

Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

BRUNO JOSÉ SAMPAIO DE SOUSA

ETIQUETAS RFID SEM *CHIP* APLICADAS AO MONITORAMENTO
DA UMIDADE RELATIVA DO AR

Campina Grande, Paraíba
Setembro de 2017

BRUNO JOSÉ SAMPAIO DE SOUSA

ETIQUETAS RFID SEM *CHIP* APLICADAS AO MONITORAMENTO
DA UMIDADE RELATIVA DO AR

*Trabalho de Conclusão de Curso 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: Telecomunicações

Orientador:
Professor Alexandre Jean René Serres, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Setembro de 2017

BRUNO JOSÉ SAMPAIO DE SOUSA

ETIQUETAS RFID SEM *CHIP* APLICADAS AO MONITORAMENTO
DA UMIDADE RELATIVA DO AR

*Trabalho de Conclusão de Curso 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: Telecomunicações

Aprovado em: / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Alexandre Jean René Serres, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, criador de todas as coisas, por ter me dado forças e ter estado ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus pais Marinês e Severino que não mediram esforços para que meus sonhos se tornassem realidade, pelo amor e encorajamento.

Ao professor Alexandre Serres, pela disponibilidade e ensinamentos prestados durante o período que estive como seu orientando.

Aos “PseudoMitos de EE”, meus amigos do curso, pela união, companheirismo e ajuda em diversos momentos.

A todos os colegas do laboratório de Radiometria, pelo auxílio e suporte recebidos para a realização das simulações e montagens experimentais.

A minha namorada Ana Geisa Viana, por estar sempre ao meu lado, mesmo diante das dificuldades, sempre me incentivando e dirigindo palavras de apoio.

A todos os meus professores do Departamento de Engenharia Elétrica, por não terem medido esforços para que o conhecimento fosse passado da maneira mais clara possível.

A todos os funcionários da Universidade Federal de Campina Grande, pessoas dispostas a realizar o seu trabalho da melhor maneira possível.

Finalmente, quero agradecer a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para minha formação. A caminhada, quando sozinho, torna-se mais cansativa e enfadonha.

*“O sonho é que leva a gente para a frente.
Se a gente for seguir a razão, fica aquietado, acomodado.”*

Ariano Suassuna.

RESUMO

Com o desenvolvimento e a ampliação da *internet* das coisas, necessita-se de meios simples e eficazes para detecção de informações do ambiente. Atendendo a essas necessidades, as etiquetas RFID sem *chip* estão surgindo como alternativas de baixo custo e sem fio para monitoramento de características físicas. Neste trabalho são apresentadas etiquetas RFID sem *chip* para monitoramento da umidade relativa do ar. A etiqueta proposta, além do baixo custo de confecção e de dispensar a necessidade de fios, apresenta simplicidade de codificação e identificação. Foram realizadas simulações utilizando o coeficiente de transmissão (S12) das etiquetas. Atentando ao fato de que a resposta em frequência da etiqueta varia mediante mudanças nos seus parâmetros elétricos, foi possível verificar como a umidade relativa do ar modificou essa resposta. Com isso, associou-se as variações verificadas com o fenômeno em estudo e se fez uma avaliação de o quanto a etiqueta foi sensível à umidade do ambiente.

Palavras-chave: Radiofrequência, RFID, Sensores, Umidade.

ABSTRACT

With the development and expansion of the internet of things, simple and effective methods are needed to detect informations from the environment. In order to meet these needs, chipless RFID tags are emerging as low cost and wireless alternatives to monitor physical characteristics. In this work are presented chipless RFID tags for monitoring the relative humidity of air. The proposed label, in addition to the low cost of production and the dispensable need of wire, presents coding and identification simplicity. Simulations of the tags transmission coefficient (S_{12}) were performed. Considering the fact that the frequency response of the label varies by electrical parameters changes on it, it is possible to verify how the relative humidity of air modifies this response. Thereby, the verified variations of frequency response and the phenomenon under study are associated, and an evaluation showing how much the label is sensitive to the humidity of environmen is performed.

Keywords: Humidity, Radio Frequency, RFID, Sensor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Sistema RFID clássico	15
Figura 2 – Etiquetas RFID clássicas. Fonte [5]	16
Figura 3 - Esquema RFID sem chip	17
Figura 4 – Composição da etiqueta RFID sem chip.	18
Figura 5 - Circuito multi ressonador para etiqueta RFID sem chip.	18
Figura 6 - Dimensões da etiqueta RFID ressonante; $W_1 = 2,5$ mm; $W_2 = 0,8$ mm; $W_3 = 5$ mm; $L_1 = 10,2$ mm; $L_2 = 3$ mm; $D = 0,2$ mm.....	19
Figura 7 – Resultado da simulação para um etiqueta de 5 bits.....	19
Figura 8 – Etiqueta para 23 bits. Fonte [13]	20
Figura 9 – Estrutura proposta para a codificação de 3 bits; $S_1=0.350$ mm, $S_2=0.250$ mm, $S_3=0.145$ mm, $L=0.2$ mm, $C=0.040$ mm, $D=0.05$ mm, $R=0.160$ mm. Fonte [12].	20
Figura 10 - (a) Etiqueta com 9 bits. (b) Resultado da simulação. Fonte [12]....	21
Figura 11 – Modulo MEMS. Fonte [25].	22
Figura 12 - Sensor centrado em 715 Mhz	25
Figura 13 - Resposta da etiqueta RFID sem chip para 715 Mhz.....	25
Figura 14 - Rede de sensores sem fio para detecção de descargas parciais. .	25
Figura 15 - Sensor RIFD sem chip para gestos da mão. Fonte [16]	26
Figura 16 - Sensor RIFD sem chip para gestos da mão. Fonte [16].	27
Figura 17 - Sensor RIFD sem chip para aplicações em casas inteligentes.....	28
Figura 18 - Parâmetro S_{11} para as diferentes forças aplicadas. Fonte [22]. ...	29
Figura 19 - Etiqueta RIFD sem chip para detecção de gás. Fonte [15].	30
Figura 20 - Sistema para detecção de gás. Fonte [15].	30
Figura 21 - Princípio de funcionamento do sensor de umidade proposto	31
Figura 22 - Camada de poliamida termoplástica.	32
Figura 23 - Etiqueta proposta. $H = 2,5$ mm; $W = 5,5$ mm; $C = 9,5$ mm, $L = 31$ mm; $m = 1$ mm.	33
Figura 24 - Modelo 3D.....	33
Figura 25 - Simulação sem a camada de poliamida termoplástica	34

Figura 26 - Simulação para a camada de poliamida termoplástica com $\epsilon_r = 3,2$	35
Figura 27 - Simulação para a camada de poliamida termoplástica variando o ϵ_r	35
Figura 28 - Etiqueta confeccionada.....	36
Figura 29 - Etiqueta com a camada sensível.	36
Figura 30 - (a) Medições sem umidade. (b) Etiqueta em análise. (c) Medições com umidade. (d) Etiqueta com a camada sensível submetida à umidade.....	37
Figura 31 - Resposta em frequência das etiquetas em estudo.	40
Figura 32 - Resposta em frequência das etiquetas em estudo.	41
Figura 33 - Influência da camada sensível no coeficiente de transmissão.....	41
Figura 34 - Resposta para mudanças na umidade.....	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. MOTIVAÇÃO	13
1.2. OBJETIVOS.....	13
1.3. METODOLOGIA	14
2. RFID	15
2.1. SISTEMAS RFID CLÁSSICOS.....	15
2.2. SISTEMAS RFID SEM <i>CHIP</i>	16
2.3. GEOMETRIAS PARA ETIQUETAS RFID SEM <i>CHIP</i>	17
2.3.1. MULTI-RESSONADORES PLANARES EM ESPIRAL.....	18
2.3.2. ESTRUTURA COPLANAR COM RESSONADORES EM ANÉIS COMPLEMENTARES	20
2.3.3. INTERRUPTORES MEMS PARA RFID SEM <i>CHIP</i>	21
3. RFID SEM <i>CHIP</i> PARA APLICAÇÕES EM SENSORIAMENTO	23
3.1. SENSOR DE DESCARGAS PARCIAS.....	24
3.2. SENSOR DE MOVIMENTOS DA MÃO	26
3.3. SENSOR DO LIMIAR DE TEMPERATURA	27
3.4. SENSOR DE DEFORMAÇÃO	28
3.5. SENSOR DE GÁS	29
4. SIMULAÇÃO, CONFECÇÃO E MEDIÇÃO DA ETIQUETA RFID SEM <i>CHIP</i> PARA MONITORAMENTO DA UMIDADE RELATIVA DO AR	31
4.1. POLIAMIDA TERMOPLÁSTICA	32
4.2. SIMULAÇÕES	32
4.3. CONFECÇÃO.....	36
4.4. MEDIÇÕES.....	37
4.5. RESULTADOS	39
4.5.1. RESULTADOS PARA A UMIDADE RELATIVA DO AR CONSTANTE	39

4.5.2. RESULTADOS PARA A UMIDADE RELATIVA DO AR VARIANDO ..	42
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de se obter informação confiável e rápida acerca de objetos, equipamentos, pessoas e fenômenos físicos é uma realidade em nossa sociedade, que está sempre em busca de segurança e praticidade. Nesse sentido, a identificação por rádio frequência (RFID - *Radio-Frequency IDentification*) se destaca pela sua grande variedade de aplicações, em áreas cada vez mais diversificadas [1,2]. A RFID pode ser utilizada em aplicações que necessitam da identificação automática de informações sem que haja um contato físico ou até mesmo visual da etiqueta, na qual está contida os dados que se tenha o interesse de identificar.

Muitos estudos estão voltados à diminuição do custo da etiqueta RFID, e a cada ano essa tecnologia torna-se mais barata [3]. Um estudo propõe a retirada do *chip* da etiqueta e que a codificação seja feita através de uma assinatura espectral da frequência do sinal que é emitido pelo leitor; assim, com alterações na geometria da antena presente na etiqueta é possível armazenar informação binária [4].

Eliminando o uso de *chips* de silício, as etiquetas RFID podem oferecer preços mais competitivos do que as etiquetas convencionais. Além disso, as etiquetas RFID sem *chip* podem ser utilizadas em ambientes com condições extremas, como alta temperatura e alta umidade, uma vez que não requerem o uso de transistores como nas etiquetas baseadas em silício [5].

Além do uso para identificação, a RFID sem *chip* ainda pode ser aproveitada em aplicações de sensoriamento e monitoramento de características relacionadas à emissão de sinais de rádio frequência ou fenômenos que alterem a resposta em frequência da etiqueta, visto que é possível obter assinaturas espectrais distintas em decorrência das condições ambientais (temperatura, umidade relativa do ar, Ph, presença de gás) ao qual a etiqueta RFID sem *chip* está submetida [6].

O recente avanço nas redes de sensores sem fio abriu caminho para combinar sensores com o sistema RFID. Desenvolver um sistema de sensores inteligentes e de baixo custo para monitoramento da umidade relativa do ar é

um desafio, por isso diferentes ferramentas devem ser estudadas e avaliadas [6].

1.1. MOTIVAÇÃO

O aumento da necessidade de informação precisa e em grande escala, visando a aplicação na *internet* das coisas [10], faz com que a pesquisa de soluções baratas para resolver problemas do cotidiano tornem-se de fundamental importância. Nesse contexto, insere-se o estudo de etiquetas RFID sem *chip* para o monitoramento da umidade relativa do ar, para tornar essa detecção de baixo custo e acessível.

A organização mundial da saúde (OMS) estabelece que índices inferiores a 60% na umidade relativa do ar não são adequados para a saúde humana [8], pois podem trazer consequências como: complicações alérgicas e respiratórias, devido ao ressecamento de mucosas, sangramento pelo nariz, ressecamento da pele, irritação dos olhos, eletricidade estática nas pessoas e em equipamentos eletrônicos, aumento do potencial de incêndios em pastagens e florestas. Além disso, a umidade relativa do ar é um importante parâmetro de avaliação na agricultura de precisão, sendo então de suma importância o seu monitoramento contínuo [9].

1.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar uma proposta de etiqueta RFID sem *chip* para aplicação no monitoramento da umidade relativa do ar, através de simulação, confecção e medição.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Propor uma configuração de geometria com especificação das dimensões para a etiqueta RFID sem *chip*.

Especificar um material para ser utilizado como camada sensível à umidade.

1.3 METODOLOGIA

Inicialmente, realizou-se uma revisão teórica acerca dos principais conceitos envolvendo as aplicações da RFID, RFID sem *chip*, e aplicações combinadas do RFID com sensoriamento, para estabelecer uma visão geral do que é possível ser feito com essas tecnologias.

