

Projeto e Análise de Etiquetas RFID Chipless com Multiressonadores

Solival Zito, Elson J. Silva e Diogo B. Oliveira

Resumo— Os ressonadores são elementos importantes no sistema de RFID chipless, pois o número de ressonadores é o número de bits do sistema. Nossa proposta foi proporcionar frequências de ressonâncias afastadas para evitar interferências entre os ressonadores, com tamanhos adequados para a construção física e alto fator Q. A antena monopolo UWB é uma boa escolha para o sistema, pois aloca todas as ressonâncias devido a sua banda larga e atendem outros requisitos. Foram realizadas simulações eletromagnéticas com o Software HFSS e foram feitas medições para validar a proposta apresentada.

Palavras-Chave— RFID Chipless, Ressonadores, Antenas.

Abstract— Resonators are important elements in the chipless RFID system because the number of resonators is the number of bits in the system. Our proposal was to provide frequencies of remote resonances to distant interference between the resonators, using sizes suitable for physical construction and high Q factor. The monopole antenna UWB is a good choice for the system because they allocate all the resonances due to their broadband. Electromagnetic simulations were carried out using the software HFSS to create the tags and measurements were taken to validate the proposal presented.

Keywords— RFID Chipless, Resonators, Antenna.

I. INTRODUÇÃO

O Radio Frequency IDentification (RFID) é uma tecnologia sem fio usado para comunicação de informação digital entre um dispositivo estacionário e um ou mais objetos móveis [1]. O sistema convencional com chip apresenta vantagens sobre outras tecnologias de identificação, mas ainda perde em pontos positivos que podem ser explorados quando comparados à etiqueta chipless (sem chip), como: menor custo, maior confiabilidade, não necessita de casamento de impedância (entre a antena e o chip), permanência em ambientes insalubres (lugares húmidos, de extrema temperatura alta ou baixa) e, sobretudo em locais sujeitos à vibração mecânica [2].

O maior desafio dos projetos de RFID chipless está na capacidade de armazenamento de dados, cada ressonador representa 1 bit no sistema [2]. Para suprir diversas aplicações necessitam de vários ressonadores. Outro desafio é colocar várias ressonâncias alocadas numa determinada faixa de frequência, sendo que cada ressonador ocupa uma grande faixa, isso ocasiona outro problema que são as interferências e ressonâncias espúrias, caso não haja uma banda de guarda suficiente para separar as ressonâncias. Muitas soluções presentes na literatura consistem na criação de etiquetas de grande tamanho, por conta dos números de ressonadores, outras soluções apresentam diferentes formatos de ressonadores na mesma etiqueta [2], [3].

Solival Zito (1), solivalzito@hotmail.com; Elson J. Silva (1), elson@cpdee.ufmg.br; Diogo B. Oliveira (1), diogo.batista@gmail.com.

(1) Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – Minas Gerais.

Neste artigo apresentamos uma metodologia, cujo excelente desempenho ficou evidenciado através de rigorosas simulações eletromagnéticas, usando ressonador espiral planar de alto fator Q, com intuito de diminuir a banda de ocupação dos ressonadores, visando o aumento do número ressonadores e a diminuição do tamanho da etiqueta, variando o comprimento dos elementos ressonantes, mas mantendo o seu formato planar.

II. ETIQUETAS BASEADOS EM RESSONADORES

O sistema baseado em multiressonadores é uma das categorias de RFID mais discutido nos últimos anos, pesquisadores de todo o mundo adicionaram vários recursos às etiquetas sem chip, como diversidade de polarização, forma de detecção da etiqueta, capacidade de codificação e, sobretudo propostas com diferentes elementos que compõem os circuitos multiressonantes.

Alguns autores usam ressonadores cônicos abertos como em [4], a capacidade de codificação relatada é de 28 bits. Verificou-se que quando são utilizados vários ressonadores, podem ser observados modos de terceira ordem, que ocorrem devido ao acoplamento produzido entre os ressonadores.

