

Estudo e projeto de antenas de microfita para a banda de 915 MHz aplicado à IoT e ISM *Outdoor*

1st Adna Queiroz Sales
Departamento de Engenharia e Tecnologia - DET
Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA
Mossoró, Brasil
queirozadna@gmail.com

2nd Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Departamento de Engenharia e Tecnologia - DET
Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA
Mossoró, Brasil
@ufersa.edu.br

Resumo — Nos últimos anos houve mudança na vida social humana devido ao aumento do uso de dispositivos móveis e aumento da conectividade. Essa mudança no dia a dia das pessoas é possível devido a evolução dos padrões de sistema de comunicação sem fio, a qual resultou no surgimento de uma rede de comunicação denominada Internet das Coisas (IoT). A infraestrutura da IoT está em constante crescimento possibilitando a expansão de tecnologias para ambientes externos (*outdoor*), como por exemplo, *Wi-Fi HaLow*. O *Wi-Fi HaLow* é um padrão que opera na faixa de sub giga-hertz e para ser implementado necessita de estruturas radiantes, como antenas de microfita. Este trabalho apresenta a análise de uma antena de microfita de *patch* retangular com substrato FR4 para aplicações na faixa de frequência de 902 a 928 MHz, ou seja, a banda usada nos Estados Unidos destinada ao *Wi-Fi HaLow*. Os dados obtidos na simulação atendem às especificações e os valores da medição da antena apresentam um desvio de frequência de 3,49% do valor estabelecido no padrão, o que demonstra uma possível falha durante a confecção da antena e ressalta que durante simulações condições perfeitas são levadas em consideração.

Palavras Chave — Antena de microfita, *Wi-Fi HaLow*, ISM.

I. INTRODUÇÃO

Há alguns anos os sistemas modernos de comunicação sem fio estão se tornando indispensáveis ao dia a dia dos usuários. Devido a isso há a carência por novos padrões de comunicação sem fio que solucionem problemas de conectividade, capacidade das redes, taxa de transmissão, interferência eletromagnética, consumo de energia, entre outras dificuldades enfrentadas pelos dispositivos sem fio [1]. Impulsionada por essa demanda, a *Wi-Fi Alliance* introduziu em 2016 o *Wi-Fi HaLow*, o qual foi projetado especificamente para a Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) e surge como uma solução para problemas de propagação enfrentados pelos sistemas atuais em 2,4 e 5 GHz.

O *Wi-Fi HaLow* é uma designação de produtos que incorporam a tecnologia IEEE 802.11ah, a qual opera na faixa sub giga-hertz. Por ser um espectro não licenciado, não é harmonizado em todo o mundo, assim diferentes países usam bandas distintas, como é possível observar na Figura 1. Para este trabalho, é levada em consideração a banda utilizada nos Estados Unidos, que engloba a faixa de 902 a 928 MHz, devido à relevância que este país tem no desenvolvimento de tecnologias.

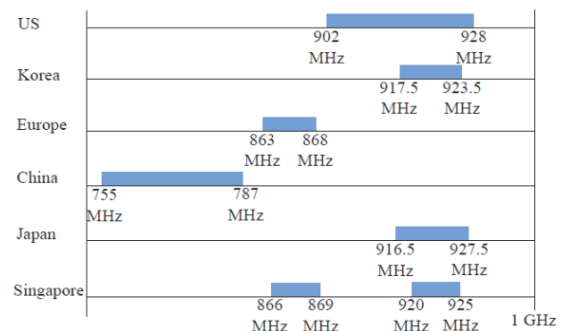


Fig. 1. Espectro especificado para o IEEE 802.11ah. Fonte: [1].

Esse novo padrão apresenta características favoráveis de propagação no espectro de baixas frequências, tais como: menor atenuação no espaço livre, menos susceptível ao desvanecimento (causado pelo multipercurso) e maior capacidade de transpassar obstáculos. Consequentemente, sua cobertura é bem maior, chegando a quase dobrar o alcance do *Wi-Fi* atual e tornar a tecnologia voltada para ambientes externos (*outdoor*).