Em seguida, a escolha de uma proposta de sensor de umidade relativa do ar utilizando RFID sem *chip*, com especificações de suas dimensões e parâmetros. Simulação de suas características eletromagnéticas através do *software Ansoft Designer* da ANSYS e por fim, sua validação através da confecção e medição.

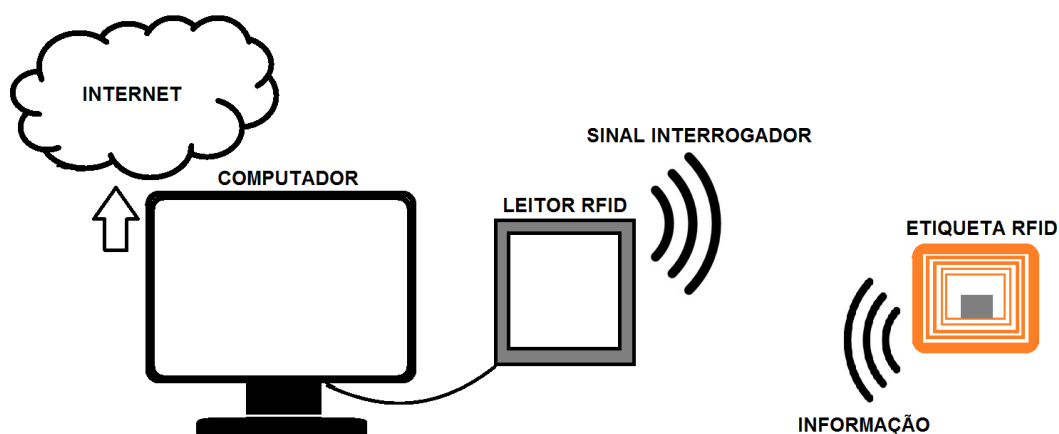
2. RFID

2.1. SISTEMAS RFID CLÁSSICOS

Os primeiros registros da utilização de uma tecnologia semelhante à RFID datam da segunda guerra mundial, quando os britânicos instalaram transmissores em seus aviões, e do solo recebiam um sinal para identificar se tratavam-se de seus aviões ou de aviões inimigos [5]. Com o crescente desenvolvimento tecnológico, a RFID é cada dia mais utilizada em aplicações que vão desde rastreamento, identificação de informações, gerenciamento de suprimentos até o monitoramento de características do ambiente.

Todo o sistema RFID é composto basicamente por três partes: o leitor RFID, que envia um sinal interrogador e recebe o sinal codificado, a etiqueta, que contém a informação e uma identificação única, e o computador com o *software* responsável pela interface e decodificação da informação contida na etiqueta [5]. A etiqueta RFID clássica contém um *chip* e uma antena. Uma representação simplificada do sistema RFID clássico é mostrado na Figura 1.

Figura 1– Sistema RFID clássico.



As etiquetas RFID clássicas podem ser vistas na Figura 2 e são divididas em três tipos [11]:

- Etiquetas passivas: não apresentam nenhuma fonte interna de energia, pois a corrente que surge pela recepção da onda de rádio frequência é suficiente para excitar o *chip* e para transmitir o sinal resposta.
- Etiquetas semipassivas: também chamadas de etiquetas passivas assistidas por bateria. Possuem uma pequena bateria, o que permite que o *chip* esteja sempre excitado.
- Etiquetas ativas: possuem uma bateria que alimenta o *chip* a todo momento, além de gerar um sinal permanente, sem a necessidade de sinal interrogador para haver uma resposta.

Figura 2– Etiquetas RFID clássicas.



Fonte [5].

2.2. SISTEMAS RFID SEM *CHIP*

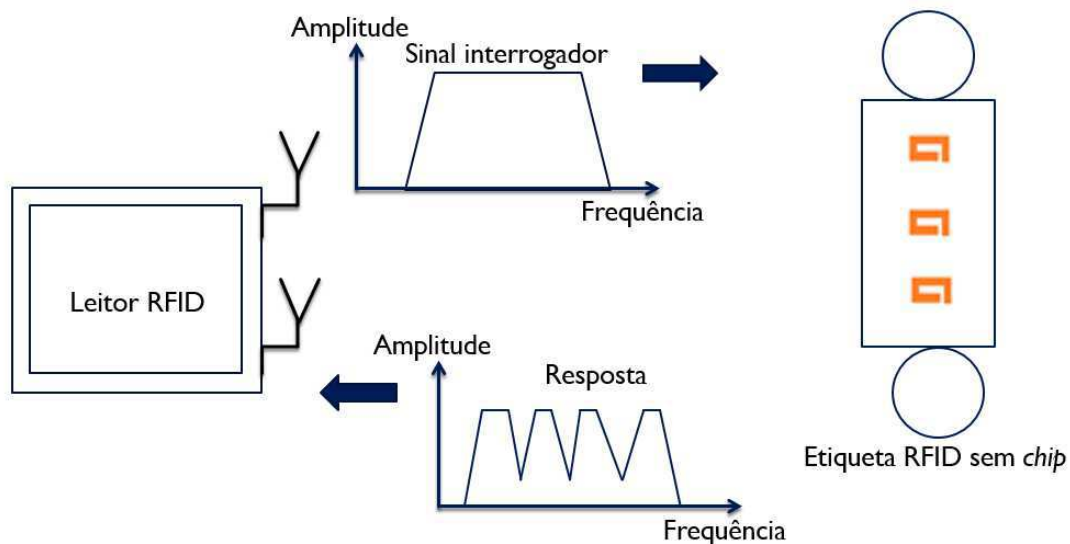
Com o objetivo de diminuir o custo da etiqueta RFID clássica, para uma diversificação ainda maior das aplicações, apresenta-se a etiqueta RFID sem *chip*. A codificação passa a ser realizada no domínio do tempo, ou no domínio da frequência, sem haver a necessidade de um *chip* muito menos de uma bateria. Agora a etiqueta RFID é completamente passiva [4].

Como objeto de estudo, na codificação no domínio da frequência, um sinal interrogador banda larga é enviado à etiqueta, a etiqueta atua como um

filtro rejeita faixa, atenuando algumas frequências, então o sinal refletido apresenta a ausência de algumas frequências, que variam de acordo com a geometria da etiqueta. Com isso, mudanças na geometria da etiqueta acarretam em diferentes sinais refletidos, conseqüentemente, diferentes informações codificadas. Através desse princípio é possível dispor de uma assinatura espectral única para cada etiqueta, realizando a identificação de diferentes objetos.

A Figura 3 apresenta um esquema geral da codificação no domínio da frequência para um sistema RFID sem *chip*.

Figura 3- Esquema RFID sem *chip*

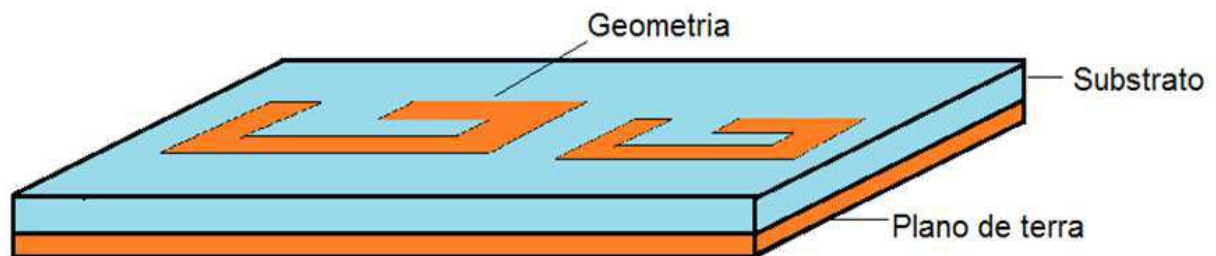


2.3. GEOMETRIAS PARA ETIQUETAS RFID SEM CHIP

Na literatura é possível encontrar várias propostas de geometrias para RFID sem *chip*. Avaliando características como: quantidade de *bits* codificados, simplicidade de confecção, e tamanho final da etiqueta RFID sem *chip*, chegou-se às etiquetas baseadas em multi-ressonadores planares, multi-ressonadores coplanares e em interruptores MEMS, como objetivo de estudo.

De maneira geral, as etiquetas RFID sem *chip* se apresentam conforme mostrado na Figura 4, em que se tem um plano terra composto de material condutor, o substrato, que é um material dielétrico, e mais uma camada condutora onde são desenhadas as geometrias para as diferentes frequências de ressonância.

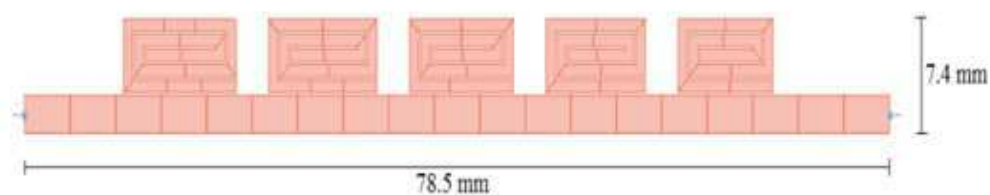
Figura 4– Composição da etiqueta RFID sem *chip*.



2.3.1. MULTI-RESSONADORES PLANARES EM ESPIRAL

A Figura 5 apresenta uma estrutura planar em forma de espiral para realizar a codificação do sinal interrogador, conforme apresentada em [4]. Os espirais presentes na etiqueta funcionam como circuitos ressonantes, em que cada espiral possui uma frequência de ressonância específica. A codificação é feita através da emissão de um sinal banda larga pelo leitor, que passará pela etiqueta e retornará modificado. Quando existe a presença de ressonância representa-se o nível lógico “0”, caso contrário o nível lógico “1”.

Figura 5 - Circuito multi-ressonador para etiqueta RFID sem *chip*.



Na Figura 6, observam-se as dimensões da etiqueta. Cada espiral está separada por uma distância de 3 mm. Os espirais diferem apenas pelo seu comprimento. A primeira espiral tem $L1 = 10,2$ mm. As demais vão diminuindo seu comprimento de 0,4 mm em relação à espiral anterior. O substrato utilizado foi o *Taconic TLX-0* ($\epsilon_r = 2,45$; $h = 0,787$ mm; tangente de perdas = 0,0019). A simulação foi realizada no *software Advanced Design System®* (ADS) da *Keysight*, os resultados são ilustrados na Figura 7.

A frequência de ressonância (f_r) é definida através das indutâncias (L) e capacitâncias (C) do modelo em parâmetros concentrados da etiqueta [10], e a expressão é dada por:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Figura 6- Dimensões da etiqueta RFID ressonante; $W1 = 2,5$ mm; $W2 = 0,8$ mm; $W3 = 5$ mm; $L1 = 10,2$ mm; $L2 = 3$ mm; $D = 0,2$ mm.

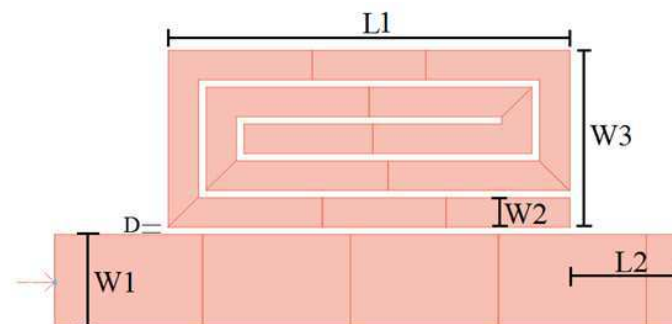
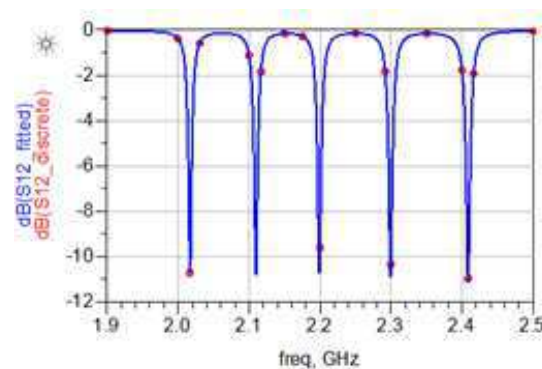


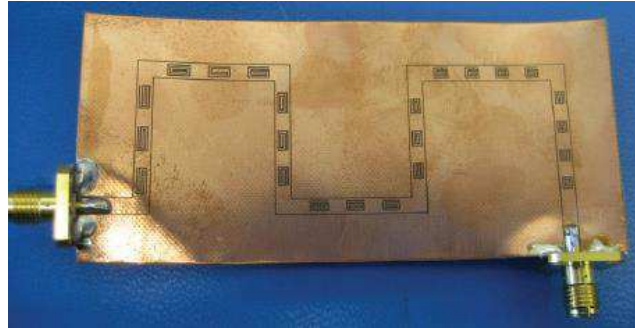
Figura 7 – Resultado da simulação para um etiqueta de 5 bits.