Uma etiqueta com 36 bits é detalhada em [5], o ressonador tem a forma de gravata de borboleta (bowtie-shaped), embora tenha alta capacidade de dados, existe interferência mútua entre os slots de um patch com outro. Em [6] é apresentado ressonadores com fendas em anel (slot rings). Essa etiqueta é baseada numa técnica de codificação híbrida, que combina o desvio de fase à posição da frequência. O sistema tem a capacidade de codificação de 22 bits, como a estrutura não possui plano-terra, características eletromagnéticas são influenciados pelos parâmetros do objeto etiquetado, alterando a ressonância, causando um efeito não desejável.

O circuito multiressonante escolhido para os projetos da etiqueta nesse artigo é formado por ressonadores espirais retangulares, no formato planar. Esses ressonadores são vantajosos para etiquetas baseados em assinatura espectral, porque eles são de banda estreita, o que indica um alto fator Q. A técnica aplicada é baseada na referência [2], serão mostrados os desafios encontrados ao longo da criação do circuito multiressonante não apontados em [2], como a múltipla ressonância de um ressonador, a análise da linha de transmissão, simulações das antenas diretamente na etiqueta projetada. Outra diferença aplicada pela primeira vez numa etiqueta com muitos ressonadores é de manter o formato espiral sob as mesmas dimensões (altura, número de espira, distância entre espiras), alterar as frequências de ressonâncias apenas com a mudança dos comprimentos destes, ao contrário dos ressonadores usados em [2] que apresentam mudanças em vários parâmetros na sua dimensão. O projeto ainda apresenta o plot da densidade de corrente em algumas ressonâncias da

resposta em frequência (S2,1) como uma maneira de verificar o acoplamento individual de cada ressonador.

III. PROJETOS, ANÁLISE E VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL

Uma das métricas de eficiência das etiquetas RFID sem chip é a capacidade de codificação, que pode ser medida por área e por banda espectral. É interessante que a etiqueta possa transmitir o maior número de bits possíveis ocupando uma área pequena e utilizando uma baixa faixa de frequência. O máximo já reportado foi 35 bits em uma área (8.8cm x 6.5cm dos ressonadores) [7].

Nesse projeto mostramos que é possível otimizar a área de uma etiqueta alterando a geometria da linha de transmissão (formato físico), por isso criamos dois projetos com os seguintes requisitos: vinte e um ressonadores em cascata usando a tecnologia da linha microfita entre 3.1GHz à 7.1GHz, com duas antenas monopolo UWB. Existem várias aplicações para essa etiqueta, como por exemplo, para correia transportadora (conveyor belt), para identificação de bagagem em aeroportos. Em relação à quantidade de passageiros, a etiqueta possui 21 bits, o que resulta em 2097152 combinações, suficiente para etiquetar qualquer aeroporto de grande fluxo.

A. Projeto 1

A área de construção do projeto deve ser a menor possível, apesar do fator de atenuação da linha dobrada não ser desejável, ela será a melhor solução para a etiqueta com os vinte e um ressonadores. Para melhorar o desempenho e minimizar o problema das perdas, uma solução é o uso de substrato com a menor tangente de perda possível.

O substrato comercial escolhido para o projeto é da Rogers corporation, o modelo RT/Duroid 5870, com a constante dielétrica de 2,33 e uma tangente de perda de 0,0012 em até 10GHz [8].

Com os dados do datasheet [8], podemos dar início ao projeto da linha de microfita calculando a largura da fita condutora. Segundo Ribeiro [9] a impedância característica é dada pela equação (1) com $1 \leq \frac{b}{h} \leq 10$:

$$Z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{ref}} \left\{ \frac{b}{h} + \frac{39}{28} + \frac{2}{3} \ln \left(\frac{b}{h} + \frac{1155}{800} \right) \right\}} \quad (1)$$

Onde b é espessura da fita condutora, h é a espessura do substrato e ϵ_{ref} é a constante dielétrica efetiva.

Para $h = 0.787mm$ e $\epsilon_{ref} = 2.33$ fornecidos pelo fabricante em [8], calcula-se $b = 2.2mm$ com $Z_o = 50\Omega$.

Os vinte e um ressonadores foram projetados em cascata com diferentes comprimentos para operarem na banda de frequência da antena, como mostra a Fig. 1.