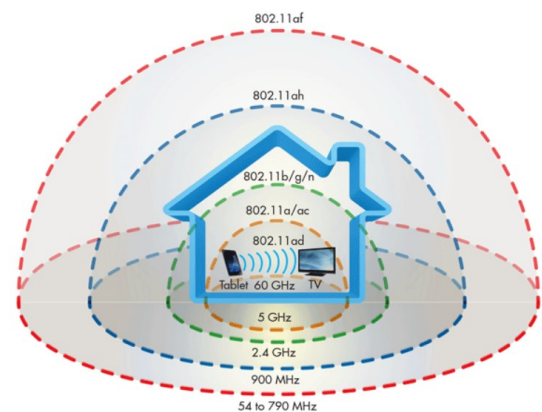


Fig. 2. Alcance e frequência dos padrões IEEE 802.11. Fonte: [2].

Além dessas características, o *Wi-Fi HaLow* também se destaca pela possibilidade de conectividade de baixa potência necessária para aplicativos, incluindo sensores e dispositivos de vestir. Assim, as redes sub giga-hertz podem ser aplicadas, por exemplo, em implementação de Redes Inteligentes (*Smart Grids*) fazendo uma “leitura inteligente” (*Smart meterring*) e monitoramento em tempo real do consumo de gás, água e energia elétrica de

residências e informando os gastos ao próprio usuário e à companhia elétrica que presta serviço. Bem como podem ser aplicadas nas indústrias, onde o monitoramento e controle dos dispositivos e máquinas a partir de uma única sala de controle permitiria reações mais rápidas e eficientes a defeitos e falhas [2].

A implementação dessa nova tecnologia requer o desenvolvimento de estruturas radiantes que atendam as características. Sendo assim, as antenas planares se mostram adequadas, em especial as antenas de microfita. Uma vez que esses dispositivos cumprem a maioria dos requisitos dos sistemas de comunicação sem fio [3].

Diante desse cenário e considerando a demanda por trabalhos que tenham como objeto de estudo estruturas que apresentem soluções tecnológicas, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma antena de microfita de patch retangular com substrato FR4 para aplicação em *Wi-Fi HaLow*, a qual foi simulada com o uso do *software ANSYS® HFSS* e, em seguida, confeccionada afim de realizar uma comparação entre dados simulados e dados medidos com o auxílio de um miniVNA.

II. ANTENAS

As antenas são estruturas geralmente metálica para radiação ou recepção de ondas de rádio, a qual é intermediária entre o espaço livre e o dispositivo de guiamento. O dispositivo de guiamento ou linha de transmissão pode ter a forma de um cabo coaxial ou um tubo oco (guia de onda), sendo usado para transportar a energia eletromagnética da fonte de transmissão à antena ou da antena ao receptor [4].

Uma definição oficial para antena é dada em [5]: “dispositivos para, em sistemas de telecomunicações, radiar ou captar ondas eletromagnéticas no espaço. Pode incluir qualquer circuito a que ela esteja mecanicamente incorporado”.

A. Antenas de microfita

A antena de microfita na sua forma mais simples é composta de um elemento metálico radiador (*patch*) depositado sobre um substrato (material dielétrico) que por sua vez está sobre um plano de terra (fina camada metálica) [6], conforme mostrado na Figura 3.

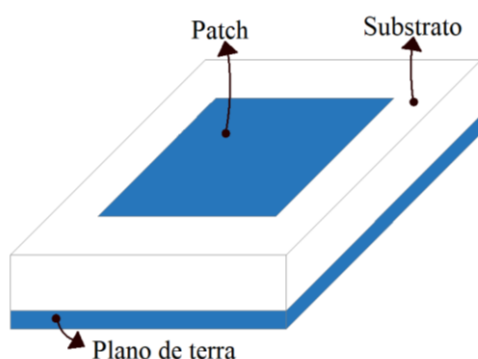


Fig. 3. Antena de microfita convencional. Fonte: [Autoria própria].