Em [13], é proposta uma etiqueta com multi-ressonadores em espiral capaz de codificar 23 bits, com uma banda de frequência entre 5 e 10,7 GHz. O

substrato utilizado possui os seguintes parâmetros: $\epsilon_r=2,9$, $h=0,09\text{mm}$, $\tan\delta = 0,0028$. A etiqueta confeccionada é apresentada na Figura 8.

Figura 8 – Etiqueta para 23 bits.

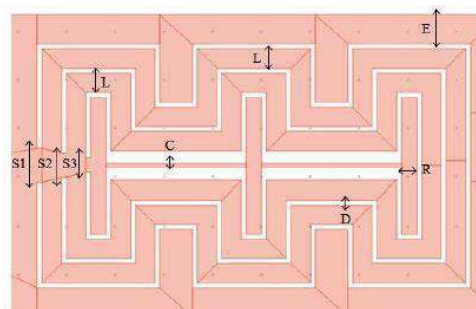


Fonte [13].

2.3.2. ESTRUTURA COPLANAR COM RESSONADORES EM ANÉIS COMPLEMENTARES

A estrutura vista na Figura 9 foi proposta por [12], e apresenta um sistema de multi-ressonadores na forma de três anéis complementares, conhecido como MCSRR (*Modified Complementary Split Ring Resonators*). Cada anel é responsável por uma frequência de ressonância. Ainda segundo [12], com a acomodação de três grupos de anéis complementares, com escalas diferentes, é possível codificar 9 bits (Figura 10(a)).

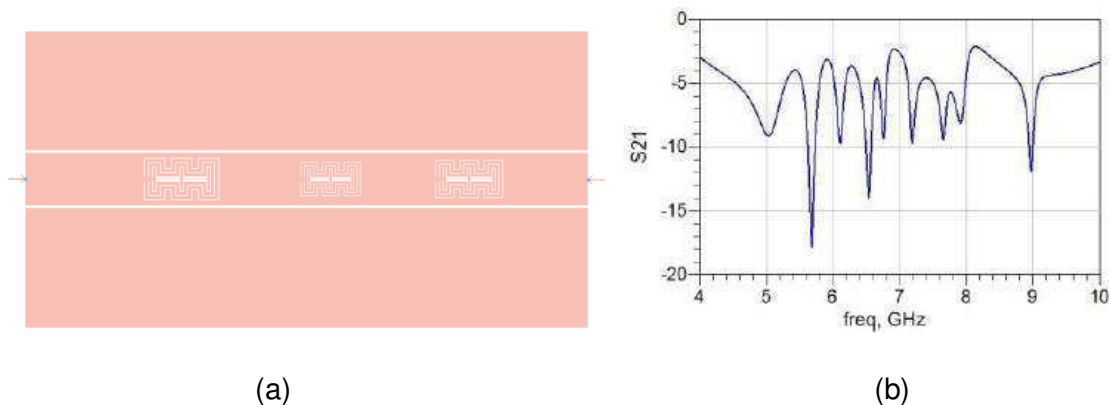
Figura 9 – Estrutura proposta para a codificação de 3 bits; $S_1=0,350\text{mm}$, $S_2=0,250\text{mm}$, $S_3=0,145\text{mm}$, $L=0,2\text{mm}$, $C=0,040\text{mm}$, $D=0,05\text{mm}$, $R=0,160\text{mm}$.



Fonte [12].

Para a simulação, utilizou-se o substrato FR4, por ser de baixo custo, possibilitando a confecção em larga escala. O material possui os seguintes parâmetros: $\epsilon_r = 4,16$, $\tan\sigma = 0,019$, $h = 0,7$ mm. A Figura 10(a) apresenta a etiqueta com 9 multi-ressonadores e a Figura 10(b) o resultado da simulação com as 9 frequências de ressonância.

Figura 10 - (a) Etiqueta com 9 *bits*. (b) Resultado da simulação.



Fonte [12].

2.3.3. INTERRUPTORES MEMS PARA RFID SEM CHIP

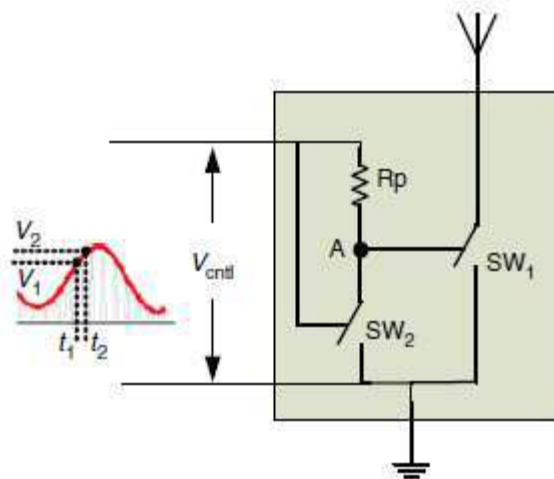
Etiquetas RFID sem *chip* baseadas em multi-ressonadores apresentam a desvantagem de operarem em uma larga banda de frequência (Gigahertz), com a premissa de operar na faixa UHF convencional de aplicações RFID, [25] apresenta uma maneira para realizar a codificação em etiquetas RFID sem *chip* baseada na tecnologia MEMS.

MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*, em inglês) tem como objetivo integrar elementos mecânicos, sensores e eletrônicos em um mesmo *chip*. Basicamente, os MEMS são micromáquinas programadas [25].

No método proposto em [26], é feito um modelo do sinal retroespelhado (utilizado em RFID clássico) através de uma série de módulos MEMS. Cada módulo de comutação pode conectar a antena da etiqueta RFID sem *chip* ao plano de terra por um curto período de tempo. A Figura 11 mostra um módulo

de comutação com duas chaves MEMS com as tensões de entrada V_1 e V_2 utilizadas para codificar 1 *bit*. Quando a tensão de controle, V_{ctrl} , excede V_1 , a primeira chave, SW_1 , liga e conecta a antena ao plano de terra. O caminho da antena para o solo permanece fechado até que a tensão de entrada atinja V_2 , então a segunda chave, SW_2 , liga e conecta o nó A ao plano de terra. Como consequência, SW_1 é desligado e o caminho da antena para a terra é aberto. A antena reflete o sinal do interrogador pelo período de tempo em que $V_1 < V_{ctrl} < V_2$, tempo esse que a antena está ligada ao plano de terra. Podem ser utilizados vários módulos de comutação MEMS com diferentes intervalos de tensão para codificar vários bits de informação [25].

Figura 11 – Módulo MEMS.



Fonte [25].

3. RFID SEM *CHIP* PARA APLICAÇÕES EM SENSORIAMENTO

Controle de ambientes, monitoramento de temperatura e umidade em mercados e farmácias, casas inteligentes, monitoramento não invasivo de pacientes, são situações onde a aplicação de sensores está se tornando indispensável e crescendo a cada dia, por isso a necessidade crescente de se investir em estudos na área de sensores. A utilização de etiquetas RFID sem *chip* para aplicações em sensoriamento tem tomado maiores proporções devido aos seus avanços frente aos sensores existentes e as suas vantagens com relação aos impactos sociais e ambientais.

Por utilizar técnicas não invasivas (processo de aquisição e transmissão da informação sem fio), as possibilidades de aplicações das etiquetas RFID sem *chip* como sensor diversificam-se. Além disso, sensores sem fio estão se tornando componentes indispensáveis nas indústrias, pois não interferem diretamente no processo e por isso, também, se desgastam menos [14].

Para expansão do uso da RFID sem *chip* como sensor, são necessários estudos acerca das características dos materiais. Pois a combinação de materiais, cujas propriedades variam de acordo com fenômenos físicos aos quais são submetidos, com o material substrato da etiqueta faz com que apareçam importantes resultados na resposta em frequência, possibilitando o uso para detecção de tais fenômenos [7].

Apesar de se tratar de um assunto recente, na literatura encontra-se um grande número de trabalhos a respeito de sensores RFID sem *chip*. Dentre as aplicações destacam-se: sensor de gás [15], movimentos do corpo [16], temperatura [14], aplicações espaciais [17], para *internet* das coisas [10], líquidos [18, 19], tensão [20], qualidade de materiais [21], deformação de materiais [22], deslocamento [23] e descarga parcial em equipamentos de alta tensão [24], por exemplo.

3.1. SENSOR DE DESCARGAS PARCIAS

Em sistemas de alta tensão, a ocorrência de descargas parciais é indesejável, visto que estas deterioram os materiais isolantes dos equipamentos de alta tensão, podendo vir a ocasionar problemas como: altas correntes de fuga, bolhas no óleo isolante de transformadores ou em situações mais críticas, a explosão e perda total do equipamento. Sabendo-se do custo elevado dos equipamentos de alta tensão e dos prejuízos caso não estejam em operação, é de extrema importância o monitoramento contínuo das descargas parciais para evitar problemas maiores.

Em [24] é proposto uma geometria de etiqueta RFID sem *chip* para o sensoriamento de descargas parciais. Parte-se do princípio que uma descarga parcial emite um sinal de banda larga, a etiqueta recebe o sinal e o reflete com algumas frequências atenuadas. Cada etiqueta possui uma assinatura espectral única, isso faz com que a medida que um sinal seja lido, pode-se associá-lo a uma única etiqueta, conseqüentemente a localização da etiqueta diz respeito a localização da descarga parcial.

A etiqueta mostrada na Figura 12 possui a faixa de rejeição centrada em 715 MHz, portanto, no momento em que houver uma descarga parcial, a resposta em frequência terá uma atenuação em 715 MHz, identificando-se que a descarga ocorreu nas proximidades da etiqueta. Para outras localizações, confecciona-se etiquetas com diferentes ressonâncias, com isso cria-se uma rede sem fio de sensores, como ilustrado na Figura 14, com o intuito de avaliar a localização da descarga parcial em um determinado equipamento de alta tensão.

Para a simulação utilizou-se o substrato FR4 por ser de baixo custo, possibilitando a confecção em larga escala. O material possui as seguintes características: $\epsilon_r = 4,16$, $\tan\sigma = 0,019$, $h = 0,7$ mm.

A Figura 13 mostra a resposta em frequência da etiqueta, como esperado, em 715 MHz tem-se a frequência de ressonância, validando a utilização para detecção de sinais de alta frequência, como no caso das descargas parciais.

Figura 12 - Sensor centrado em 715 Mhz.