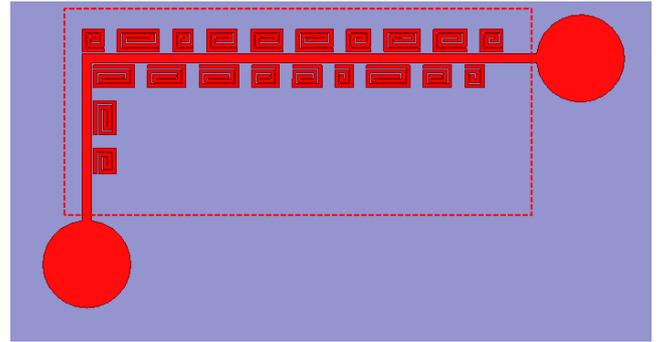


Fig. 1. Geometria da etiqueta proposta no modelo HFSS.

A etiqueta tem o tamanho total de 149mm x 81mm (Horizontal x Vertical), o que origina uma área de 12069 mm². Sendo que os ressonadores ocupam 110mm x 46,4mm.

Os parâmetros de construção dos ressonadores são: a distância entre as espiras de 0.3mm, a espessura das espiras de 0.8mm, a altura (largura) de 5.2mm e a distância entre a linha de transmissão e os ressonadores é de 0.4mm.

A resposta em frequência simulado dos ressonadores é apresentada na Fig. 2.

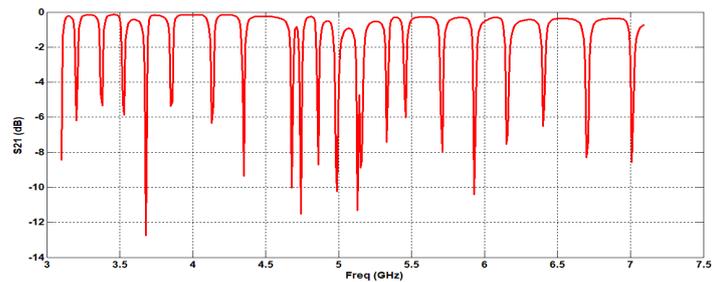


Fig. 2. Resposta em frequência (S2,1) simulado dos vinte e um ressonadores.

B. Projeto 2

A presença da etiqueta no objeto deve ser discreta. O objetivo é reduzir a área da etiqueta. Para minimizar a área do Projeto 1, os espirais foram colocadas em ambos os lados da linha de microfita, mas isso não foi suficiente. Diminuir o tamanho dos ressonadores não é uma solução eficaz, porque ressonadores muito pequenos podem dificultar a construção física da etiqueta, por isso os tamanhos dos ressonadores serão mantidos.

O Projeto 2 terá alteração na geometria da linha, a ideia consiste na criação de uma linha menos espaçosa (linhas com curvas), para acomodação de todos ressonadores. A Fig. 3 apresenta a topologia da nova linha e a sua perda de retorno (S1,1) para verificar o casamento de impedância.

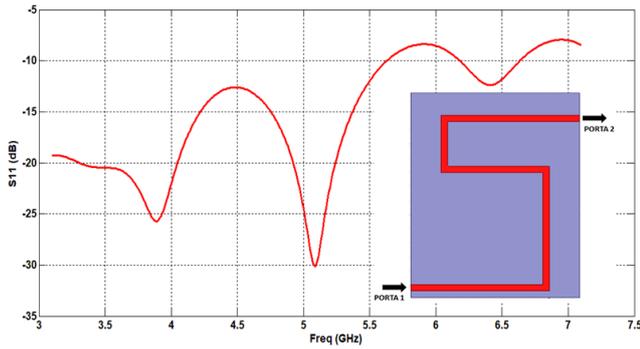


Fig. 3. Linha de transmissão proposta alimentada com duas portas e sua resposta em frequência (S1,1) simulado.