O *patch* é uma lâmina metálica normalmente condutora, tem uma espessura muito fina em comparação ao comprimento de onda no espaço livre e pode assumir qualquer configuração afim de obter as características

desejadas. Contudo, em termos de análise e previsão do desempenho, normalmente são utilizadas as formas geométricas convencionais, tais como: quadrado, retangular, circular, triangular, anel, elíptica e dipolo [7]. Para este trabalho, a antena desenvolvida possui *patch* retangular por ser a configuração mais largamente utilizada de antena de microfita [8].

De acordo com [8], o substrato deve ser feito de um material dielétrico, com permissividade elétrica relativa (ϵ_r) geralmente na faixa de 2,2 a 12. Substratos com uma altura maior e com constante dielétrica próximas do limite inferior da faixa são mais desejáveis para melhores performances por promover uma melhor eficiência e maior largura de banda. Por outro lado, antenas com substratos mais fino e com constantes dielétricas mais altas são desejáveis para circuitos de micro-ondas, pois esses requerem uma minimização da radiação indesejada, além de possuir dimensões pequenas.

A antena de microfita é um dispositivo planar que atua na faixa de micro-ondas (300 MHz – 300 GHz). Dentro dessa faixa de frequência existem as faixas de frequência ISM, as quais foram adotadas em diversos países, tendo sido a primeira em 900 MHz (902 – 928 MHz), a segunda em 2,4 GHz (2400 – 2483,5 MHz) e a última em 5 GHz [9]. Essas faixas são reservadas internacionalmente para o desenvolvimento industrial, científico e médico e são caracterizadas pela possibilidade de serem usadas sem licença e por estarem sujeitas a um conjunto de regras de operação relativamente reduzidas.

Além de ser um tipo de antena que operam em uma faixa reservada para o desenvolvimento tecnológico, essa antena é amplamente usada por oferecer vantagens quando comparadas com os demais tipos de antenas. Entre as várias características das antenas de microfita, podem-se destacar seu baixo custo e leveza, tamanho reduzido, largura de banda estreita, adaptabilidade a superfícies planas ou curvas compatíveis com circuitos integrados, existência de ondas de superfície, baixa eficiência de radiação, transmissão em ondas longas e médias, polarização circular e linear com simples alimentação, entre outras [10]. Assim possuem diversas aplicações, em especial, em dispositivos *wireless*, RFID (*Radio Frequency Identification*), *Bluetooth* e *Wi-Fi*.

B. Método de alimentação

Existem várias formas de alimentar a antena, as quatro mais populares são linha de microfita, sonda axial, acoplamento por abertura e acoplamento por proximidade. A escolha da técnica de alimentação é um importante parâmetro do projeto, pois que influenciam na impedância de entrada e, consequentemente, nas outras características de uma antena de microfita.

A forma de alimentação por linha de microfita será a utilizada nesse trabalho em virtude de ser de fácil fabricação, de se conseguir um casamento de impedância mais facilmente ajustando o alimentador e de modelagem bastante simples. Esse modelo foi a primeira técnica empregada para análise de antenas em *patch* de microfita e é composto por uma fita condutora impressa sobre o mesmo plano do substrato que o *patch* e, apoiado sobre o plano de terra [11], como ilustrado na Figura 4. Esse tipo de alimentação permite que a estrutura continue

inteiramente plana, tornando-a adequada em aplicações de circuitos integrados de micro-ondas.

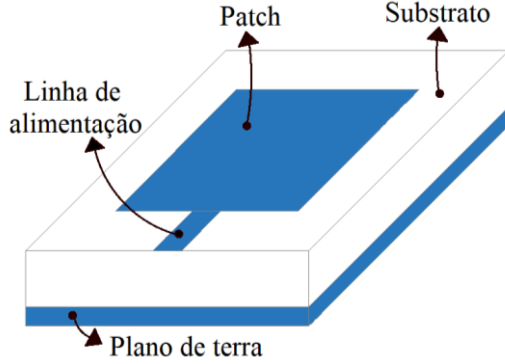


Fig. 4. Alimentação por linha de microfita. Fonte: [Autoria própria].