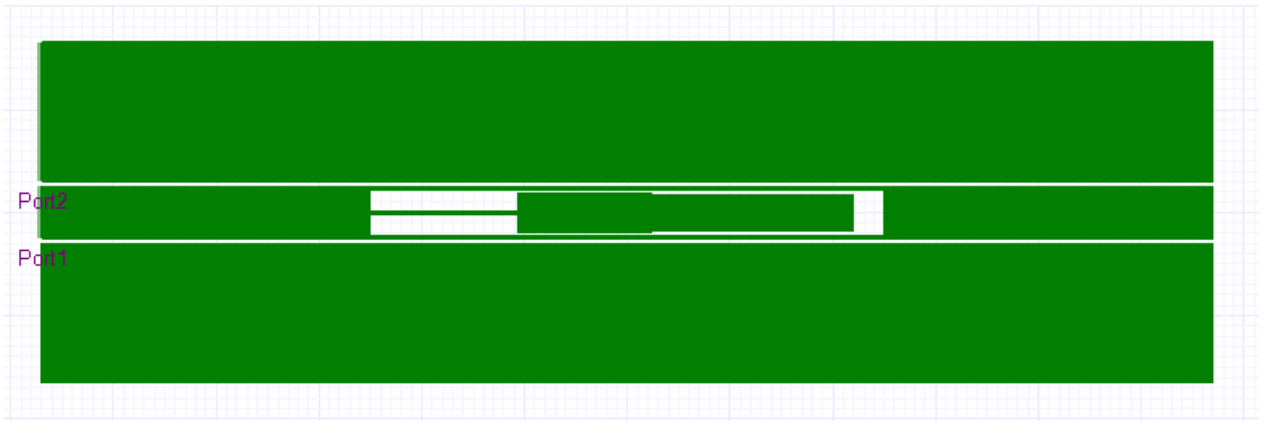
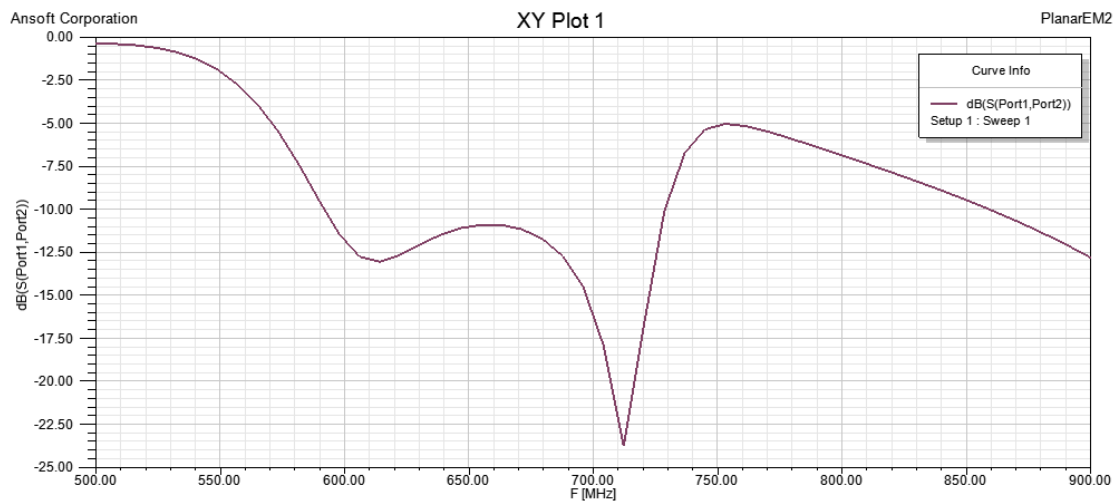
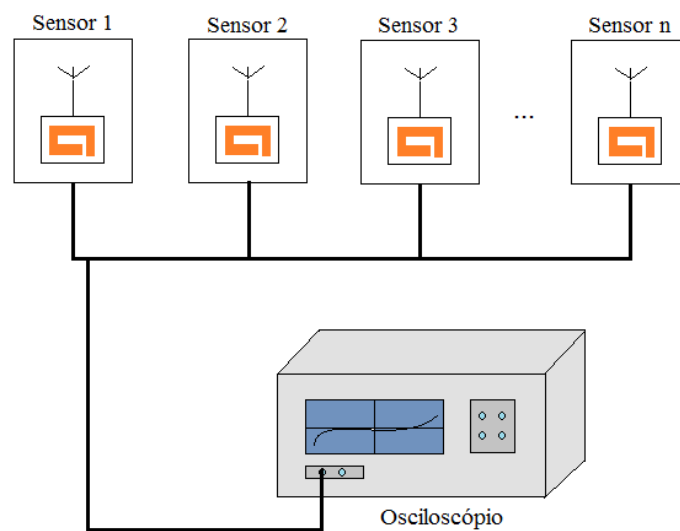
Figura 13 - Resposta da etiqueta RFID sem *chip* para 715 Mhz.

Figura 14 - Rede de sensores sem fio para detecção de descargas parciais.

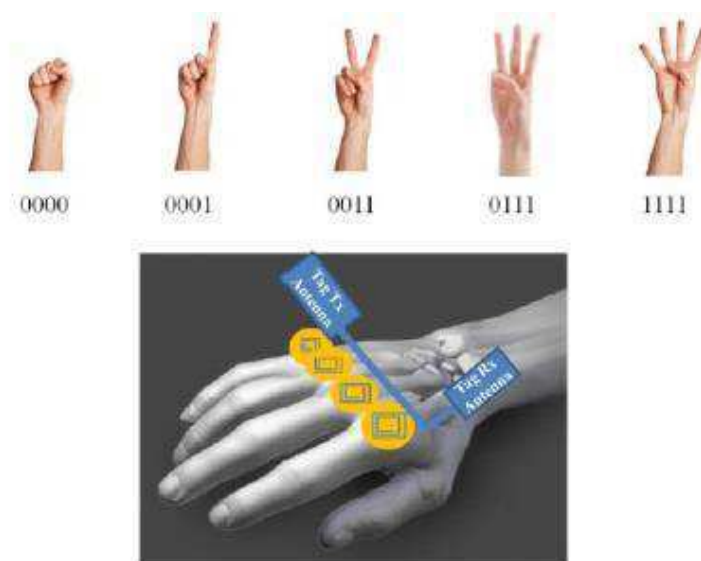


3.2. SENSOR DE MOVIMENTOS DA MÃO

A dobradura de uma etiqueta RFID sem *chip* produz respostas distintas em sua frequência, este fato possibilita sua aplicação para monitorar deformações em materiais ou movimentos em uma superfície na qual a etiqueta esteja depositada. Caso uma etiqueta flexível esteja associada a cada dedo da mão, pode-se identificar quando uma articulação estiver dobrada ou não. A relevância de monitorar gestos da mão é perceptível, principalmente em aplicações onde necessita-se apenas de informações básicas, como em situações subaquáticas e em ambientes em que a visibilidade esteja comprometida [16]. Além disso, é possível que essa técnica possa ser incorporada ao projeto de uma “pele inteligente”, aumentando as possibilidades de aplicação.

As diferentes combinações de movimentos nos dedos da mão produzem diferentes assinaturas espectrais, com esse princípio simples podem-se identificar quais gestos estão sendo feitos pelas mãos. Como estudo inicial, [16] propõe um sistema com 4 *bits* para identificar a posição dos quatro maiores dedos das mãos, associando a cada posição um código binário, conforme ilustrado na Figura 15.

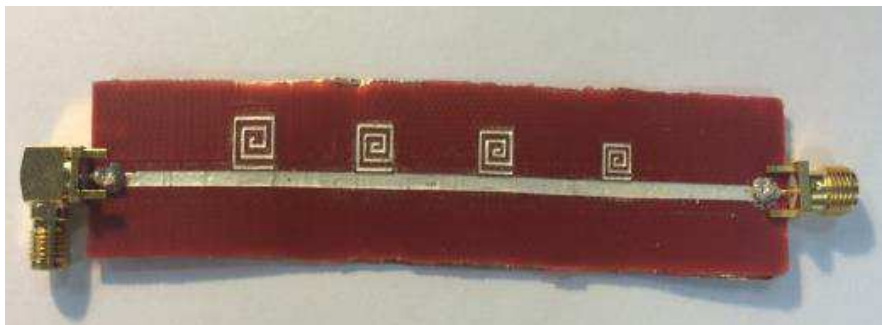
Figura 15 - Sensor RFID sem *chip* para gestos da mão.



Fonte [16]

Para confeccionar a etiqueta, o autor utilizou um material a base de silicone de boa qualidade como substrato, possibilitando a melhor movimentação possível da mão. A etiqueta desenvolvida é apresentada na Figura 16.

Figura 16 - Sensor RFID sem *chip* para gestos da mão.



Fonte [16].

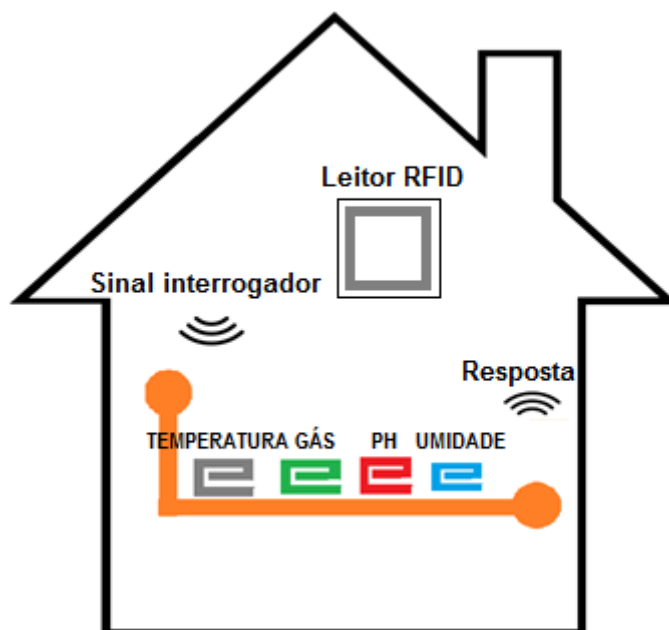
3.3. SENSOR DO LIMIAR DE TEMPERATURA

Em algumas situações não é preciso um monitoramento contínuo da temperatura, basta que seus valores estejam em uma faixa admissível. Em exemplos como conservação e transporte de alimentos, a violação de uma determinada temperatura pode ocasionar prejuízos significativos. Também na conservação de produtos químicos, explosivos, medicamentos farmacêuticos é preciso que as condições climáticas mantenham-se dentro de uma faixa de valores toleráveis [7].

O fenantreno é um material que possui a característica de vaporizar-se com uma temperatura de transição em torno de 72° C. Em [7] é proposto a utilização combinada entre a etiqueta RFID sem *chip* e o fenantreno, para confecção de um sensor de limiar de temperatura. O sistema funciona da seguinte forma: uma camada de fenantreno é colocada sobre uma etiqueta, a interação do fenantreno com a etiqueta faz com que seja produzida uma resposta em frequência específica, no momento em que a temperatura atingir 72° C, a camada de fenantreno evapora, fazendo com que a resposta em frequência varie, com isso pode-se acionar algum dispositivo de alerta ou

controle, para que a situação seja resolvida. Com a temperatura normalizada, substitui-se a etiqueta, visto que a camada não se regenera. Destaca-se então a importância do estudo de materiais, para que se possa variar a temperatura limiar de acordo com a aplicação requerida, ou que o material responda de acordo com a presença de um gás, PH do ambiente ou umidade, por exemplo.

Figura 17 - Sensor RFID sem *chip* para aplicações em casas inteligentes



3.4. SENSOR DE DEFORMAÇÃO

Em [22] encontra-se uma proposta de utilização de antenas *patch* como sensores RFID sem *chip* para detectar deformações no local onde a antena esteja depositada. O substrato no qual a antena *patch* foi confeccionada é o tecido poliéster com os seguintes parâmetros: $\epsilon_r = 1,9$, $h = 75 \text{ um}$, $\tan\delta = 0,045$.

Em condições normais, o sensor apresenta uma frequência de ressonância especificada, na medida em que uma força é aplicada, desvios na frequência de ressonância são verificados, conforme indicado na Figura 18.

A deformação é denotada por:

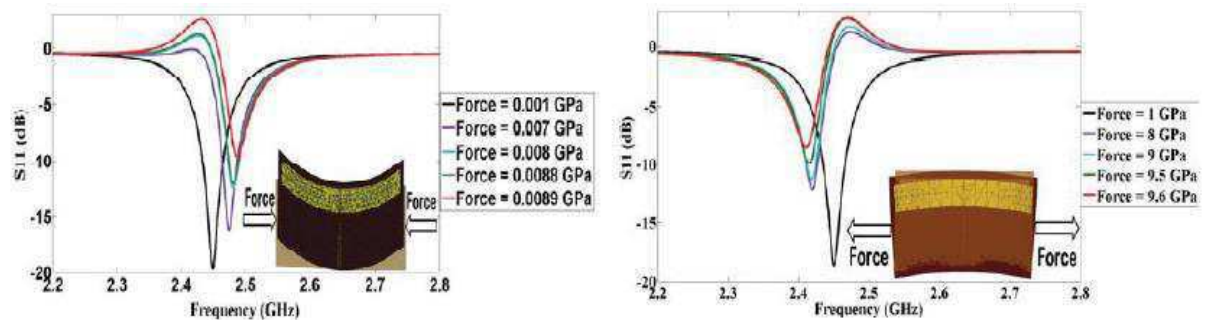
$$\epsilon L = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

Em que:

ΔL = variação do comprimento do *patch*

L_0 = Comprimento inicial

Figura 18- Parâmetro S11 para as diferentes forças aplicadas.



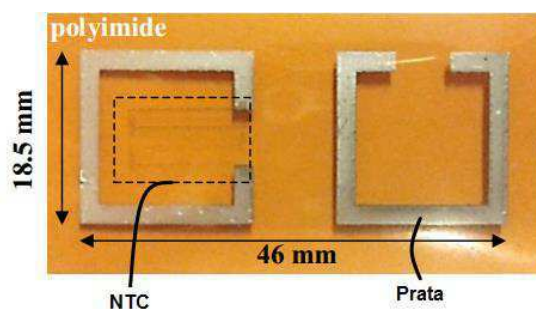
Fonte [22].

3.5. SENSOR DE GÁS

A presença de alguns gases em ambientes onde há presença de seres humanos pode ser indesejável, visto que esses gases podem acarretar dificuldade para respirar, intoxicação, entre outros problemas. Maneiras eficientes para detecção de gases em ambientes devem ser estudadas e avaliadas. Nesse contexto, [15] propõe a utilização de etiquetas RFID sem *chip* de fácil confecção, combinadas com nanopartículas de alta sensibilidade, para detecção de dióxido de carbono (CO₂).

