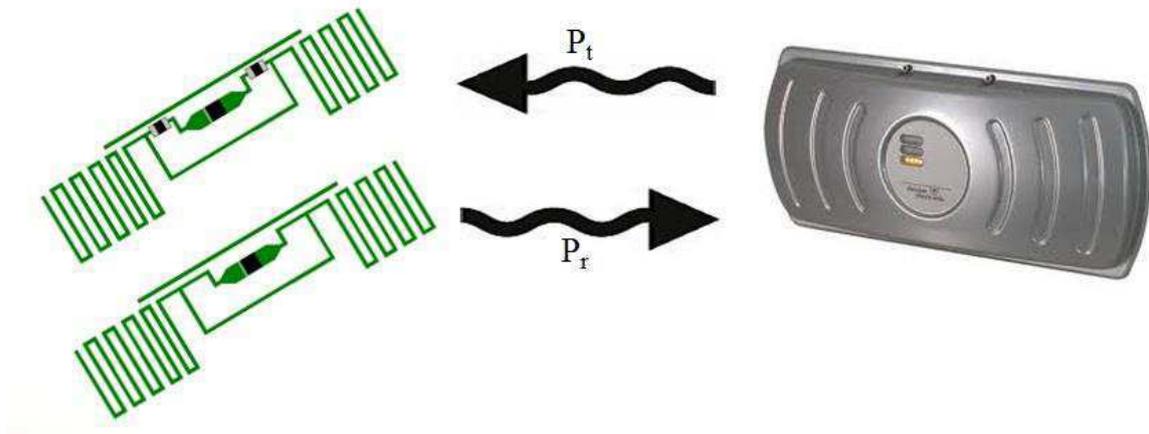


Figura 16: Princípio utilizando a tag de referência

É preciso de uma tag sem termistor para ambos os métodos. Esta será a tag de referência ( $T_{ref}$ ). Para a detecção de limiar, a tag de referência tem de ter o mesmo valor da impedância que a tag com termistor ( $T$ ) para a temperatura desejada. Assim, se para uma potência  $P_t$ , a tag  $T_{ref}$  responde e a tag  $T$  não responde sabe-se que a temperatura está abaixo da temperatura de referência. Se ambas as tags responderem pode-se concluir que a temperatura é superior ou igual à temperatura de referência.

Para a medição contínua deve-se medir a potência refletida pelas duas tags. Então é possível medir a temperatura, comparando as duas potências de reflexão.

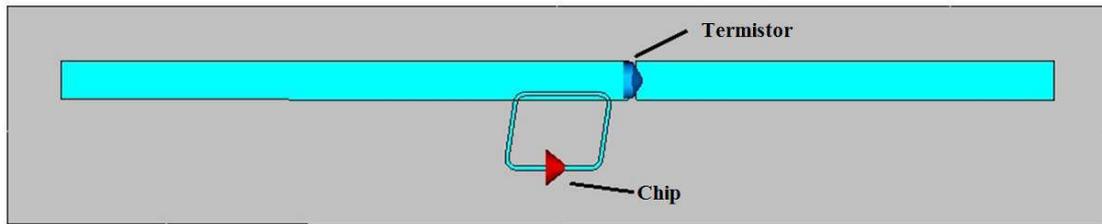


Figura 17: A tag com o termistor no braço radiante

### 3.3.3 TOPOLOGIA A TERMISTOR NO LAÇO (TL)

Esta topologia é semelhante a topologia TBR, com uma diferença, o termistor está localizado na ak-tag diretamente. A principal diferença é que, neste caso, o termistor está colocado diretamente em série com o chip. Assim, deve-se ter uma maior sensibilidade.

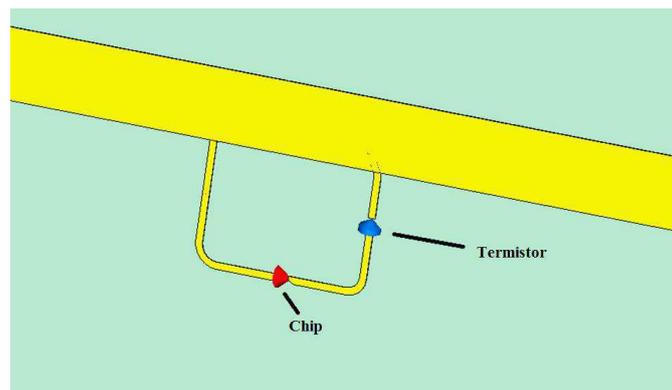


Figura 18: Termistor no laço

### 3.3.4 TOPOLOGIA A LAÇO EM MEIO AQUOSO (LMA)

Usando o mesmo princípio do artigo da seção 3.2.2, entretanto, utilizando a ak-tag foi feita a topologia mostrada na Figura 19. No centro da tag, onde é localizada a ak-tag, foi inserida uma bolsa de água objetivando modificar a impedância  $Z_a$  em função da temperatura.