C. Método de análise

Há numerosos métodos para a análise de antenas de microfita, sendo os mais populares: linha de transmissão, cavidade e onda completa. Esses métodos visam a caracterização das antenas de microfita, as quais tem modelagem relacionada às características da estrutura, tais como substrato, dimensões e geometria do *patch*.

Apesar de ser um dos menos preciso, o método escolhido para este trabalho é o modelo de linha de transmissão por ser um dos mais simples, produzir resultados satisfatórios e possibilitar uma facilidade em estabelecer o casamento de impedância da estrutura. Além disso, é o mais adequado para a análise de antenas de microfita com *patch* retangular ou quadrado. A análise por linha de transmissão é um método de aproximação que se baseia na distribuição de corrente magnética equivalente ao redor das margens do *patch* e possibilita a determinação de diversos parâmetros, tais como frequência de ressonância, diagrama de radiação e a impedância de entrada [12].

O modelo da linha de transmissão representa a antena de microfita por duas fendas separadas por uma linha de transmissão de baixa impedância Z_c e comprimento L , como mostra a Figura 5.

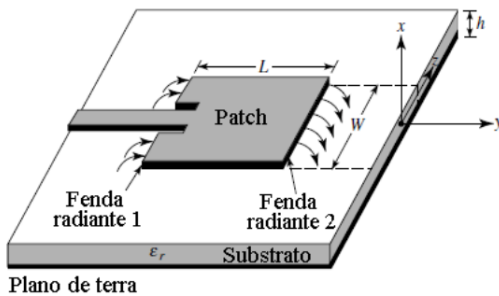


Fig. 5. Antena de microfita retangular. Fonte: Adaptado [8].

Neste modelo as dimensões do *patch* são finitas em largura e em comprimento, assim, os campos nas bordas da plaqueta sofrem o efeito de franjamento, o qual mesmo sendo reduzido para antenas de microfita, tem que ser considerado por afeta a frequência de ressonância. A quantidade de franjamento está relacionada à espessura do substrato e das dimensões do *patch* e o franjamento dos

campos faz com que a antena tenha dimensões elétricas maiores do que as físicas [8].

III. PROJETO E SIMULAÇÃO

Em [8] é apresentada uma rotina de projeto de uma antena de microfita de plaqueta retangular analisada pelo método da linha de transmissão e alimentada pelo modelo da linha de microfita. O procedimento presume que a constante dielétrica do substrato (ϵ_r), frequência de ressonância (f_r) e espessura do substrato (h) são variáveis conhecidas.

A antena proposta foi projetada usando o FR4, sendo esse o substrato dielétrico com constante dielétrica 4,4 e altura 1,57 mm e a frequência escolhida atenda a faixa de 902 a 928 MHz com frequência de ressonância em 916 MHz. Além dessas variáveis, para o início do projeto a alimentação por linha de microfita foi determinada com impedância de entrada igual a 50 Ω .

O procedimento inicia-se com o cálculo da largura do *patch*, o qual utiliza a Equação 1.

$$W = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

onde v_0 é a velocidade da luz no espaço livre.

Após determinar a largura do *patch* pode-se estabelecer a constante dielétrica efetiva da antena de microfita usando a Equação 2.

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

Uma vez que as dimensões W e ϵ_{ref} tenham sido calculadas, também é possível determinar a extensão do comprimento do *patch* através da Equação 3. Essa variável refere-se à dimensão elétrica da plaqueta, a qual devido aos efeitos de borda é mais extensa que a dimensão física.

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{ref} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{ref} - 0,2258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (3)$$

Dessa forma, o comprimento efetivo do *patch* é dado por:

$$L = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{ref}}} - 2\Delta L \quad (4)$$

Para o casamento de impedância, a técnica de alimentação através de linha de microfita é usada. De acordo com [13], o comprimento da linha é obtido pela equação:

$$L_m = \frac{c}{4f_r \sqrt{\epsilon_{ref}}} \quad (5)$$

A Equação 6, mostra, como é determinada, a largura da linha de microfita.

