

Proposta de uma Antena Planar do tipo *Meander Line* Impressa para Aplicações em Tecnologia IoT

Estefanie Rayane Silva de Oliveira
dept. de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido-UFERSA
Mossoró, Brasil
estefanierayane159@gmail.com

Emerson Nunes dos Santos
dept. de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido-UFERSA
Mossoró, Brasil
emerson.nunes@alunos.ufersa.edu.br

Humberto Dionísio de Andrade
dept. de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido-UFERSA
Mossoró, Brasil
humbertodionisio@ufersa.edu.br

Edson Fernandes Chaves Filho
dept. de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido-UFERSA
Mossoró, Brasil
edson.fernandes.chaves.381@gmail.com

Leonardo Oliveira de Sousa
dept. de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido-UFERSA
Mossoró, Brasil
leonardo.sousa14353@alunos.ufersa.edu.br

Matheus Emanuel Tavares Sousa
dept. de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido-UFERSA
Mossoró, Brasil
matheus.sousa@ufersa.edu.br

Resumo—O presente trabalho apresenta uma proposta de confecção e medição de uma antena de microfita planar do tipo *Meander Line* a partir da parametrização e simulação em ambiente computacional. O objetivo proposto foi que a antena opere dentro da banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*) 2,4GHz (2400MHz até 2483,5MHz) para aplicação nas tecnologias IoT (*Internet of Things*). Para isso, foi realizado uma análise qualitativa e comparativa entre o desempenho dos parâmetros da antena, como perda de retorno, diagramas de radiação e densidade de corrente, a fim de verificar sua eficácia. Os resultados se mostraram satisfatórios onde a antena confeccionada apresentou comportamento operacional em conformidade com a literatura e com o projeto simulado que embasasse trabalho.

Palavras-chaves—antena de microfita, comunicação sem fio, simulação, confecção.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico proporciona avanços constantes nas diversas áreas, buscando melhorias no desempenho dos processos industriais e cotidianos, desde tarefas simples a complexas, a partir da praticidade e produtividade ofertada pelas tecnologias inteligentes. A *Internet of Thing* (IoT), por exemplo, consiste em uma tecnologia que possibilita um ambiente de compartilhamento rápido de informações em tempo real por meio da *internet*, de rede de sensores sem fio e de dispositivos móveis conectados entre si e com os usuários. A IoT reduz largamente as limitações enfrentadas pelo alcance de cabos, por interligar objetos físicos e virtuais gerando um grande volume e processamento de dados que desencadeiam ações de comando e controle das coisas [1].

Nesse contexto, com o desenvolvimento das telecomunicações surge uma ampla gama de pesquisas na área das antenas de microfita, elementos miniaturizados de tecnologia alternativa que podem ser incorporados nos dispositivos móveis para transmissão e recepção de dados. Segundo [2] essas antenas são discretas, de fácil confecção, são versáteis em termos de frequência de ressonância, possuem baixo custo de fabricação e adaptabilidade a superfícies planas e curvas.

Diante desses aspectos, este trabalho tem como objetivo confeccionar e medir uma antena *Meander Line* que opere dentro da banda ISM 2,4GHz para aplicações na tecnologia IoT. Os procedimentos realizados serão detalhados e será feita uma comparação entre os resultados simulados e medidos referente a perda de retorno da antena. Também será discutido sobre o comportamento dos diagramas de radiação 2D e 3D e densidade de corrente obtidos por simulação. O intuito é verificar a eficácia e viabilidade da utilização dessas antenas nas tecnologias de comunicação IoT.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Antena *Meander Line*

De acordo com [2], as antenas de microfita são formadas por uma plaqueta metálica e por um plano de terra também metálico, ambos de pequena espessura, separados por uma camada de material dielétrico, denominado de substrato. Além disso, o *patch* pode apresentar diferentes formatos seja retangular, circular, triangular, dipolo e etc., e ainda o plano terra pode possuir tamanhos variáveis de modo que a disposição de ambas as estruturas irá depender da finalidade da aplicação.

Na Fig. 1, visualiza-se as camadas de uma antena de microfita com *patch* retangular, por exemplo. A antena planar do tipo *Meander Line* (MLA), por sua vez, também conhecida como antena de linha dobrada apresenta a configuração estrutural de uma antena de microfita, no entanto seu *patch* é constituído de um dipolo que pode ser encurtado dobrando continuamente em zigzag em ângulos de 90 graus, formando os chamados meandros. Além de suas características, esse diferencial em poder ocupar espaços físicos reduzidos motiva o interesse em estudar esse tipo de estrutura, visto que possui a viabilidade de se incorporar em dispositivos de tamanhos variados.