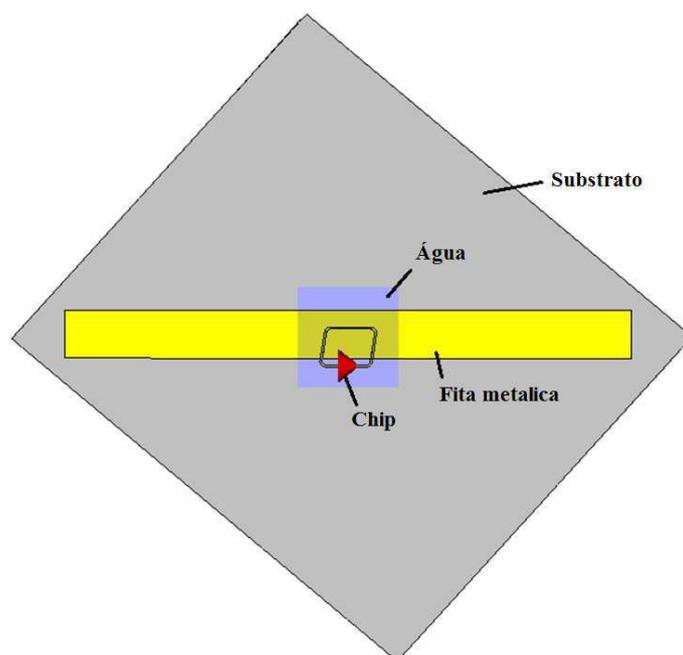


Figura 19: A tag com o laço em meio aquoso

## 4 RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Para fazer as simulações foi utilizado o CST microwave studio 2010. O CST é um simulador 3D eletromagnético muito poderoso. Existe a possibilidade de fazer as simulações no domínio do tempo ou no domínio da frequência.

### 4.1 TOPOLOGIA TBR

Primeiro, fez-se simulações para uma tag cuja forma é mostrada na Figura 17. A Figura 20 mostra os resultados para vários valores de termistores (valores normais encontrados nos fornecedores). Pode-se ver que existe uma variação na energia de ativação de acordo com a temperatura. Além disso, nota-se que para o termistor de  $68\Omega$  obtém-se a maior sensibilidade (definida como a variação na potência em função de uma variação na temperatura).

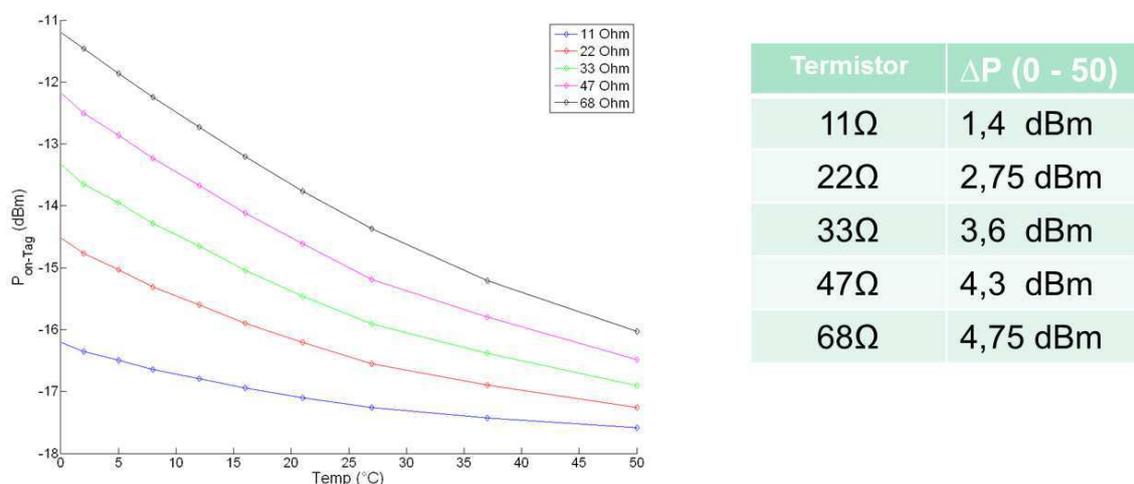


Figura 20: Mudança da Power-on-tag com a temperatura para os diferentes valores de termistores

Com o termistor escolhido, foi feita a simulação para a tag utilizada na parte experimental e mostrado na Figura 21. Esta tag é formada pela ak- tag, constituída por um laço primário de alumínio e um chip Monza 5 de impedância  $Z_{chip} = 14,56 - j161,25$  (dados do fabricante) para a frequência de 915 MHz. O laço primário tem o papel de compensar a capacitância do chip na frequência de 915 MHz. O elemento radiante, por sua vez é feito por uma fita de cobre. O substrato é um plástico com constante dielétrica

relativa de 4,3. O termistor NTC é o NCP15XC680J03RC que tem uma resistência de  $68\Omega$  à temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ .