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{ref}} \left(\frac{W_m}{h} + 1,393 + 0,677 \ln \left(\frac{W_m}{h} + 1,44 \right) \right)} \quad (6)$$

Onde Z_0 é 50Ω e W_m é a largura da linha de microfita, a qual foi encontrada usando o método numérico da bisseção.

As dimensões do dispositivo proposto são mostradas na Tabela 1 e ilustradas na Figura 6.

Tabela 1. Dimensões da antenna proposta. Fonte: [Autoria própria].

Parâmetro	Dimensão (mm)
W	99,589
L	79,295
W_m	3,026
L_m	39,647

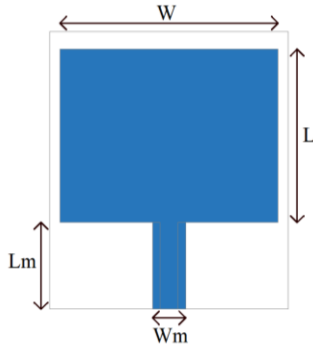


Fig. 6. Dimensões da antenna proposta. Fonte: [Autoria própria].

A partir do dimensionamento da antena, foi possível realizar a simulação da mesma através do *software ANSYS® HFSS*. Com a estrutura calculada foi observado que a antena ressoou em um ponto distante da frequência de ressonância determinada, assim foi aplicado um fator de compactação nas dimensões do *patch* dado pela

$$FC = F/f_r \quad (7)$$

onde, F é a frequência em que a antena ressoou, neste caso 860 MHz, e f_r é a frequência de ressonância pretendida.

Após este ajuste a antena passou a ter as dimensões mostradas na Tabela 2 e foi possível dar continuidade a simulação e obter os seguintes resultados.

Tabela 2. Dimensões da antenna ajustada. Fonte: [Autoria própria].

Parâmetro	Dimensão (mm)
W	93,500
L	74,447
W_m	3,026
L_m	39,647

A Figura 7 mostra a perda de retorno em função da frequência da antena.

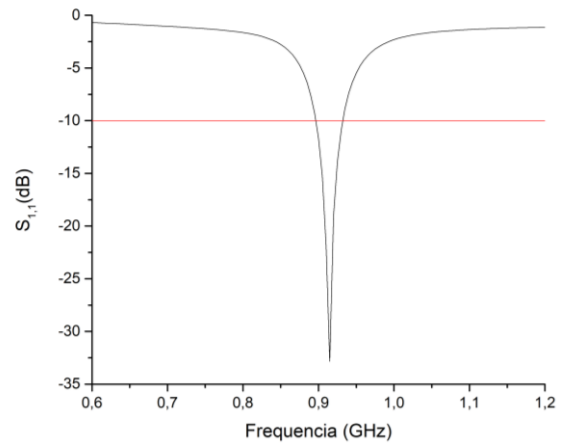


Fig. 7. Perda de retorno da antenna de proposta ajustada na simulação. Fonte: [Autoria própria].

A Figura 7 mostra que a antena simulada apresenta frequência de operação de 915 MHz com perda de retorno de -32,8453 dB e largura de banda de 35,7 MHz. Importante ressaltar que se considera ressonância quando a perda de retorno apresenta valores abaixo de -10, por padrão.

Nas Figuras 8 e 9 é possível observar os gráficos de radiação 2D e 3D, respectivamente, que indicam o comportamento de radiação do campo eletromagnético.

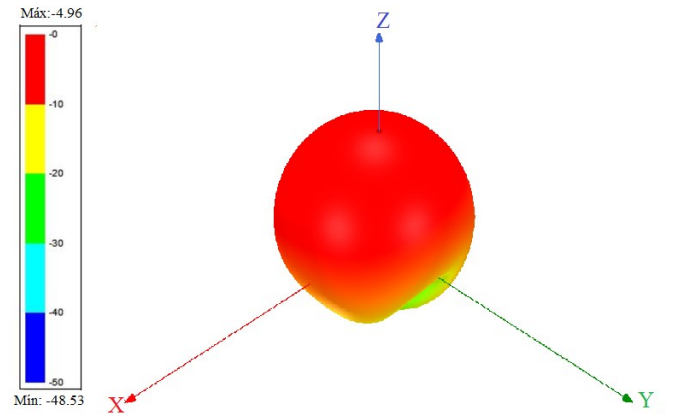


Fig. 8. Diagrama de radiação 3D da antenna proposta ajustada na simulação. Fonte: [Autoria própria].