A etiqueta apresenta como diferencial o fato da parte condutora depositada sobre o dielétrico (*polyimide* $\epsilon_r = 3,5$, $\tan\delta = 0,0027$) ser impressa a jato de tinta, tendo a prata como base da tinta condutora. A parte sensível ao dióxido de carbono é composta de nanotubos de carbono (NTC) dissolvida em uma tinta à base de PEDOT – PSS. A configuração da etiqueta é vista na Figura 19.

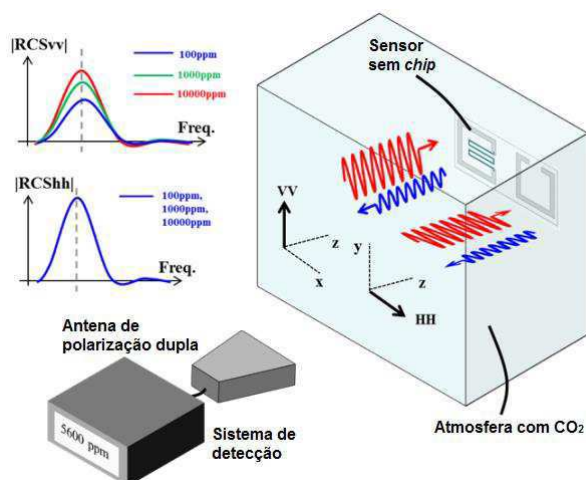
Figura 19 - Etiqueta RIFD sem *chip* para detecção de gás.



Fonte [15].

O processo de identificação e detecção é feita através de uma dupla polarização, em que de forma indireta obteve-se o parâmetro de radar (RCS) através de medições do S11 e S22. Observou-se que o RCS varia de acordo com a concentração de CO₂ apenas com as medições pela polarização vertical. Com polarização horizontal, o RCS varia apenas quando o comprimento da etiqueta variava, com isso poder-se associar uma identificação única para a etiqueta variando-se o seu comprimento. Portanto, usa-se a resposta da polarização vertical para detectar o gás, e a resposta da polarização horizontal para identificar a etiqueta, como mostrado na Figura 20. Em [15] encontra-se os resultados para a etiqueta simulada, que posteriormente é validada através de medições.

Figura 20 - Sistema para detecção de gás.



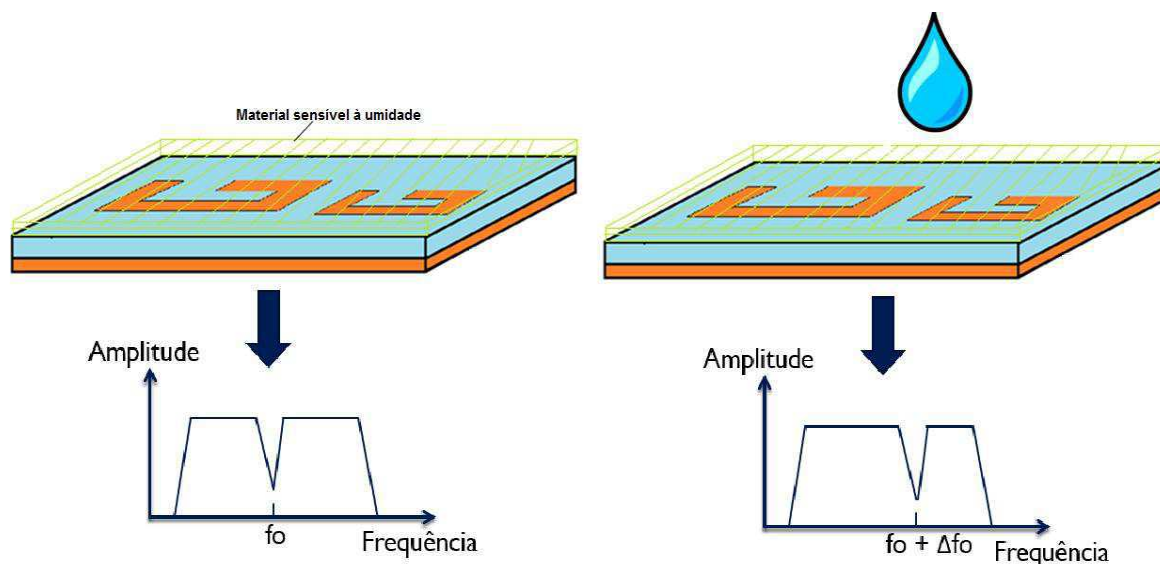
Fonte [15]

4. SIMULAÇÃO, CONFECÇÃO E MEDIÇÃO DA ETIQUETA RFID SEM *CHIP* PARA MONITORAMENTO DA UMIDADE RELATIVA DO AR

Sensores de umidade são bastante estudados visto que a necessidade de ambientes com umidade controlada é requisitada, seja no meio hospitalar ou na própria residência de alguém que sofra de problemas respiratórios.

A proposta de sensor de umidade relativa do ar apresentada neste trabalho, busca reduzir custos e eliminar a necessidade de fios para transmissão da informação, e utiliza-se de princípios radiométricos para levantamento da informação desejada. A Figura 21 apresenta o princípio de funcionamento do sensor proposto, em que, através da adição de uma camada de material substrato sensível à umidade em uma etiqueta RFID sem *chip*, é possível verificar um desvio de frequência quando a etiqueta estiver submetida a variações de umidade no ambiente na qual a mesma se encontra.

Figura 21 - Princípio de funcionamento do sensor de umidade proposto.



4.1. POLIAMIDA TERMOPLÁSTICA

O material utilizado para a camada sensível à umidade, na etiqueta desenvolvida, foi a poliamida termoplástica, um polímero artificial que, quando exposto à umidade e temperatura, apresenta alta viscosidade podendo ser moldado.

As amostras de poliamida termoplástica, utilizadas neste trabalho, foram obtidas na unidade acadêmica de engenharia de materiais de UFCG. As amostras se apresentavam como grãos. Então acrescentou-se água e, após alguns minutos, o material já podia ser moldado. A camada sensível se apresentou conforme mostrado na Figura 22.

Conforme [27], a poliamida termoplástica apresenta a permissividade relativa (ϵ_r) igual a 3,2.

Figura 22 - Camada de poliamida termoplástica.



4.2. SIMULAÇÕES

A etiqueta RFID sem *chip*, proposta para utilização no monitoramento da umidade relativa do ar, é apresentada nas figuras seguintes. A etiqueta é constituída por uma espiral multi-ressonadora.

Figura 23 - Etiqueta proposta. $H = 2,5 \text{ mm}$; $W = 5,5 \text{ mm}$; $C = 9,5 \text{ mm}$, $L = 31 \text{ mm}$; $m = 1 \text{ mm}$.

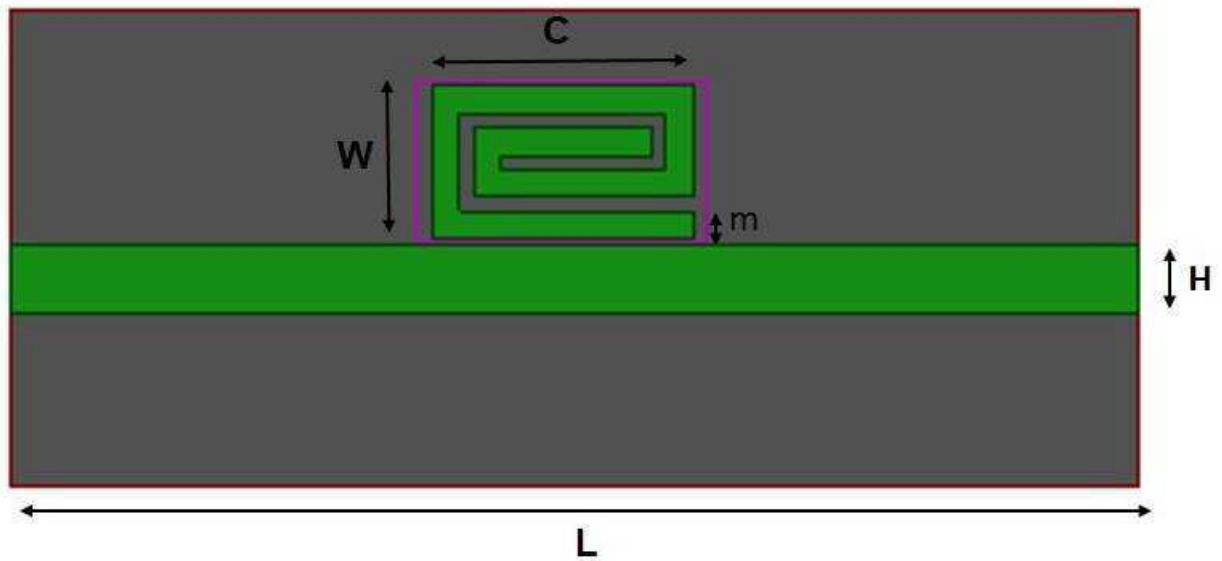
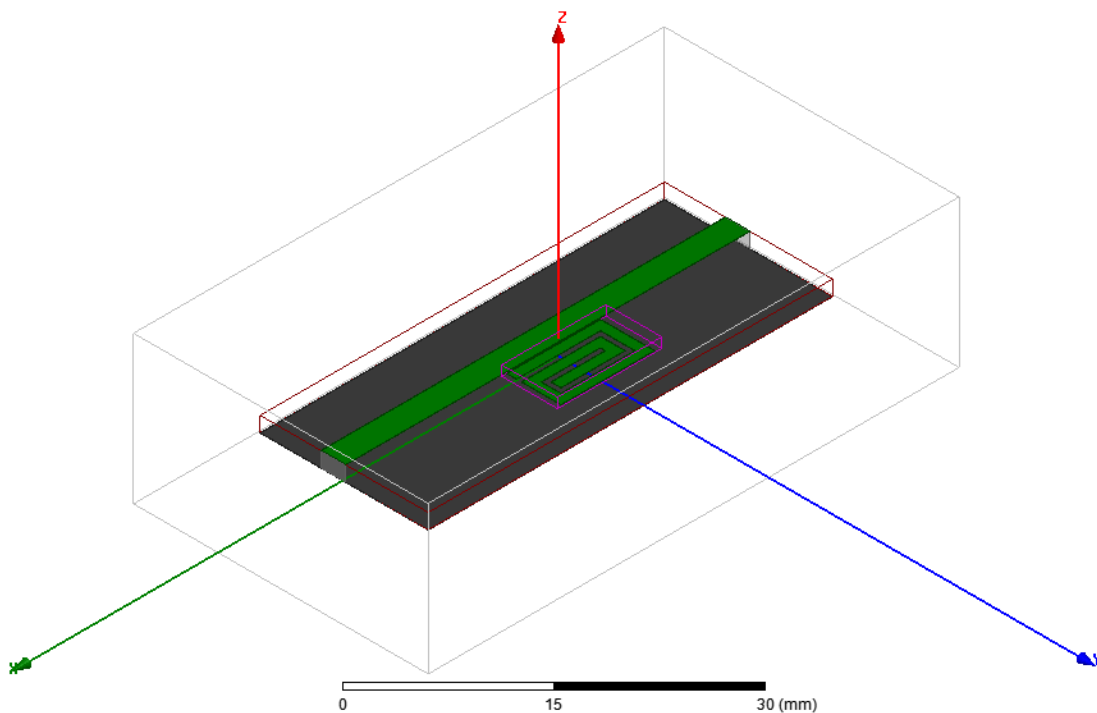


Figura 24 - Modelo 3D.