Os resultados, depois de um estudo paramétrico para obter uma frequência de operação próxima de 915 MHz são mostrados nas Figuras Figura 22 e Figura 23. Pode-se ver que, quando há um aumento na temperatura, há uma melhor adaptação. O ganho da marcação também aumenta com a temperatura. Estes dois fatores contribuem para obter potências de ativação menores, como mostrado na Figura 23. A sensibilidade é de cerca de  $0,08 \text{ dBm}/^{\circ}\text{C}$ .

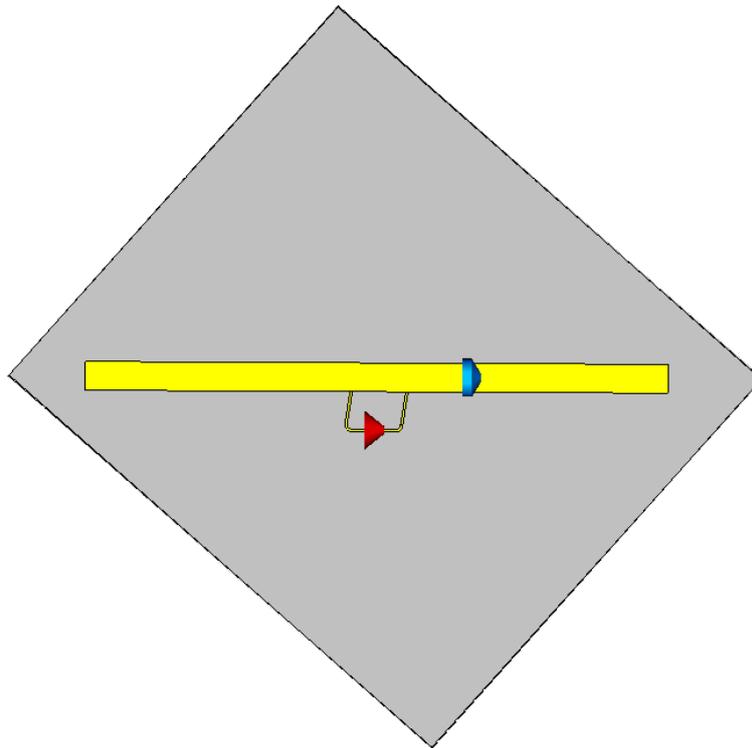


Figura 21: A tag TBR com o substrato plástico

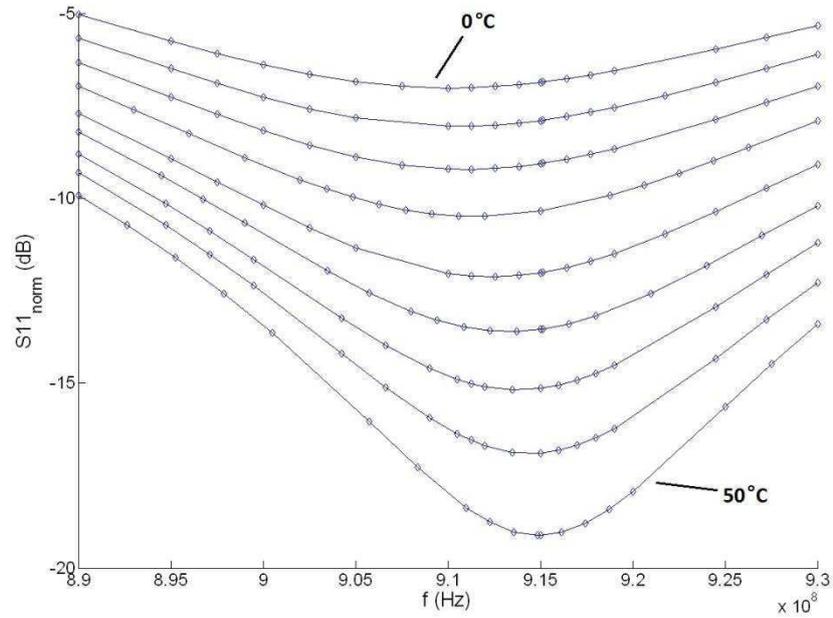


Figura 22: Resposta do coeficiente de reflexão em função da frequência na topologia TBR