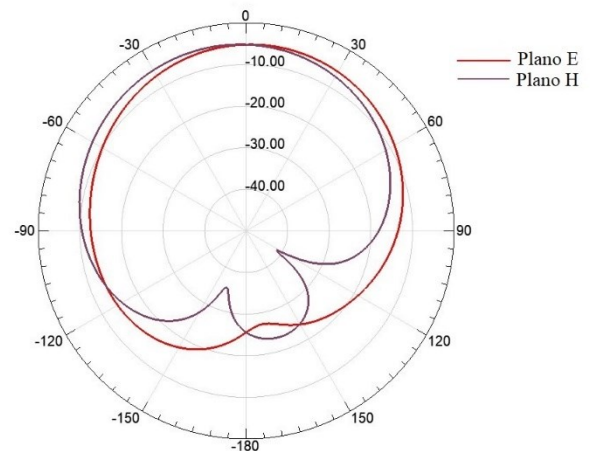


Fig. 9. Diagrama de radiação 2D da antenna proposta ajustada na simulação. Fonte: [Autoria própria].

A antena apresentou comportamento *broadside*, ou seja, a radiação ocorre de forma ortogonal ao *patch* da antena com ganho máximo de 4,96 dB.

A Figura 10 apresenta a Carta de Smith com a impedância da antena normalizada.

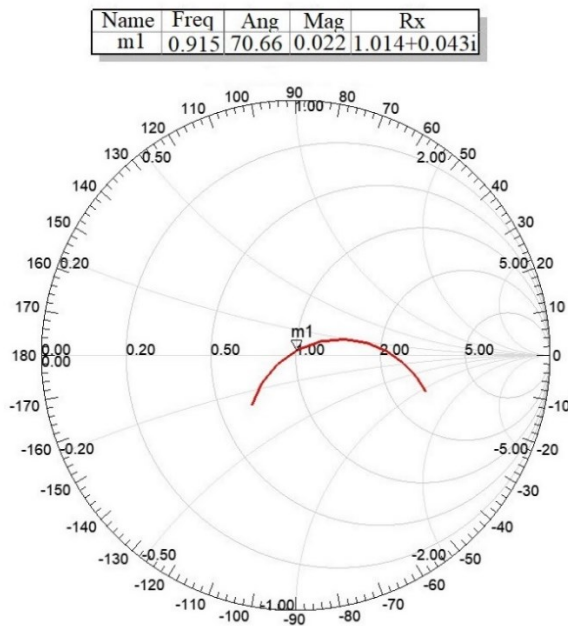


Fig. 10. Carta de Smith da antena proposta ajustada na simulação.
Fonte: [Autoria própria].

A carta de Smith mostra uma impedância de entrada da antena normalizada em 50Ω de $1,014+j0,043 \Omega$ ($50,7+j2,15 \Omega$) para a frequência de ressonância de 915 MHz, o que mostra demonstra que a antena teve um ótimo casamento de impedância após a aplicação do fator de compactação.

IV. DESENVOLVIMENTO DA ANTENA

Após a obtenção de resultados na simulação considerados satisfatórios, o protótipo foi construído usando o método de fabricação conhecido por circuito impresso por corrosão. A primeira etapa da confecção é imprimir uma proteção da área metálica (cobre) de acordo com as dimensões da antena e a segunda etapa consiste em colocar a placa impressa em contato com um elemento corrosivo, que neste caso foi o persulfato de amônio, como é possível ver na Figura 11.