As simulações foram realizadas no *software Electronics Desktop*® da ANSYS, onde se avaliou o coeficiente de transmissão (S12). O modelo 3D foi desenvolvido no *software*, todas as camadas da etiqueta foram modeladas,

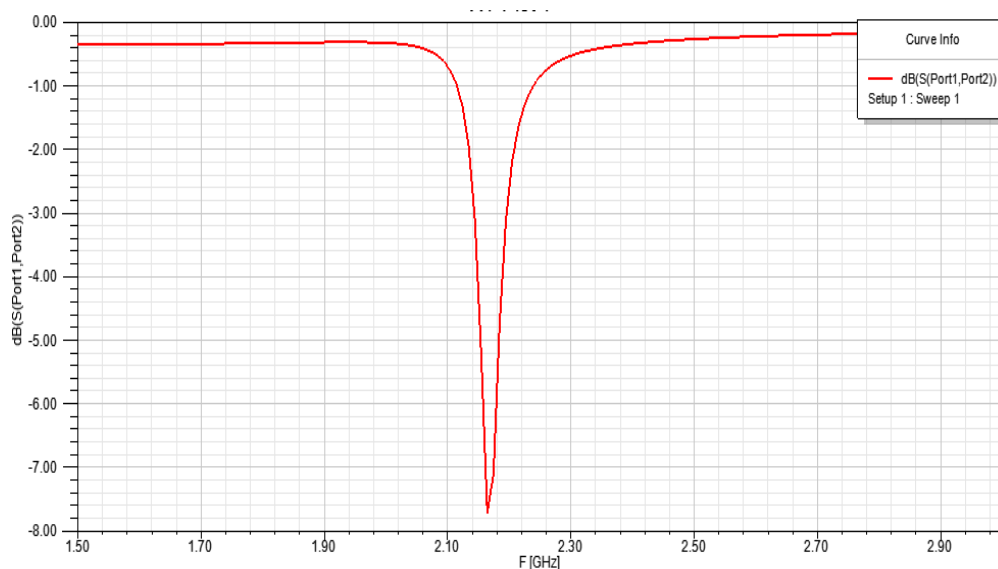
inclusive a camada sensível de poliamida termoplástica, como visto na Figura 24.

A etiqueta é composta pelas seguintes camadas:

- Plano de terra: material condutor, com espessura de 0,035 mm;
- Substrato: material dielétrico, FR4 ($\epsilon_r = 4,4$; $\tan\sigma = 0,019$; $h = 1,52$ mm);
- Geometria: material condutor, com espessura de 0,035 mm;
- Material sensível: com altura de 1 mm.

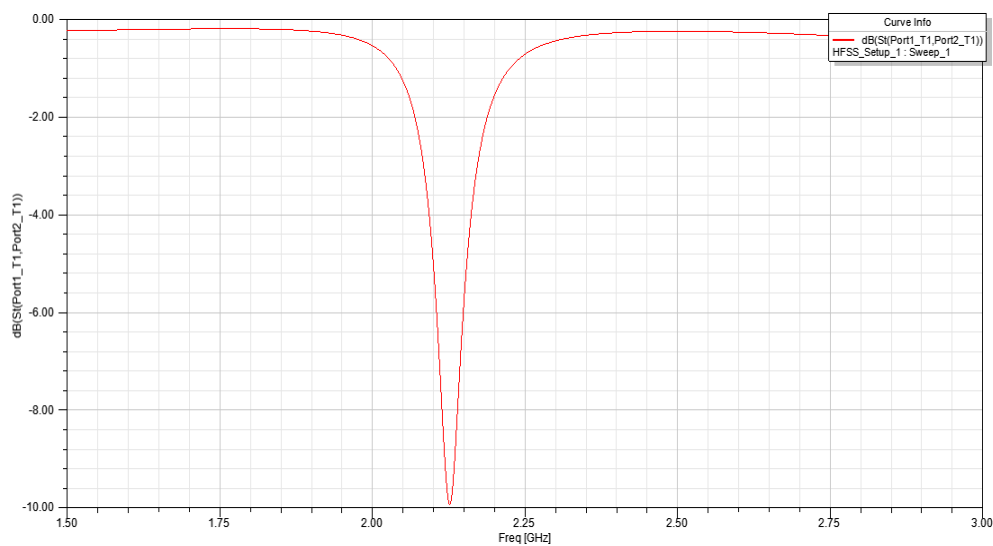
Inicialmente, simulou-se a configuração sem a camada de material sensível, o resultado apresenta uma frequência de ressonância em 2,15 GHz (Figura 25).

Figura 25 - Simulação sem a camada de poliamida termoplástica.



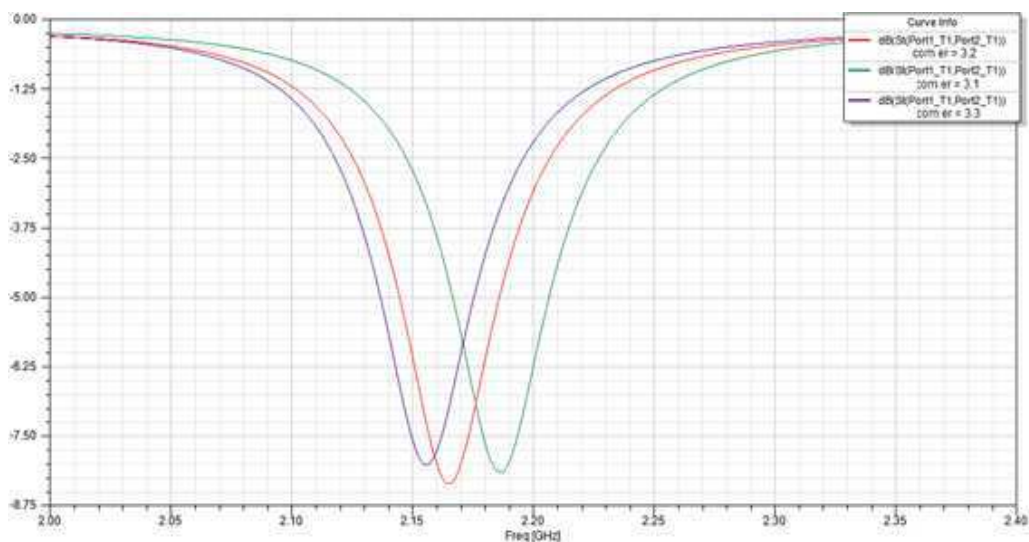
Realizada a simulação com a camada de poliamida termoplástica, com $\epsilon_r = 3,2$, o resultado para o coeficiente de transmissão é mostrado na Figura 26, em que se observa uma frequência de ressonância de 2,165 GHz.

Figura 26 - Simulação para a camada de poliamida termoplástica com $\epsilon_r = 3,2$



Em seguida, realizou-se a simulação para os diferentes valores da permissividade relativa da poliamida termoplástica ($\epsilon_r = 3,1$, $\epsilon_r = 3,2$, $\epsilon_r = 3,3$), simulando o que acontece com o material quando exposto à umidade. Como se percebe na Figura 26, ocorre um deslocamento de frequência quando a permissividade do material varia.

Figura 27 - Simulação para a camada de poliamida termoplástica variando o ϵ_r .



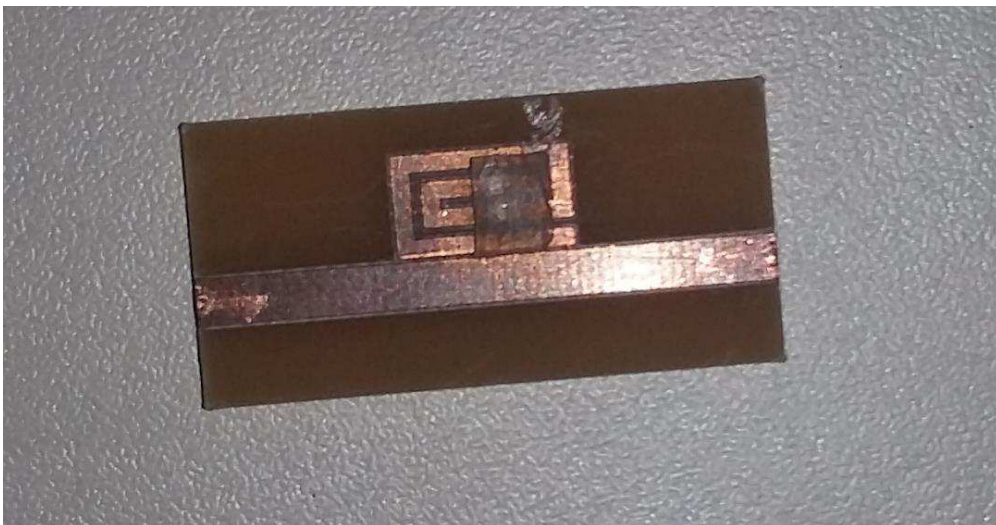
4.3. CONFECÇÃO

A etiqueta foi confeccionada na unidade acadêmica de engenharia elétrica da UFCG utilizando uma fresadora, que faz a raspagem do metal, restando o formato proposto, e se apresenta conforme mostrada na Figura 27. A partir do modelo desenvolvido no *software Electronics Desktop®*, exportou-se o projeto e confeccionou-se 4 unidades para medições e comparação da resposta.

Figura 28 - Etiqueta confeccionada.



Figura 29 - Etiqueta com a camada sensível.



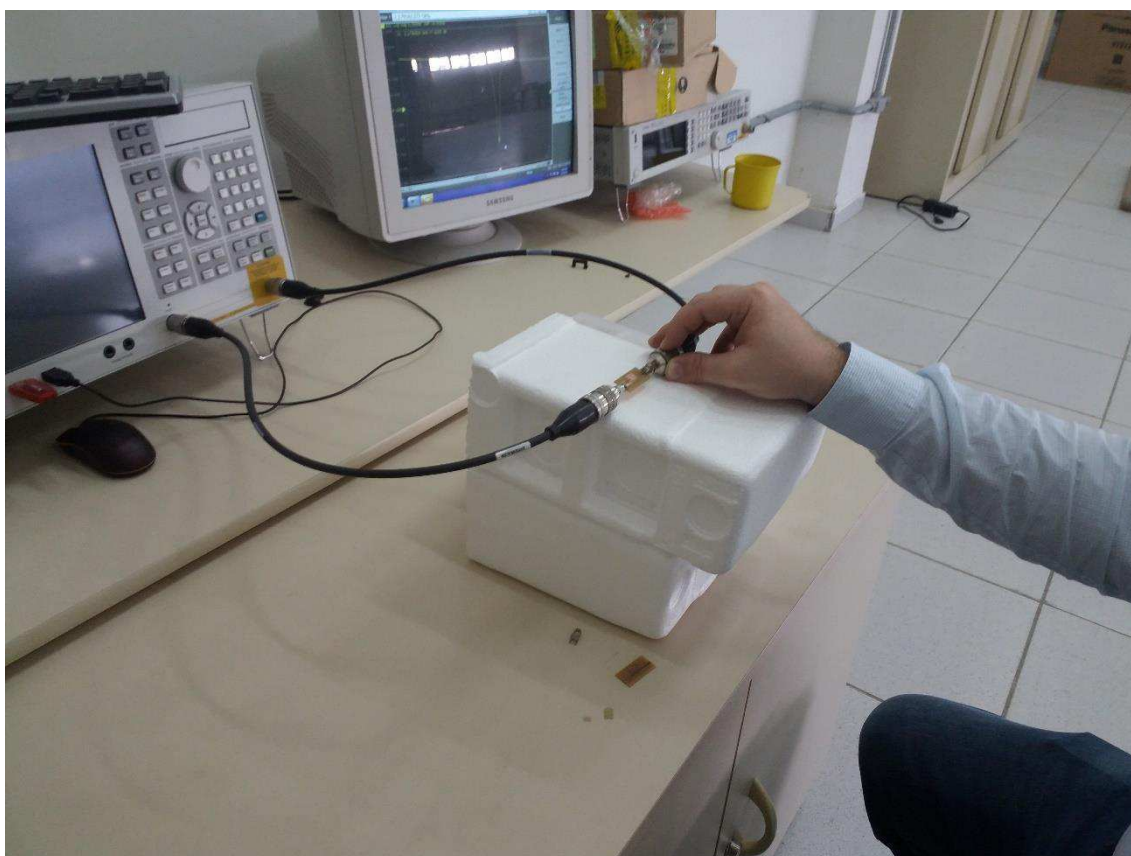
4.4. MEDIÇÕES

As medições do coeficiente de transmissão das etiquetas foram realizadas no Laboratório de Metrologia (LabMet – UFCG). O ambiente de medição foi montado conforme as Figuras 30 (a), (b), (c) e (d).