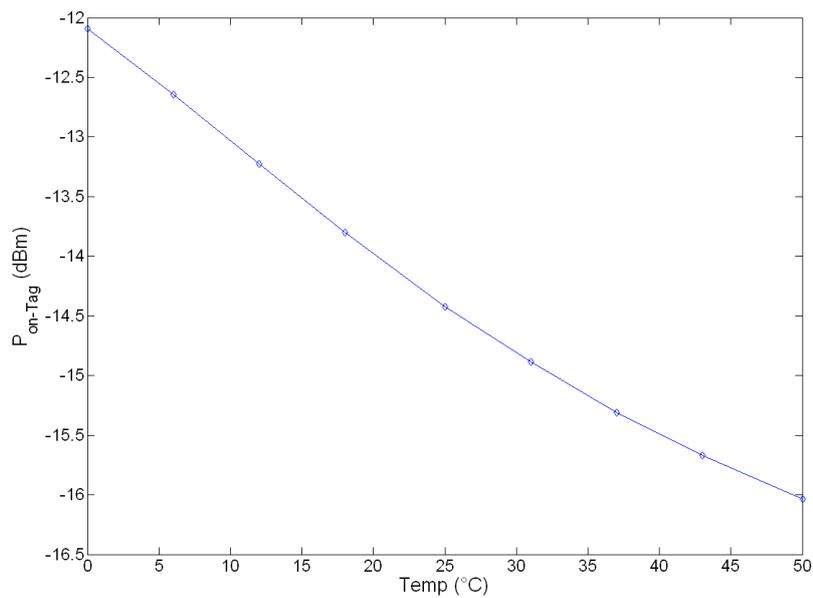


Figura 23: Power-on-tag em função da temperatura para a topologia TBR

## 4.2 TOPOLOGIA TL

Para a topologia TL (o termistor é colocado no laço da ak-tag diretamente) mostrado na Figura 18, fez-se a simulação com outro termistor: NCP15XC220E03RC, NTC,  $22\Omega$  a  $25^{\circ}\text{C}$ . A mudança do termistor é necessária para obter uma maior

sensibilidade na variação da resistência quando o termistor está localizado no laço. Depois de um estudo paramétrico, obtêm-se os resultados apresentados nas Figuras Figura 24 e Figura 25.

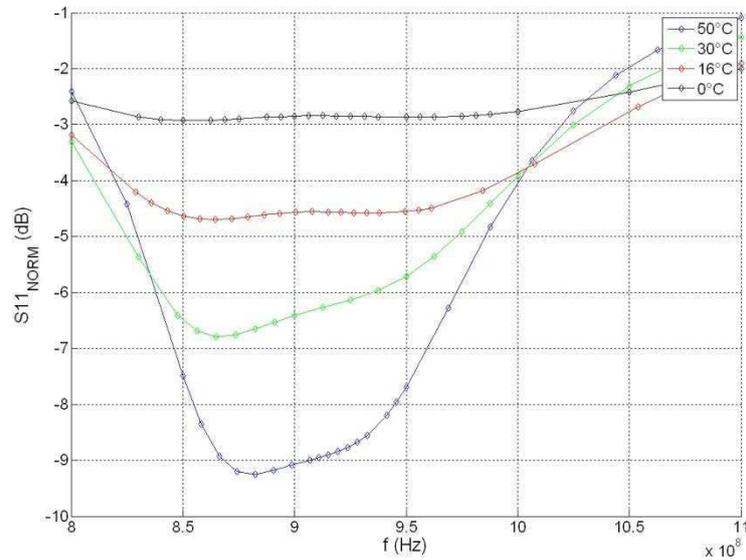


Figura 24: Resposta do coeficiente de reflexão em função da frequência para a topologia TL

Pode-se notar que a banda de frequência na resposta da tag é maior e que tem uma maior sensibilidade: 0,148 dBm/°C.

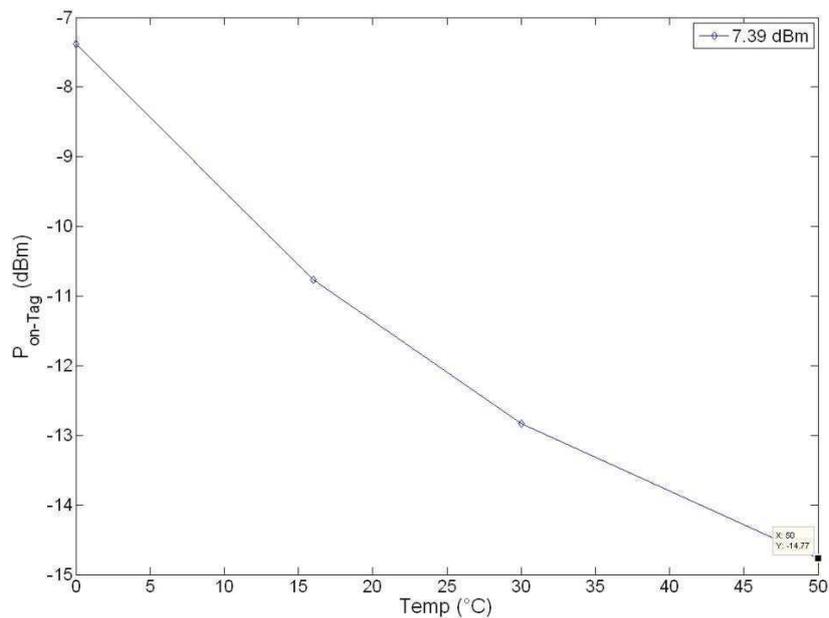


Figura 25: Power-on-tag em função da temperatura para a topologia TL

### 4.3 TOPOLOGIA LMA

Foram feitas simulações com a tag mostrada na Figura 19. Faz-se sempre um estudo paramétrico para uma frequência de operação entre 902 e 928 MHz. Levou-se em conta a alteração na constante dielétrica da água como uma função da temperatura dada na Figura 9. Os resultados são mostrados nas Figuras Figura 26 e Figura 27.