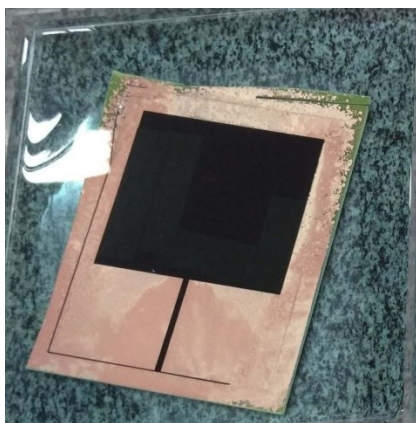


Fig. 11. Placa impressa durante o processo de corrosão. Fonte: [Autoria própria].

A antena confeccionada vista na Figura 12 é composta por cobre nas partes condutoras (*patch* e plano de terra), FR4 no substrato e devido o processo de corrosão ter danificado a linha de alimentação, essa foi feita com fita adesiva de cobre.

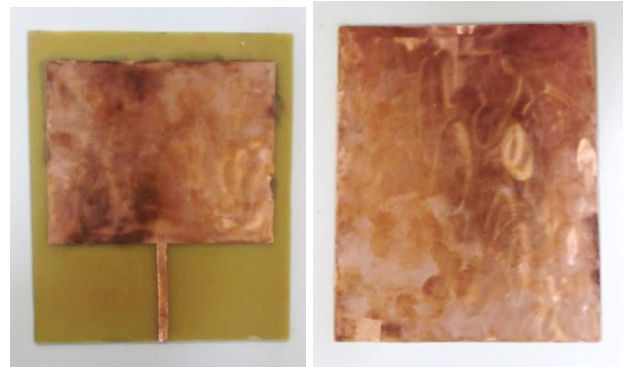


Fig. 12. Protótipo construído, vista frontal e vista posterior, respectivamente. Fonte: [Autoria própria].

Em seguida, o dispositivo foi testado e medido em laboratório por meio no analisador de rede vetorial no modelo miniVNA Tiny mostrado nas Figura 13 e 14.

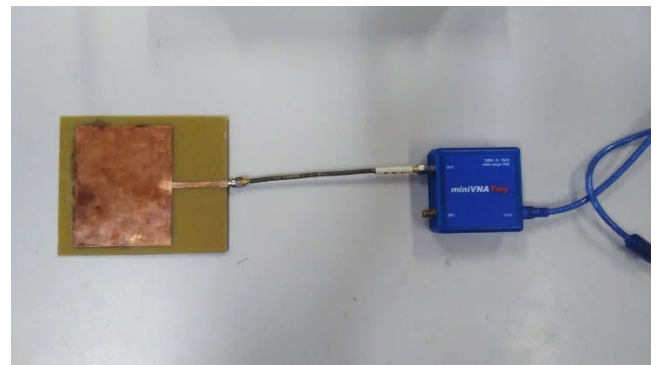


Fig. 13. Protótipo construído conectado ao miniVNA.
Fonte: [Autoria própria].



Fig. 14. miniVNA Tiny. Fonte: [14].

A Figura 15 e 16 apresentam os resultados medidos da antena confeccionada. A Figura 15 o diagrama de perda de retorno e a Figura 16 a Carta de Smith.

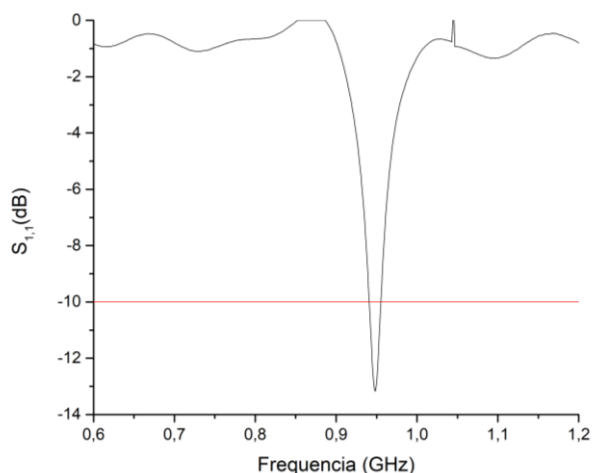


Fig. 15. Perda de retorno da antenna confeccionada.
Fonte: [Autoria própria].