O problema dessa enorme dobra na linha é a perda, originada das possíveis reflexões das ondas, até mesmo pela alteração da direção de propagação da onda guiada. Além disso, existem as perdas devido às contribuições do substrato, do condutor da fita e do plano-terra. Dependendo das características constitutivas e eletromagnéticas, computam-se ainda perdas por irradiação em frequências muito elevadas [9].

A perda de retorno da linha do Projeto 1 estava abaixo de -16dB (gráfico não apresentado no artigo) ao longo de toda a banda de operação, mostrando um casamento de impedância satisfatório. Para a linha do Projeto 2, a Fig.3 mostra que a perda de retorno está acima de -10dB em algumas faixas de interesse, ou seja, essa linha não apresenta um casamento satisfatório. Essas perdas podem impedir o acoplamento com os ressonadores e piorar o desempenho das antenas.

As perdas são excessivas, por causa das quatro dobras em 90° ao longo da linha. As dobras acentuadas podem causar altos coeficientes de ondas estacionárias, prejudicando seu desempenho. A solução adotada para reduzir essas perdas e reflexões é tornar a curvatura menos acentuada, isto é, com uma inclinação de 45° que levam o coeficiente de reflexão quase a zero [9]. A linha com dobras menos acentuadas e a perda de retorno são apresentados na Fig. 4.

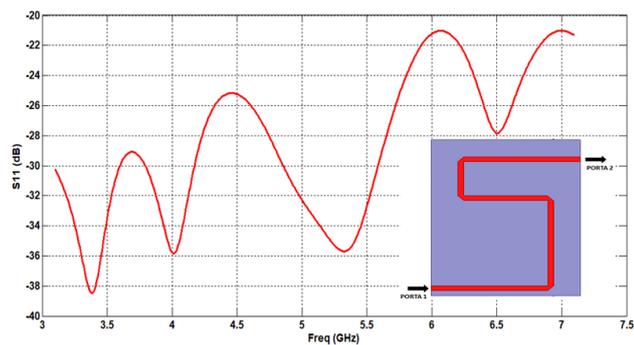


Fig. 4. Linha de transmissão dobrada em 45° alimentada com duas portas e sua resposta em frequência (S1,1) simulado.

O resultado é desejável para o projeto, um valor abaixo de -20dB em toda faixa de interesse. Após a escolha de uma geometria menor que a do projeto anterior, a próxima etapa é a construção dos ressonadores, sob as mesmas condições de dimensões. Os vinte e um ressonadores foram projetados em cascata com diferentes comprimentos para operarem na banda de frequência da antena, como mostra a Fig. 5.

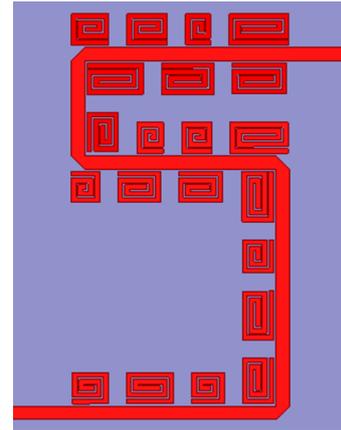


Fig. 5. Vinte e um ressonadores para a codificação da etiqueta.

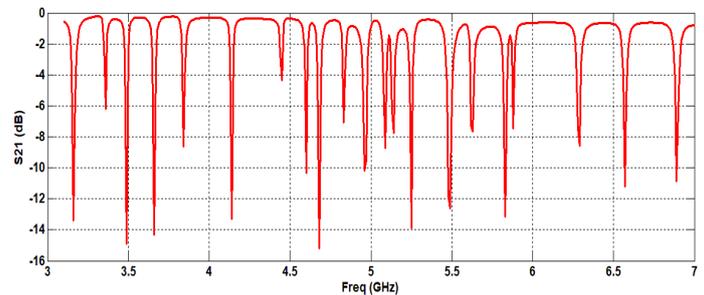


Fig. 6. Resposta em frequência (S2,1) simulado dos vinte e um ressonadores.

Há necessidade de bandas de guarda entre as ressonâncias, para que não ocorram erros de leitura da etiqueta, pois, sem as bandas de guarda, alguns ressonadores podem acoplar com a linha de transmissão na frequência de ressonância de ressonadores adjacentes. Uma maneira de verificar se há interferência ou não, é pela densidade de corrente (ou dos campos elétricos e magnéticos) em cada ressonância.