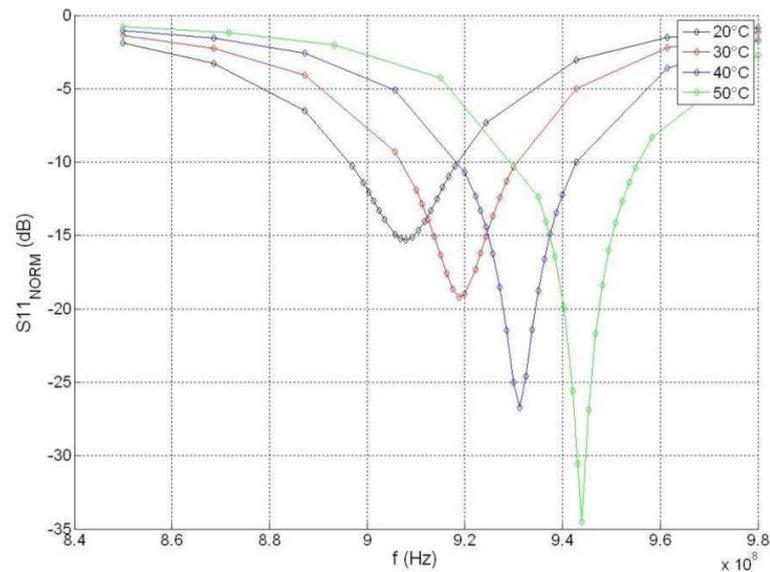


Figura 26: Resposta do coeficiente de reflexão em função da frequência para a topologia LMA

Pode-se observar a partir destes resultados que se alterou a frequência de operação em relação à temperatura. Notou-se uma sensibilidade de 1,2 MHz/°C.

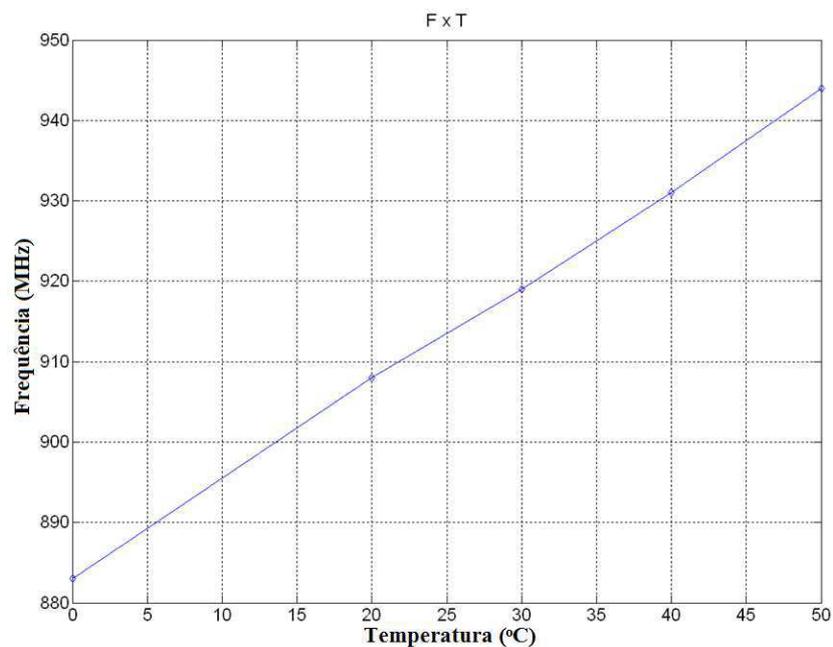


Figura 27: Frequência de operação em função da temperatura para a topologia LMA

## 5 MEDIÇÃO E EXPERIMENTOS

Todas as medições neste trabalho foram feitas em uma câmara anecóica. Na parte prática, foram utilizados um computador portátil conectado a um gerador de sinais para gerar o sinal de interrogação, este é enviado através de uma antena corneta orientada em direção a tag, uma segunda antena corneta é utilizada para receber a resposta da tag. A segunda antena é conectada a um osciloscópio utilizado para visualização e pós-tratamento da resposta.