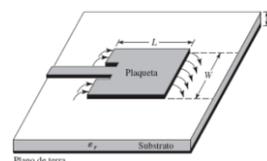


Fig. 1. Estrutura de uma antena de microfita [2].

Pesquisas científicas são elaboradas de modo a realizar projeto e confecção de antenas de microfita para diversas aplicações em virtude do seu potencial, sendo discretas, de baixo custo, adaptáveis a superfícies e de fácil fabricação. O desempenho de uma antena pode ser avaliado dentre outros parâmetros por meio da perda de retorno (RL), em inglês *Return Loss*, largura de banda (BW), em inglês *Band Width*, e diagramas de radiação de campo eletromagnético em duas e três dimensões. Em projetos simulados consegue-se obter resultados para esses parâmetros com facilidade em softwares de simulação de estruturas eletromagnéticas. No entanto, na realidade a limitação está nos diagramas de radiação, cujo comportamento é mais complexo de se obter em uma medição em laboratório.

B. Banda ISM 2,4GHz

A operação dos dispositivos móveis ocorre em faixas de frequências padronizadas que podem variar em cada país. As bandas ISM (*Industrial Scientific and Medical*) são faixas de frequências reservadas internacionalmente que não necessitam de licenças para operação, sendo utilizadas para o desenvolvimento industrial, científico e médico em projetos e ensaios. Particularmente a banda ISM 2,4GHz é largamente empregada no cotidiano na operação de diversas tecnologias de comunicação sem fio. Segundo [3], no Brasil ela compreende a faixa de 2400MHz até 2483,5MHz com largura de banda de 83,5MHz e atende a 11 canais de 22MHz. Nessa faixa opera a WLAN (em inglês *Wireless Local Area Network*), que significa rede local sem fio e atinge usualmente distâncias menores que 100 metros na transmissão de dados. Exemplo de tecnologia presente na WLAN é o *Bluetooth*.

III. MATEIAIS E MÉTODOS

A. Projeto e Simulação

A metodologia utilizada para realização do estudo proposto se baseou no projeto e simulação realizados por [4]. De acordo com [4] o projeto da antena *Meander Line* é realizado seguindo um conjunto de equações que fornece as dimensões de seus parâmetros como largura e comprimento da linha de transmissão, do *patch*, dos meandros (quantidade de voltas feitas ao dobrar o dipolo) e do plano de terra. O modelo e os parâmetros da antena em estudo são visualizados na Fig. 2. Os parâmetros correspondem a: largura do substrato (W_s); comprimento do substrato (L_s); largura do *patch* (S); comprimento do *patch* (L); espessura do meandro (W_1); distância entre meandros (d); comprimento da linha de transmissão (L_o) e largura da linha de transmissão (W_o).

No dimensionamento da antena foi determinado como dados de entrada a permissividade relativa do substrato (ϵ_r) de 4,4 e sua espessura (h) de 1,56mm e frequência de ressonância de 2,45GHz. Os demais parâmetros foram obtidos por meio de implementação computacional das equações devidas na literatura no ambiente de programação do *software* Scilab.

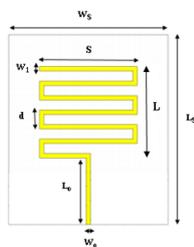


Fig. 2. Modelo da antena *Meander Line* [4].

Após o processo de parametrização, foi feito a modelagem em 3D do projeto da antena no *software* ANSYS HFSS® 2019, ambiente de simulação que utiliza o método dos elementos finitos para obter o comportamento dos parâmetros de funcionamento das estruturas eletromagnéticas. Os resultados e conclusões mostraram-se coerentes indicando-a como apta para confecção, uma vez que na simulação ela ressoa dentro da banda ISM 2,4GHz.

B. Confecção

Com base no estudo realizado por [4], têm-se o embasamento necessário para auxiliar na confecção da antena *Meander Line*. Cabe ressaltar uma problemática enfrentada durante o processo de medição em que a frequência real de ressonância estava apresentando valor indesejado ao da frequência encontrada na simulação. Após algumas análises, foi preciso uma pequena alteração no projeto original para se conseguir maior aproximação com a frequência de ressonância simulada.