A resposta em frequência (S2,1) da Fig. 6 tem como menor banda de guarda de 50MHz, existente entre as ressonâncias R12 (5,09GHz) e R13 (5,14GHz), esse valor de banda é baixo. É necessário verificar se há interferência entre essas duas ressonâncias muito próximas.

A ressonância R12 (5,09GHz) tem como densidade de corrente mostrado na Fig. 7, o acoplamento foi exatamente em um único ressonador.

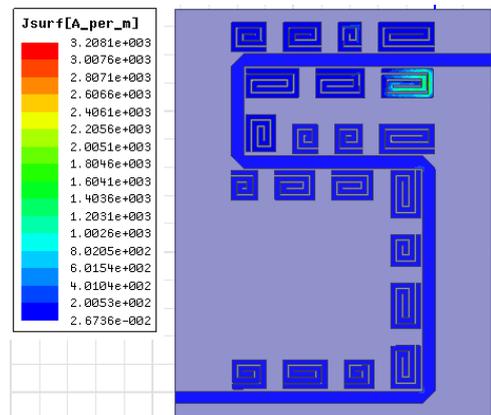


Fig. 7. Densidade de corrente em 5.09GHz.

A ressonância R13 (5,14GHz) tem a densidade de corrente mostrado na Fig. 8, indicando que é de um ressonador diferente do anterior.

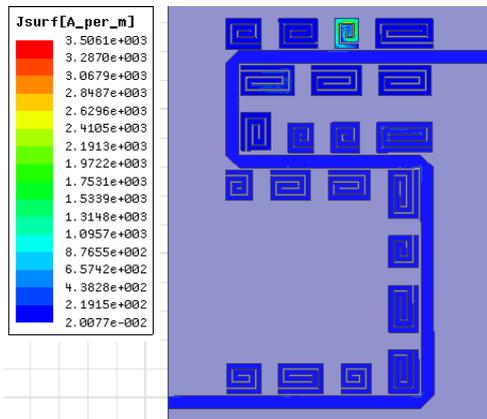


Fig. 8. Densidade de corrente em 5.14GHz.

Apesar das ressonâncias estarem muito próximas, ficou claro que a banda de guarda em frequência é suficiente, pois, não se observa interferências entre os ressonadores. De modo análogo, é necessário garantir que outras ressonâncias sejam testadas, porque apesar do pior caso (menor banda de guarda), ter mostrado uma separação adequada, não garante que as outras bandas estejam adequadas. Para não alongar o texto, não serão apresentados os plots da densidade de corrente dos restantes ressonadores, mas todos foram testados.

Comparando os dois circuitos multirressonantes, o Projeto 1 possui o tamanho de 110mm x 46,4mm (Horizontal x Vertical). O Projeto 2, apresenta uma redução de aproximadamente 30% na área, pois ele possui o tamanho de 50mm x 72,4mm (Horizontal x Vertical).

C. Medição

A antena, como mostra a Fig. 9 foi montada com substrato RT/Duroid 5870 [8] da Roger Corporation, ligada a um conector para a alimentação do circuito.

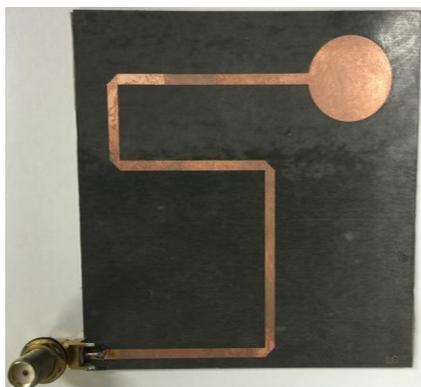


Fig. 9. Fotografia do protótipo da antena com os parâmetros usados na simulação.

Foi feita a medição da antena, com uso de um VNA (vector Network analyzer) E5063A da Agilent. A perda de retorno medida é apresentada na Fig. 10.