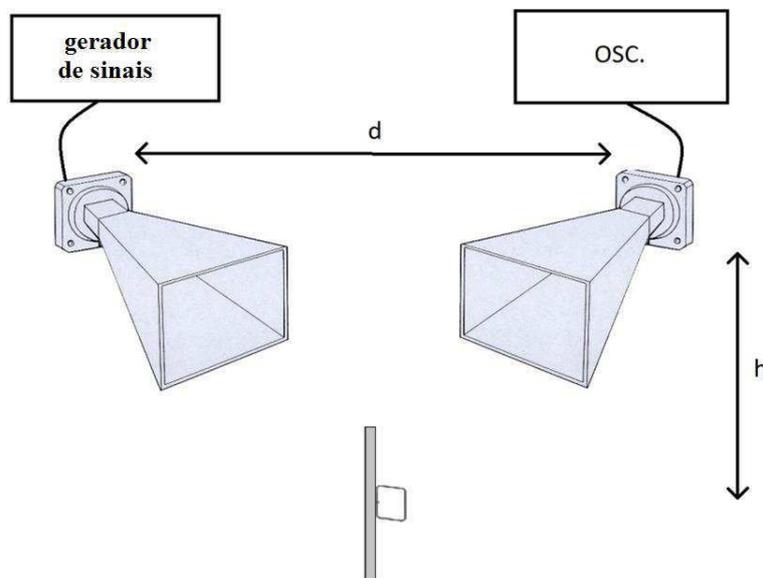


Figura 28: Esquema de medição

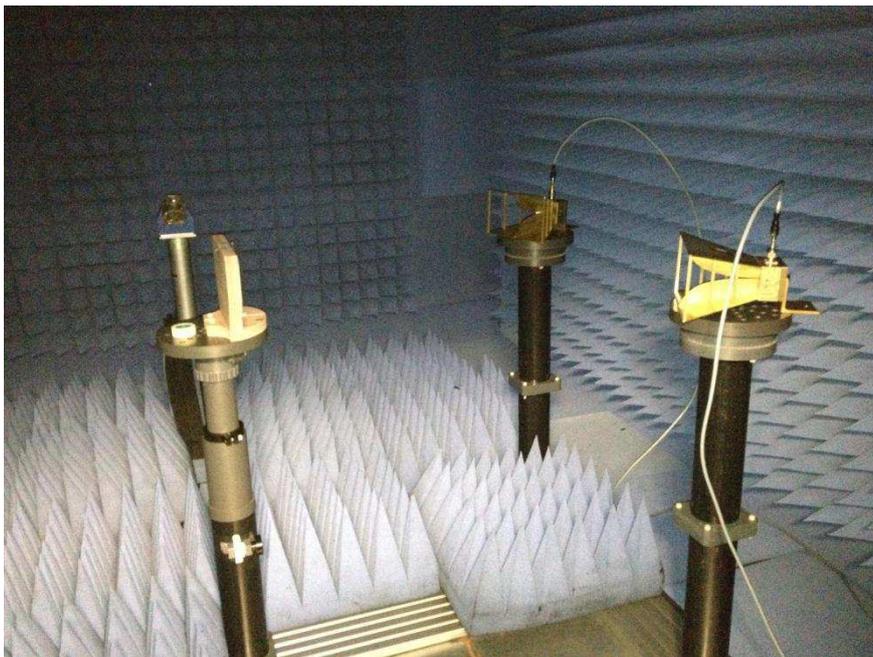


Figura 29: Esquema de medição na câmara anecóica

Começou-se por medir a tag sem quaisquer alterações. Apenas a ak-tag e a fita de metal como braços radiante (Figura 31).