Em conformidade com os conceitos inerentes na literatura, de acordo com [2], ao aumentar o tamanho do *patch* da antena, consegue-se reduzir sua frequência de ressonância. Desse modo, no intuito de reduzir o valor da frequência de ressonância, a alternativa foi aumentar o tamanho do *patch* da antena. Para isso, optou-se por alterar os valores de espessura (W_1) e a largura do *patch* (S) do projeto original. Os novos valores adequados foram estabelecidos por meio de testes na simulação e na medição, o que correspondeu a um aumento de 21,5% para W_1 e 3% para S . A Tabela 1 informa as dimensões utilizadas no protótipo da antena.

TABELA 1. DIMENSÕES DA ANTENA MEANDER LINE [4].

Parâmetros	Valor (mm)
W_o	3
L_o	16,6
W_1	4
L	46,6
S	28,8
d	10,6
L_s	69,4
W_s	65,2

Os materiais utilizados na confecção consistiram em uma placa de FR4 (fibra de vidro) com as especificações do projeto ($\epsilon_r = 4,4$ e $h = 1,56$ mm), um conector SMA com impedância de 50Ω , serra para corte, lixa para acabamento e solução de percloro. Para início da confecção foi realizado o desenho do *patch* e do substrato da antena no *software* AutoCAD, hachurando como sólido a parte que deve ficar coberta pelo cobre, como mostrado na Fig. 3. Em seguida, foi feito a impressão uv diretamente na placa de FR4, e posteriormente, a sua corrosão na solução de percloro. A Fig. 4 ilustra a antena finalizada para medição.

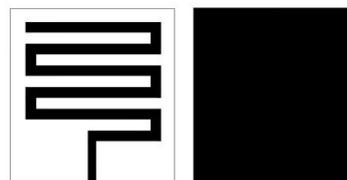


Fig. 3. Desenho no AutoCAD dos elementos da antena [autoria própria].

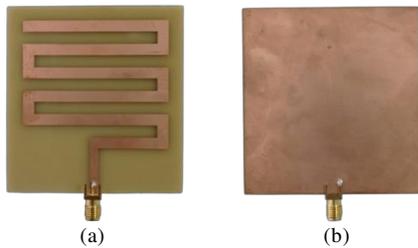


Fig. 4. Antena *Meander Line* finalizada: (a) *patch* da antena; (b) plano de terra [autoria própria].

C. Medição

A medição da antena *Meander Line* foi realizada com o auxílio do miniVNA tiny visualizado na Fig. 5. Esse equipamento proporciona a obtenção da magnitude da perda de retorno quando a antena opera no intervalo de frequência de 1MHz até 3GHz, sendo viável para o objetivo deste trabalho, uma vez que compreende a faixa ISM 2,4GHz. Na Fig. 6, vê-se como ela é conectada ao equipamento no ambiente de medição, por meio de um cabo coaxial na porta “DUT” (*device under test*), a qual configura o *software* para funcionar no modo reflexão. O miniVNA tiny é também conectado ao computador por meio de cabo USB para que através do *software* desse equipamento se obtenha o comportamento de operação da antena graficamente, como ilustrado na Fig. 7.



Fig. 5. Equipamento de medição miniVNA tiny [autoria própria].



Fig. 6. Antena conectada ao miniVNA tiny [autoria própria].

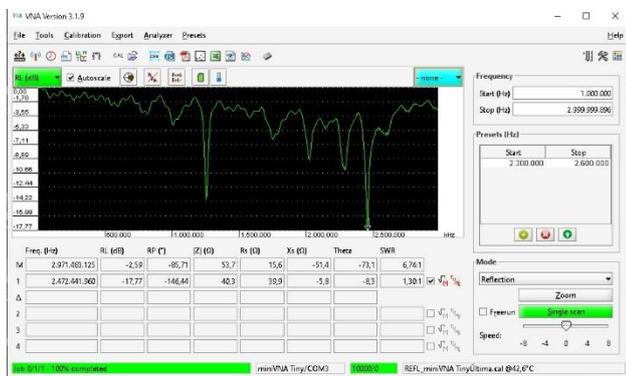


Fig. 7. Interface do *software* do miniVNA tiny [autoria própria].

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O procedimento metodológico foi executado e as informações obtidas durante a simulação e medição serão expostas e discutidas nesta seção para comparação.