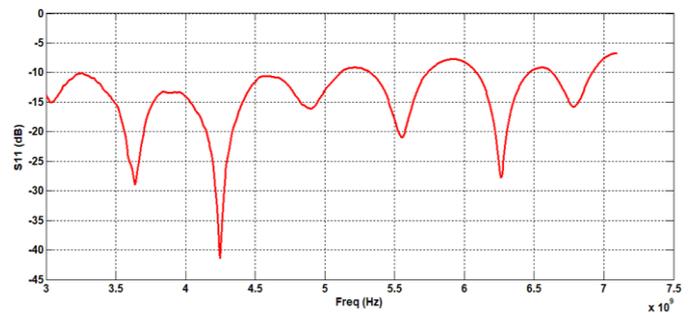


Fig. 10. Resposta em frequência (S1,1) medido do protótipo da antena.

Foi confeccionado o circuito multirressonante proposto com vinte e um ressonadores, como mostra a Fig. 11, com os mesmos parâmetros usados na simulação. Foi usado dois conectores nas portas 1 e 2.



Fig. 11. Fotografia do protótipo do circuito multirressonante parâmetros usados na simulação.

Foi feita a medição do circuito multirressonante, com uso de um VNA (vector Network analyzer) E5063A da Agilent. A resposta em frequência (S2,1) obtida é apresentada na Fig. 12.

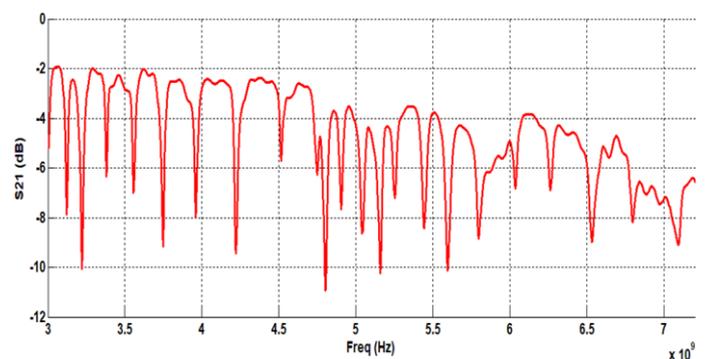


Fig. 12. Resposta em frequência (S2,1) medido do protótipo do circuito multirressonante.

A Tabela I mostra os valores das frequências de ressonâncias da simulação e medição do circuito

multirressonante, bem como a diferença de frequência entre ambos, definido como Δ .

Tabela I. Valores das frequências de ressonâncias simulado e medido.

Ressonância	Simulado	Medido	Erro (Δ)
R1	3.16	3.12	0.04
R2	3.36	3.22	0.14
R3	3.49	3.38	0.11
R4	3.66	3.55	0.11
R5	3.84	3.74	0.10
R6	4.14	3.96	0.18
R7	4.45	4.22	0.23
R8	4.6	4.51	0.10
R9	4.68	4.79	0.11
R10	4.83	4.9	0.07
R11	4.96	5.04	0.08
R12	5.09	5.15	0.06
R13	5.14	5.25	0.23
R14	5.25	5.45	0.20
R15	5.49	5.59	0.10
R16	5.63	5.79	0.16
R17	5.80	6.03	0.23
R18	5.88	6.26	0.38
R19	6.29	6.53	0.36
R20	6.57	6.79	0.22
R21	6.90	7.08	0.18

A medição do circuito mostra as vinte e uma ressonâncias dentro da banda de interesse, mas houve pequenos deslocamentos de frequências em comparação com o resultado simulado. Esse resultado pode ser justificado por vários parâmetros que podem alterar a resposta em frequência no processo de fabricação do protótipo físico, como permissividade elétrica, tamanho da fita condutora da linha, possível variação da tangente de perda, mudanças nas trilhas dos ressonadores e etc. Por exemplo, a permissividade elétrica usada nas simulações é de 2.33 e a permissividade de processo em [8] é de 2.33 ± 0.02 , o que ocasiona pequenas mudanças na resposta em frequência se comparado com o resultado simulado.