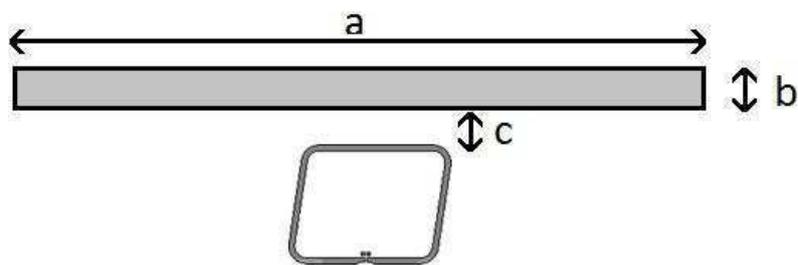


Figura 30: Parâmetros da tag

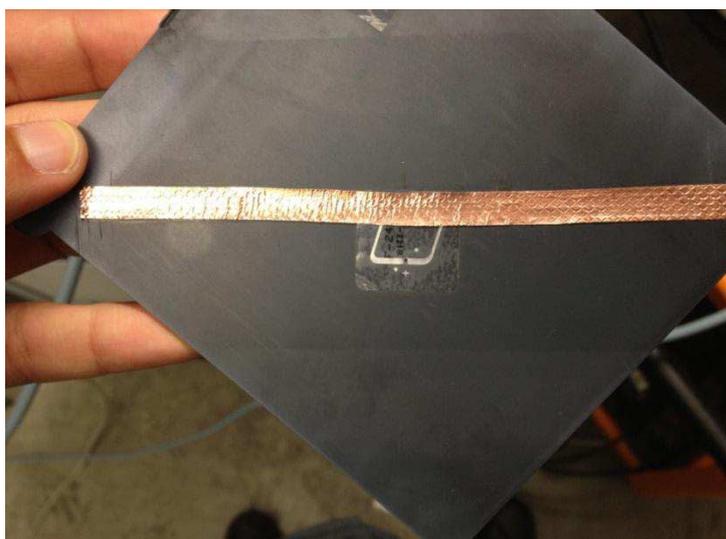


Figura 31: Foto da tag virgem

Os parâmetros a, b e c são, respectivamente, 125,5 mm, 6,25 mm e -2 mm. Os parâmetros d e h da Figura 28, são, respectivamente, 56 cm e 60 cm .

À temperatura ambiente da câmara anecóica (cerca de 20°C), foi procurada a frequência de trabalho que corresponde a menor potência de ativação (energia fornecida pelo gerador). A frequência encontrada foi a de 931 MHz com a potência ativação de 5,73 dBm.

Com um secador de cabelo, foi aumentada a temperatura da tag a uma temperatura próxima a 55°C. A nova potência de ativação medida foi de 6,60 dBm. Depois, desligou-se o secador de cabelo e observou-se uma diminuição na potência de ativação. Depois de 2 minutos ela era de 6,41 dBm e depois de 13 m 43 s era de 5,84 dBm.

Pode ser notado que com apenas a tag já se tem uma variação na potência de ativação de 0,87 dBm para uma mudança na temperatura em 35°C. Presumivelmente, esta alteração pode ser devido à alteração na impedância do chip, dependendo da temperatura.

## **5.1 TOPOLOGIA TBR**

Primeiramente usaram-se resistores (50Ω e 100Ω) no lugar do termistor para verificar os resultados. Foi obtido com a resistência de 50 Ω uma potência de ativação de 10,65 dBm para a frequência de 930 MHz. Com a resistência de 100 Ω, foi obtido 12,51 dBm. Estes resultados confirmam os valores encontrados nas simulações.



Figura 32: Foto da tag com termistor

Em seguida foi usado um termistor de  $68 \Omega$  em substituição aos resistores. As medições deram uma potência de ativação de 9,12 dBm (termistor com  $60 \Omega$ ) à temperatura ambiente. Para uma temperatura de  $55^{\circ}\text{C}$  foi obtido uma potência de 8,95 dBm (termistor com  $26 \Omega$ ).

Pode notar-se que a mudança na temperatura provoca uma alteração na potência de ativação para a tag sem termistor. Esta variação é contrária à variação da potência para a tag com termistor.

Pode-se concluir, portanto, que o comportamento do chip reduz o efeito de variação desejado encontrado nas simulações.

Não foi possível a medição para a topologia TL por causa das dificuldades na conexão do termistor no laço de alumínio.

## 5.2 TOPOLOGIA LMA

Utilizou-se uma pistola de cola para fixar o fundo de um copo sobre a tag. Em seguida, usando uma seringa foi injetada água.



Figura 33: Foto da tag na topologia LMA

As medições foram realizadas da mesma forma como nos casos anteriores. Foi encontrada uma frequência de operação de 870 MHz para a temperatura da câmara. Depois de aquecer a tag encontrou-se uma frequência de cerca de 945 MHz. Assim que o secador foi desligado encontraram-se dificuldades em monitorar a mudança na frequência com as ferramentas disponíveis. Depois de 15 minutos, foi obtido a frequência de trabalho de 870 MHz novamente.



Figura 34: Resposta observada no osciloscópio



Figura 35: Aquecimento da tag

## 6 ESTIMAÇÃO FINANCEIRA

Pode-se dividir a estimaco financeira do projeto em duas partes, a primeira contnua e a parte de medio.

Tabela 2: Estimaco financeira para a parte contnua

Descrio	Valor comprado	Valor por um ano <sup>1</sup>	Valor pela durao do projeto (5 meses)
Computador	400 €	133,33 € <sup>2</sup>	55,55 €
Pack office	57,00 €	11,40 €	4,75 €
Windows	110,00 €	22,00 €	9,17 €
Licena CST	880,00 € / ano	880,00 €	366,67 €
Servio Gael	153,00 € / ano	153,00 €	63,89 €
<b>Total</b>			<b>500,03 €</b>

1 – Amortizao sobre 5 anos

2 – Amortizao sobre 3 anos

Para a parte de medio pode-se estimar o banco de medio em:

Tabela 3: Estimaco financeira para a parte de medio

Descrio	Valor comprado	Valor por ano <sup>1</sup>	Valor pelo tempo de utilizao (5 meia-dirias)
Osciloscpio	58488,24 €	11697,65 €	80,12 €
Gerador de funoes	10589,58 €	2117,92 €	14,51 €
Antenas cornetas	10420,00 €	2084,00 €	14,27 €
Computador	800,00 €	160,00 €	1,10 €
Cmara anecica	200000,00 €	20000,00 € <sup>2</sup>	137,00 €
Termistores	30,00 €	30,00 €	30,00 €
<b>Total</b>			<b>277,00 €</b>

1 – Amortizao sobre 5 anos

2 – Amortizao sobre 10 anos

Adicionando as duas partes e o slrio (5 x 436,05 €) obtm-se um valor total de 2957,28 €.