A. Perda de Retorno

A Fig. 8 mostra a comparação entre o comportamento da perda de retorno obtido na simulação e medição com o miniVNA tiny. Observa-se que a antena confeccionada ressoa em uma frequência superior a de simulação de 2,45GHz, mais precisamente em 2,4724GHz com perda de retorno de -18dB. A partir do gráfico é extraída uma largura de banda igual a 40MHz, encontrada por meio do tamanho do intervalo entre a frequência inferior (2,455 GHz) e a superior (2,495 GHz), para o coeficiente de reflexão igual a -10dB, em torno da frequência central de ressonância.

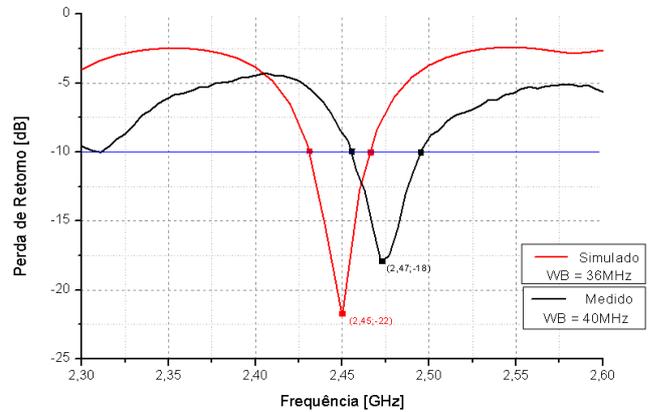


Fig. 8. Comparação entre o comportamento simulado e medido da antena [autoria própria].

Ao comparar os resultados reais com os simulados, percebe-se que a BW apresentou valor apenas um pouco superior, confirmando a classificação como banda estreita. As divergências encontradas nos valores de frequência de ressonância medido e simulado, podem ter sido ocasionadas por erros no *setup* de medição, nos ajustes e nos cabos coaxiais utilizados e por impurezas encontradas no material de fabricação FR4, que não é de altíssima qualidade.

Apesar do intervalo de frequência de operação ter sofrido alteração, o objetivo inicial é alcançado e aceitável uma vez que a antena construída ressoa em um intervalo de frequência que se encontra dentro da banda ISM 2,4GHz (2400MHz – 2483,5MHz) e atende a parte dos canais que estão alocados nessa banda.

B. Diagramas de Radiação e Densidade de Corrente

Nas Fig. 9 e 10 estão dispostos os diagramas de radiação de campo eletromagnético da antena em estudo em duas e três dimensões, respectivamente, obtidos por meio da simulação no ANSYS HFSS® 2019. A antena transmite radiação em todas as direções (360°), no sentido horizontal, caracterizando-a como proeminentemente omnidirecional, sendo o sinal emitido mais intenso na angulação de 0 a -180°. No diagrama de radiação 3D, vê-se que é indicado um ganho máximo -9,41dB. E tem-se que a antena possui polarização linear do tipo vertical.

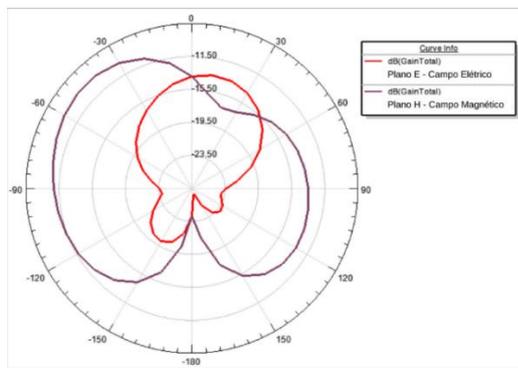


Fig. 9. Diagrama de radiação 2D [autoria própria].

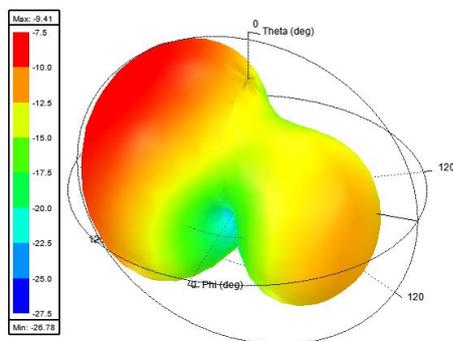


Fig. 10. Diagrama de radiação 3D [autoria própria].