IV. CONCLUSÕES

Esse artigo vem para mostrar que sistemas RFID chipless baseado em assinatura espectral é uma solução promissora para aplicações que necessitam vários bits de informação.

A proposta de manter o formato espiral com as mesmas dimensões, ou seja, sob mesma altura, número de espiras, gap, largura das espiras, distância entre espiras, com alteração apenas no seu comprimento, foi aplicada pela primeira vez numa etiqueta com muitos ressonadores. Os resultados obtidos foram os esperados, cada ressonador teve uma ressonância individual na banda de 3,1GHz à 7,1GHz. O circuito multirressonante apresentou ressonância de maior banda em torno de 140MHz. Esse resultado é positivo, porque possibilitou a implementação de várias ressonâncias na faixa de frequência de interesse.

Para validar a etiqueta proposta por meio de conceitos e simulações eletromagnéticas, foi feito um protótipo físico do Projeto 2. Foi escolhido o Projeto 2 porque é uma versão de menor tamanho, o que torna mais propício para aplicações comerciais.

A antena monopolo foi projetada utilizando a linha de alimentação de microfita. As perdas de retorno simuladas/medidas foram abaixo de -10dB, na faixa de operação desejada, o que confirmou a combinação bem sucedida das antenas com uma impedância de 50 ohm.

REFERÊNCIAS

- [1] Volakis, John; Chen, Chi-Chih; Fujimoto, Kyohei et al. *Small Antennas Miniaturization Techniques and Applications*. McGraw-Hill, 2010;
- [2] Preradovic, Stevan. *Chipless RFID System for barcode Replacement*. 2009. 231f. Thesis (Doctor of Philosophy) – Monash University;
- [3] Souza, Gilberto de Tadeu Santos. *Nova etiqueta chipless de RFID com comunicação redundante*. 61f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas – Unicamp;
- [4] R. Nair et al., "A novel fully printed 28-bits capacity chipless RFID tag based on open conical resonators," Proc. Progress In Electromagnetics Research Symposium, pp.2219 – 2222, Aug. 2014;
- [5] H. Anam, A. Habib, S. I. Jaffi, Y. Amin, H. Tenhunen, "Directly printable frequency signed chipless RFID tag for IoT applications", Radio Eng., vol. 26, no. 1, pp. 139-146, Apr. 2017;
- [6] Vena A., Perret E, Tedjini S. "Chipless RFID tag using hybrid coding technique". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2011, vol. 59, no. 12, p. 3356-3364. DOI: 10.1109/TMTT.2011.2171001;
- [7] Preradovic, S.; Karmakar, N. C. G.F.(2009). *Design of Fully Printable Planar Chipless RFID Transponder with 35-bit Data Capacity*. Proceedings of the 39th European Microwave Conference ;
- [8] Rogers Corporation, "RT/Duroid 5870/5880 High Frequency Laminates Data Sheet". 2017 ;
- [9] Ribeiro, J. A. J. *Engenharia de Microondas: Fundamentos e Aplicações*. São Paulo: Érica, 2012;
- [10] Preradovic, S.; Balbin, I, N.& Swiegers, G.F.(2009). *Multiresonator-Based Chipless RFID System for Low-Cost Item Tracking*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique;
- [11] I. Balbin and N. Karmakar, "Novel chipless RFID tag for conveyor belt tracking using multi-resonant dipole antenna," in Proc. 39th European Microwave Conf., Rome, Italy, Sept. 2009, pp. 1109-1112;
- [12] Liang, Jianxin. *Antenna Study and Design for Ultra Wideband Communication Applications*. 2006. 202f. Thesis (Doctor of Philosophy) – University of London;
- [13] Liang, Jianxin. *Antenna Study and Design for Ultra Wideband Communication Applications*. 2006. 202f. Thesis (Doctor of Philosophy) – University of London;
- [14] R. R. Fletcher, "Low-cost electromagnetic tagging: design and implementation", PhD Thesis, September 2002;
- [15] Genovesi, S.; Costa, F.; Monorchio, A.; Manara, G. *Chipless RFID Tag Exploiting Multifrequency Delta-Phase Quantization Encoding*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol.15, 2016.