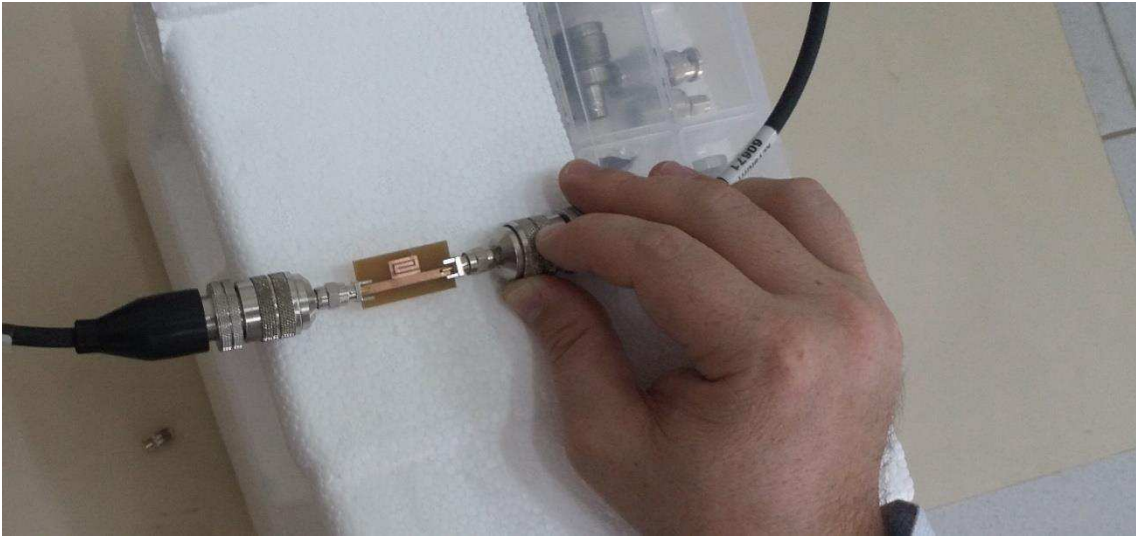
Por conta da ausência de antenas próprias para a medição sem fio, utilizou-se o analisador vetorial de rede (VNA) e duas linhas de transmissão como guia de onda.

Para variar a umidade relativa do ar no ambiente em volta da etiqueta, utilizou-se um nebulizador (ou vaporizador), que tem a funcionalidade de aspergir líquido em gotículas minúsculas, dessa forma, não se molhava a etiqueta nem os equipamentos.

Figura 30 - (a) Medições sem umidade. (b) Etiqueta em análise. (c) Medições com umidade. (d) Etiqueta com a camada sensível submetida à umidade.



(a)



(b)



(c)



(d)

4.5. RESULTADOS

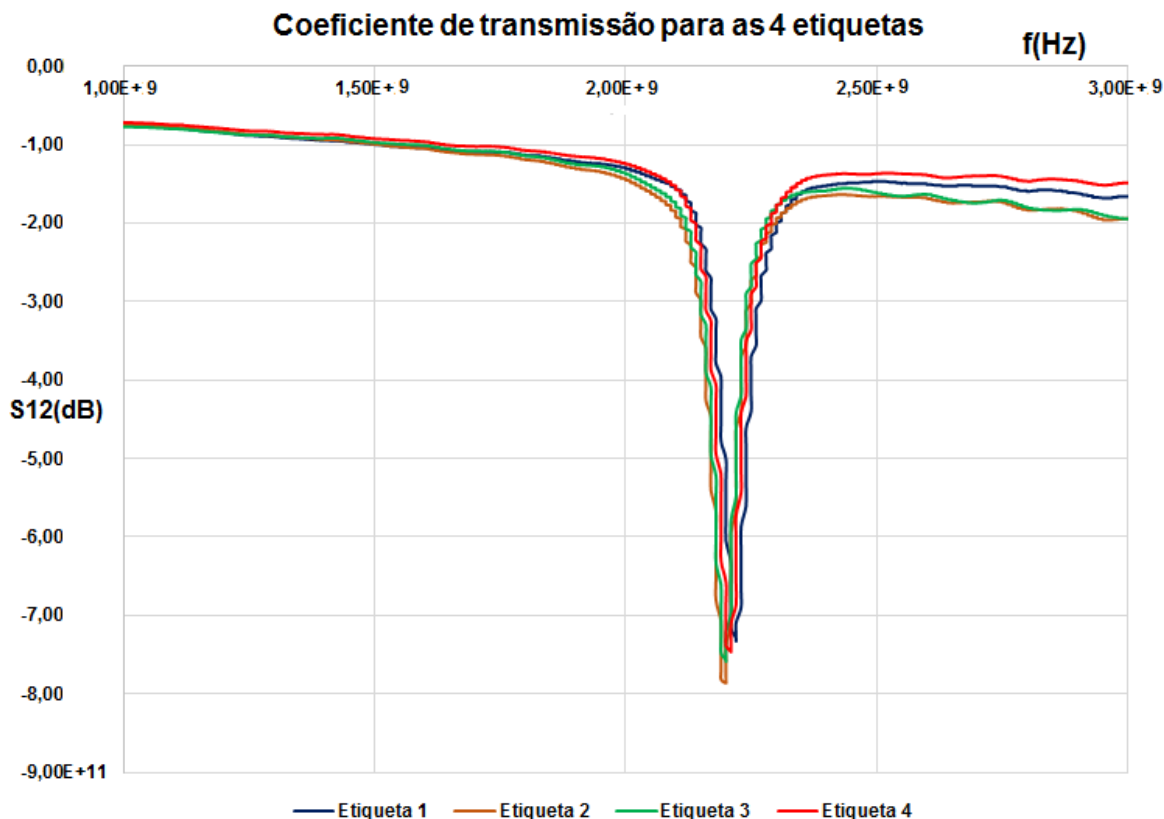
4.5.1. RESULTADOS PARA A UMIDADE RELATIVA DO AR CONSTANTE

Para as 4 etiquetas confeccionadas, foi aplicado um sinal banda larga na faixa de 1,5 GHz até 3 GHz. A resposta para o coeficiente de transmissão das 4 etiquetas é apresentada na Figura 31.

Como se pode verificar, apesar das 4 etiquetas possuírem o mesmo projeto, as mesmas dimensões e materiais, uma pequena variação na frequência central de ressonância é observada. O material de origem é composto por duas camadas de material condutor e, entre essas camadas, o substrato. A fresadora retira o condutor de uma das camadas, deixando apenas a geometria especificada. Essa máquina apresenta um certo limite de precisão, e levando em consideração que variações de décimos de milímetros na

geometria gera resultados distintos na resposta, explica-se as variações presentes nos resultados.

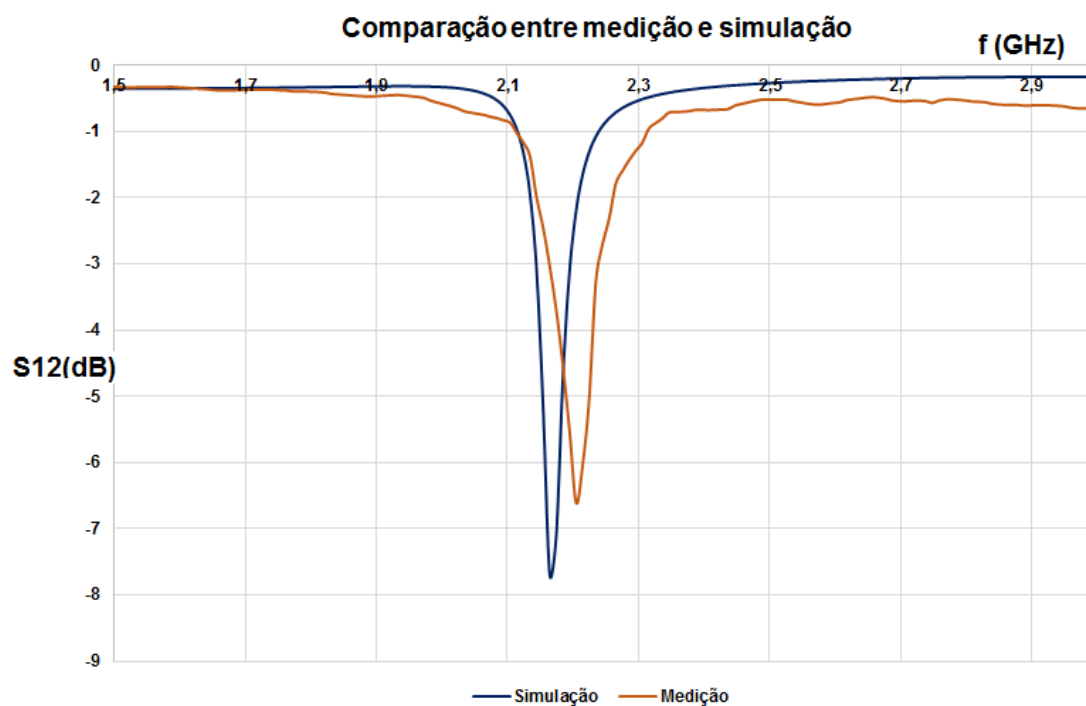
Figura 31 - Resposta em frequência das etiquetas em estudo.



Na Figura 32, é feita uma comparação entre o resultado da simulação com o resultado da medição para a etiqueta sem a camada sensível. Apesar de se verificar uma pequena variação na frequência central de ressonância dos dois resultados, percebe-se que o comportamento é bastante similar. Mas uma vez, as diferenças nos resultados estão atreladas a precisão de confecção, observada a dificuldade em se obter as dimensões especificadas. A medição ainda está sujeita a interferência e ruídos.

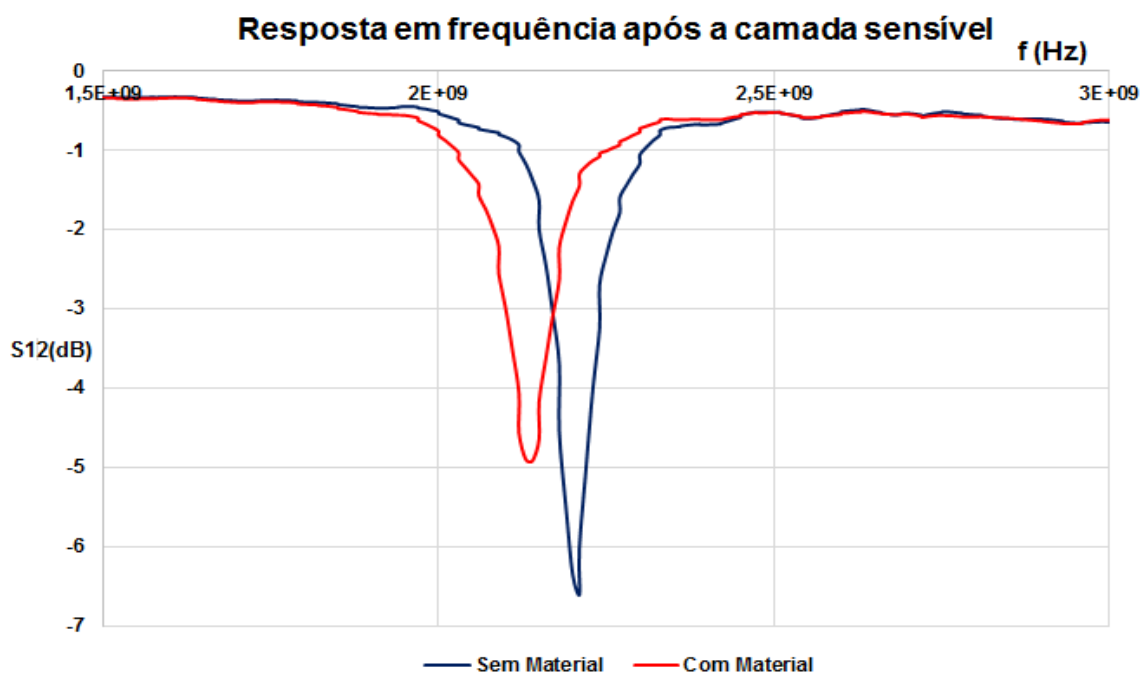
Portanto, a simulação se apresenta como uma boa ferramenta para desenvolvimento e projeto de circuitos planares, visto que se pode fazer ajustes e aperfeiçoamento antes da confecção dos circuitos.

Figura 32- Resposta em frequência da etiqueta em estudo.



Em seguida, observa-se a resposta em frequência da etiqueta RFID sem *chip*. Após a inserção da camada de poliamida termoplástica, verifica-se de imediato um desvio de frequência e queda da atenuação da resposta.

Figura 33 - Influência da camada sensível no coeficiente de transmissão.



4.5.2. RESULTADOS PARA A UMIDADE RELATIVA DO AR VARIANDO

Com as medições das etiquetas para diferentes cenários e apresentadas as comparações entre simulação e medição, e influência da camada sensível, parte-se para o estudo do comportamento da resposta em frequência do coeficiente de transmissão para um ambiente submetido à variações na umidade relativa do ar.

Como não se tinha disponível um sensor para aferir a umidade relativa do ar em cada instante de medição e realizar a associação entre a frequência central de ressonância com uma umidade específica, observou-se apenas o desvio na frequência. Mas sabe-se que quanto mais tempo aspergindo vapor no ambiente, mais úmido o ambiente se encontra.

A primeira medição foi realizada para a umidade do ambiente, a frequência de ressonância foi de 2,14 GHz. Ligou-se o nebulizador, e um novo registro da resposta foi gravado a cada 15 segundos, totalizando quatro medições e 45 segundos de exposição da etiqueta RFID sem *chip* ao vapor de umidade.