## 7 CONCLUSÃO

O trabalho apresentado neste relatório centrou-se na concepção e estudo de um sensor de temperatura utilizando a tecnologia RFID UHF passivo. Propuseram-se três novas topologias incluindo duas topologias usando um termistor e uma topologia usando a mudança na constante dielétrica da água com a temperatura.

Na revisão bibliográfica, observou-se que é possível fazer sensores RFID com boa sensibilidade e na banda de frequência desejada. A partir das simulações obtiveram-se bons resultados para as topologias propostas. Contudo, devido a limitações de construção e sensibilidade do chip em relação à temperatura foram encontradas dificuldades para a medição "precisa" dessas topologias. No entanto, foi concebido um sensor de temperatura com a propriedade do chip. No final, foi conseguido uma sensibilidade de  $0,025 \text{ dBm}/^{\circ}\text{C}$ .

Em conclusão, este projeto permitiu ao estagiário aprofundar uma das aplicações da tecnologia RFID, de consolidar seu conhecimento na área de micro-ondas e de familiarizar com os principais softwares na área de concepção de dispositivos RF, o CST, assim como métodos de medição no domínio RF e RFID.

Como perspectivas pode-se pensar em aprofundar neste campo de sensores RFID e fazer trabalhos mais completos, como o projeto de sensores RFID alterando o chip para a medição de vários parâmetros, sempre usando a comunicação RFID para transmissão dos valores medidos.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Bhattacharyya, R. ; Floerkemeier, C. ; Sarma, S. ; Deavours, D., “**RFID Tag Antenna Based Temperature Sensing in Frequency Domain**”, 2011 IEEE International Conference on RFID (RFID), páginas 70 - 77, 12-14 Abril 2011.
- [2] Virtanen, J; Ukkonen, L. ; Bjorninen, T. ; Sydanheimo, L. ; Elsherbeni, A.Z., “**Temperature Sensor Tag for Passive UHF RFID Systems**”, Sensors Applications Symposium (SAS), 2011 IEEE, 22-24 Fev. 2011
- [3] Virtanen, J. ; Ukkonen, L. ; Bjorninen, T. ; Elsherbeni, A.Z. ; Sydänheimo, L., “**Inkjet-Printed Humidity Sensor for Passive UHF RFID Systems Propositions**”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, volume: 60, issue: 8, páginas 2768 – 2777. Agosto 2011.
- [4] Bhattacharyya, M. ; Jansen, D. ; Volk, T. ; Bau, D. ; Riske, A., “**A disposable passive temperature sensor with RFID ISO15693 interface**”, 2011 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications (RFID-TA), 15-16 Set. 2011, páginas 1 – 7.
- [5] Amin Rida ; Li Yang ; Manos Tentzeris, “**RFID-Enabled Sensor Design and Applications**”, Artech house, 2010. ISBN 13 : 978-1-60783-981-1.
- [6] Datasheet Murata, NTC Thermistors. Cat.No.R44E-14
- [7] Tagsense, disponível em: <<http://www.tagsense.com>>, acessado em 01/06/2012
- [8] Dobkin, D. M. **The RF in RFID - The Tutorial**, disponível em: <[http://www.enigmatic-consulting.com/Communications\\_articles/RFID/RFID\\_frequencies.html](http://www.enigmatic-consulting.com/Communications_articles/RFID/RFID_frequencies.html)>, acessado em 01/06/2012
- [9] Wikipedia. **Capteur**, disponível em: <<http://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur>>, acessado em 01/06/2012
- [10] BTS CIRA. **Capteurs et transmetteurs**, disponível em: <<http://btscira.perso.sfr.fr/page1/page25/page25.html>>, acessado em 01/06/2012
- [11] Omega. **Introduction to Wireless Sensors**, disponível em: <<http://www.omega.com/prodinfo/wirelessensors.html>>, acessado em 01/06/2012
- [12] Datasheet de l’Ak-Tag, disponível em: <<http://www.tagsysrfid.com/Products-Services/RFID-Tags/AK>>.
- [13] Summary of Properties for Kapton - disponível em: <[http://www2.dupont.com/Kapton/en\\_US/assets/downloads/pdf/summaryofprop.pdf](http://www2.dupont.com/Kapton/en_US/assets/downloads/pdf/summaryofprop.pdf)>, acessado em 21/04/2012