No ambiente de simulação do HFSS, obteve-se também o comportamento vetorial dos campos eletromagnéticos durante a operação da antena *Meander Line*. Nas Fig. 11 e 12 é mostrado a vista lateral direita da antena para melhor visualização dos vetores. Observa-se maior intensidade do campo elétrico (E) e magnético (H) ao centro da antena e no início da linha de transmissão.

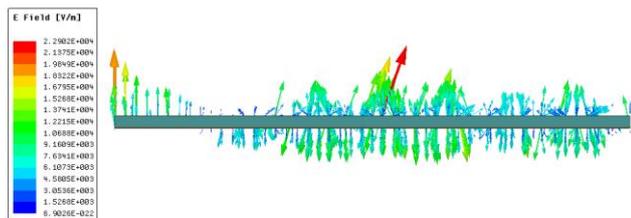


Fig. 11. Campo vetorial E [autoria própria].

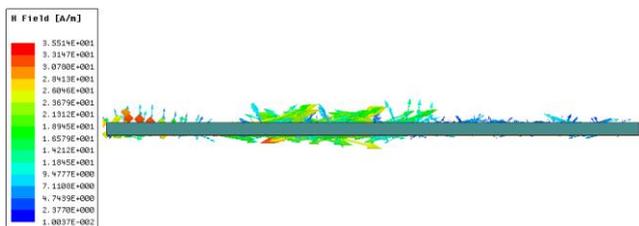


Fig. 12. Campo Vetorial H [autoria própria].

Outro parâmetro de avaliação do funcionamento da antena foi a densidade de corrente, cuja distribuição linear das cargas geradas é ilustrada na Fig. 13. Observa-se que ela se concentra mais intensa nas regiões próximas a linha de transmissão e nas extremidades dos meandros.

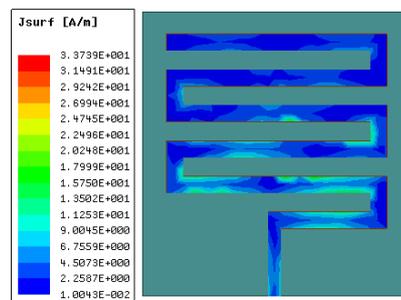


Fig. 13. Densidade de corrente [autoria própria].

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A antena de microfita do tipo *Meander Line* (MLA) é largamente comercializada para utilização na comunicação sem fio, sendo uma alternativa de grande potencial às tecnologias mais robustas e caras. O modelo confeccionado se encontra dentro das especificações necessárias demonstrando elevada eficácia para ser posteriormente aplicado nas tecnologias de comunicação sem fio. O estudo realizado serve de embasamento para futuros trabalhos para aplicações de antenas de microfita do tipo *Meander Line* ou similares, uma vez que, seu projeto pode ser facilmente modificado para se adequar a finalidade desejada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES, UFRSA, GEPEAT e à equipe do Laboratório de Telecomunicações e Micro-ondas da UFRSA. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERENCIAS

- [1] FIRJAN. Indústria 4.0: Internet das Coisas. 2016. Publicações FIRJAN, cadernos SENAI de inovação. Disponível em: < <https://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557E033FAC372E&inline=1> >. Acesso em: 30 de Abril de 2021.
- [2] Balanis, C. A.; Antenna Theory: Analysis and Design, 3ª ed.; New Jersey: Wiley-interscience, EUA, 2005; p. 1 – 1047.
- [3] Bezerra, André Wilson Lopes. Redes Wi-Fi I: medidor de potência de antenas planares na faixa ISM (2,4ghz). Medidor de Potência de Antenas Planares na Faixa ISM (2,4GHz). 2017. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswifi1/default.asp>. Acesso em: 05 maio 2021.
- [4] Oliveira, Estefanie Rayane S. de; C. FILHO, Édson Fernandes; SOUSA, Matheus Emanuel T.; ANDRADE, Humberto D. de; PAIVA, José da S. Lucas. Projeto de uma Antena Planar Dipolo Curvado para Aplicação na Comunicação da Indústria 4.0. Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica, Mossoró, v. 2, n. 1, p. 103-111, 18 set. 2020. Anual. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/r4em/article/view/9577>. Acesso em: 30 abr. 2021.
- [5] IEEE Std 145 – Standard Definitions of Terms for Antennas. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v. AP-31, n. 6, Part II, 1993.