A Figura 34 apresenta os resultados para as quatro medições, para 15 segundos a frequência central foi 2,13 GHz, 30 segundos com 2,12 GHz e por fim, 45 segundos com 2,11 GHz. Nota-se que a frequência variou de forma linear a medida que a etiqueta era exposta à variações na umidade. Quando o ar ficava mais úmido, a frequência central diminuía.

Vale ressaltar que no momento em que o nebulizador foi desligado, a frequência deslocou-se no sentido inverso, até o ponto inicial, ou seja, a resposta do material quando submetido às variações de umidade é rápida, podendo regenera-se em poucos segundos, acompanhando com facilidade às mudanças do clima.

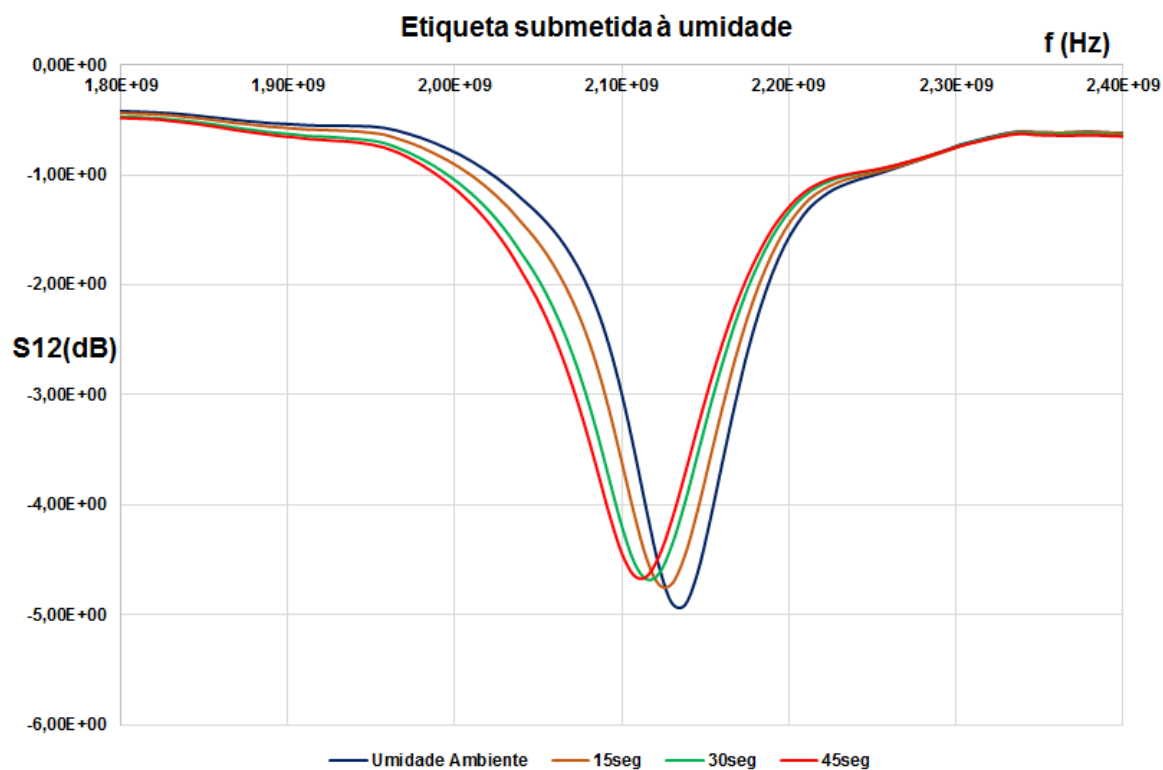


Figura 34 - Resposta para mudanças na umidade.

Para validar a influência da camada de poliamida termoplástica como a responsável pelo desvio na frequência, realizaram-se novas medições, sem a camada sensível e aplicando o vapor. O nebulizador permaneceu ligado por vários minutos e não foi observada variação alguma na frequência central. No momento em que a camada era inserida, a frequência começava a se deslocar. Com isso, justificando a necessidade de uma camada a mais na etiqueta RFID sem *chip* para a observação da variação da umidade relativa do ar.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

No presente trabalho, foi analisada a influência de grandezas físicas do ambiente na resposta em frequência do coeficiente de transmissão de uma etiqueta RFID sem *chip*, em destaque para a umidade relativa do ar. Mas destacando a necessidade de uma camada adicional de um material sensível à tais fenômenos.

A geometria para a etiqueta RFID sem *chip*, baseada em multi-ressonadores em espiral apresentou uma resposta satisfatória, levando em consideração a simplicidade de confecção e o baixo custo do material dielétrico, custo que está associado à constante de perdas, portanto o FR4 apresenta mais perdas do que outros materiais de custo elevado.

A poliamida termoplástica, utilizada como material sensor, mostrou-se muito eficiente no que diz respeito à percepção da umidade, proporcionando uma excelente interação com a etiqueta, resultando em um conjunto sensor de grande potencial para medições de umidade.

Para um resultado mais consistente, seria de grande valia a medição da umidade, para associá-la à frequência de ressonância, assim seria possível fazer uma calibração do sensor proposto.

O aluno pôde desenvolver habilidades no âmbito de pesquisa, realizando uma vasta consulta na bibliografia, a fim de apresentar sua geometria de etiqueta RFID sem *chip*, e escolha de um material sensor adequado. Com relação às simulações, foi de grande valia a utilização dos *softwares* para análise de circuitos planares, a fim de facilitarem a escolha de uma geometria para o sensor. As medições em laboratório puderam colocar o aluno em contato com equipamentos para com isso, desenvolver familiaridade com o laboratório e instrumentos de medição em radiofrequência e micro-ondas.

Após a realização de todo o estudo bibliográfico, simulações e medições em laboratório, percebe-se o potencial da Radiometria na área de sensores, e como as etiquetas RFID sem *chip* como sensores, podem ser aplicadas em

diversas áreas, sendo de grande relevância o seu estudo. E considerando a imediata demanda de sensores para aplicação na *internet* das coisas, é de grande importância o estudo realizado.

Como trabalhos futuros, pode-se apontar: análise de diferentes geometrias RFID sem *chip* para o monitoramento da umidade, além de uma comparação da resposta em frequência para diferentes materiais sensores, avaliando qual apresenta melhor desempenho frente à umidade, ou frente a outras características do ambiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TEDJINI, S.; KARMAKAR, N.; PERRET, E.; VENA, A.; KOSWATTA, R.; E-AZIM, R., "Hold the Chips: Chipless Technology, an Alternative Technique for RFID," *IEEE Microwave Magazine*, vol.14, no.5, pp.56,65, Jul-Ago. 2013.
- [2] DONGGEON LEE; SEONGYUN KIM; HOWON KIM; NAMJE PARK, "Mobile Platform for Networked RFID Applications," *Information Technology: New Generations (itng)*, pp.625, 630, 12-14 Abril 2010.
- [3] AKBARI, ALIAKBAR; MIRSHAHI, SHIVA; HASHEMIPOUR, MAJID, "Comparison of RFID System and Barcode Reader for Manufacturing Processes," *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 2015 IEEE, pp.502,506.
- [4] S. PRERADOVIC, I. BALBIN, N. C. KARMAKAR AND G. SWIEGERS, "A Novel Chipless RFID System Based on Planar Multiresonators for Barcode Replacement," *IEEE International Conference on RFID*, Las Vegas, NV, 2008, pp. 289-296.
- [5] D. BETANCOURT ET AL., "Square-shape fully printed chipless RFID tag and its applications in evacuation procedures," *European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Lisboa, 2015, pp. 1-5.
- [6] S. DEY, E. M. AMIN, J. K. SAHA AND N. C. KARMAKAR, "A brief overview of chipless RFID sensors with EM transduction," *International Conference on Electrical and Computer Engineering*, Dhaka, 2014, pp. 765-768.
- [7] E. M. AMIN, J. K. SAHA AND N. C. KARMAKAR, "Smart Sensing Materials for Low-Cost Chipless RFID Sensor," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, no. 7, pp. 2198-2207, Julho 2014.
- [8] LEANDRO BELLATO, Umidade Relativa do Ar e Saúde. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/verao/noticia/2016/07/03/umidade-relativa-do-ar-e-saude-5603>>. Acesso em: 2 jun. 2017.
- [9] KÉSIA O. DA SILVA, Sistema automatizado para aquisição de dados de umidade relativa do ar. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-6916200700040005>. Acesso em: 2 jun. 2017
- [10] A. HABIB, M. A. AFZAL, H. SADIA, Y. AMIN AND H. TENHUNEN, "Chipless RFID tag for IoT applications," *IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, Abu Dhabi, 2016, pp. 1-4.
- [11] S. PRERADOVIC, N.C. KARMAKAR, "Chipless RFID: Bar Code of the Future," in *IEEE Microwave Magazine*, vol.11, no.7, pp.87-97, Dezembro 2010.
- [12] ALBUQUERQUE, C. C. R.; SERRES, ALEXANDRE; SOUSA, B. J. S., "Etiqueta RFID Sem Chip Baseada em Guia de Onda Coplanar," *Encontro anual do IECOM em comunicações, redes e criptografia*, Outubro 2015.

- [13] S. PRERADOVIC, S. ROY AND N. KARMAKAR, "Fully printable multi-bit chipless RFID transponder on flexible laminate," Asia Pacific Microwave Conference, Singapore, 2009, pp. 2371-2374.
- [14] B. KUBINA, M. SCHÜBLER, C. MANDEL, A. MEHMOOD AND R. JAKOBY, "Wireless high-temperature sensing with a chipless tag based on a dielectric resonator antenna," IEEE SENSORS, Baltimore, MD, 2013, pp. 1-4.
- [15] A. VENA, L. SYDÄNHEIMO, M. M. TENTZERIS AND L. UKKONEN, "A novel inkjet printed carbon nanotube-based chipless RFID sensor for gas detection," 2013 European Microwave Conference, Nuremberg, 2013, pp. 9-12
- [16] T. LE, R. A. BAHR, M. M. TENTZERIS, B. SONG AND C. P. WONG, "A novel chipless RFID-based stretchable and wearable hand gesture sensor," European Microwave Conference (EuMC), Paris, 2015, pp. 371-374.
- [17] S. MOSCATO ET AL., "Chipless RFID for space applications" IEEE International Conference on Wireless for Space and Extreme Environments (WiSEE), Noordwijk, 2014, pp. 1-5.
- [18] M. H. ZARIFI AND M. DANESHMAND, "High-Resolution RFID Liquid Sensing Using a Chipless Tag," in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 27, no. 3, pp. 311-313, Março 2017.
- [19] W. SU, QI LIU, B. COOK AND M. TENTZERIS, "All-inkjet-printed microfluidics-based encodable flexible chipless RFID sensors," IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), San Francisco, CA, 2016, pp. 1-4.
- [20] K. DIONNE, H. EL MATBOULY, F. DOMINGUE AND L. BOULON, "A chipless HF RFID tag with signature as a voltage sensor," IEEE International Conference on Wireless Information Technology and Systems (ICWITS), Maui, HI, 2012, pp. 1-4.
- [21] R. SUWALAK, K. LERTSAKWIMARN, C. PHONGCHAROENPANICH AND D. TORRUNGRUENG, "Dual-band chipless RFID sensor for a material quality monitoring application," International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Okinawa, 2016, pp. 1004-1005.
- [22] S. DEY AND N. C. KARMAKAR, "Chipless RFID strain sensors: A novel feasibility analysis in terms of conventional patch antennas," IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC), Hyderabad, 2015, pp. 72-75.
- [23] E. PERRET, "Displacement Sensor Based on Radar Cross-Polarization Measurements," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 65, no. 3, pp. 955-966, Março 2017.
- [24] E. M. AMIN AND N. KARMAKAR, "Partial discharge monitoring of High Voltage equipment using chipless RFID sensor," Asia-Pacific Microwave Conference, Melbourne, VIC, 2011, pp. 1522-1525.
- [25] A. ATTARAN, R. RASHIDZADEH AND R. MUSCEDERE, "Chipless RFID tag using RF MEMS switch," in Electronics Letters, vol. 50, no. 23, pp. 1720-1722, 2014.

[26] DURVAL RAMOS JUNIOR, O que são MEMS?. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/nanotecnologia/3254-o-que-sao-mems-.htm>>. Acesso em: 29 jun. 2017

[27] SOLVER POLYIMIDE, Propriedades Químicas de Poliamida Termoplástica. Disponível em: <<http://pt.chinapolyimide.com/news/chemical-properties-of-thermoplastic-polyimide-28378.html>>. Acesso em: 21 jul. 2017.