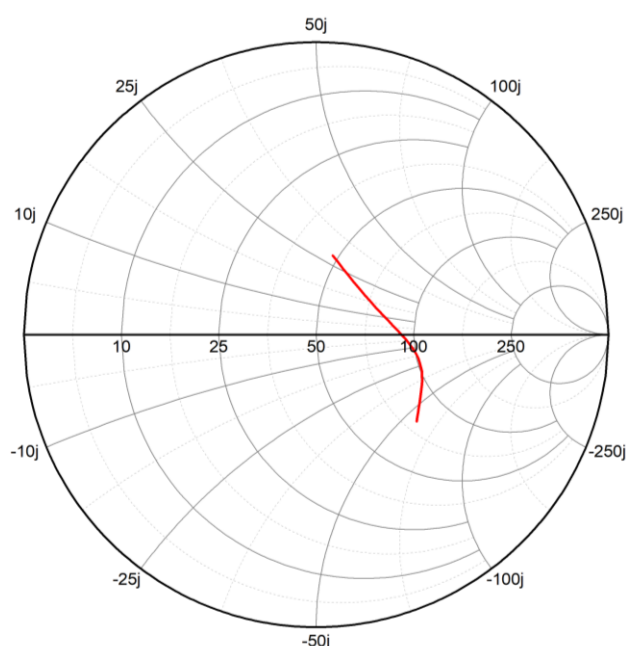


Fig. 16. Carta de Smith da antenna confeccionada. Fonte: [Autoria própria].

O diagrama de perda de retorno apresentou uma frequência de ressonância de 948 MHz com coeficiente de reflexão de -13,17 dB e largura de banda de 14 MHz. A carta de Smith mostra impedância de entrada da antenna em $59,1 + j22,7 \Omega$.

Para fins de comparação, a Tabela 3 apresenta as especificações estabelecidas pelo padrão IEEE 802.11ah e valores simulados e medidos de frequência de ressonância (f_r) e largura de banda (BW). São calculados ainda os desvios $\Delta_1 = |f_{padr\tilde{a}o} - f_{simulado}| / f_{padr\tilde{a}o}$ e $\Delta_2 = |f_{padr\tilde{a}o} - f_{medida}| / f_{padr\tilde{a}o}$ que correspondem respectivamente, ao desvio percentual entre o valor simulado em relação ao valor especificado pelo padrão e o desvio percentual entre o resultado medido e o valor especificado.

Tabela 3. Respostas obtidas no desenvolvimento da antenna. Fonte: [Autoria própria].

Parâmetro	Valor padrão	Valor Simulado	Valor medido	Δ_1	Δ_2
f_r (MHz)	916	915	948	0,1%	3,49%
BW (MHz)	26	35,7	14	37,3%	46,15%

V. CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados, percebe-se que os valores simulados atendem as especificações estabelecidas para o padrão IEEE 802.11ah, porém nos valores medidos houve um desvio que ocasionou na saída da banda especificada. Possivelmente, um dos motivos para esse desvio seja a fabricação artesanal da alimentação da linha de microfita com a fita adesiva, fato esse que além de possibilitar a confecção de dimensão diferente, levou a antenna não ser soldada no conector. A variação de resultados também pode existir devido a simulação fazer algumas considerações próprias, como o condutor é considerado um condutor perfeito.

Apesar da divergência de valores e do não atendimento da antenna construída as especificações do *Wi-Fi HaLow*, o projeto mostrou dados satisfatórios, tendo em vista que na literatura há trabalhos com desvio percentual entre o resultado medido e o valor especificado maior. Em [1], por exemplo, o desvio da frequência construída para o mesmo padrão deste trabalho foi de 6,87 %.

Como proposta para trabalhos futuros, é possível confeccionar uma antenna planar de microfita usando outro método de fabricação e fazer projetos que atendam as demais características do padrão 802.11ah como por exemplo, uma antenna com comportamento omnidirecional.

REFERÊNCIAS

- [1] BANDEIRA, Kaio Márcio da Costa. Antenas de Microfita Multibanda e Reconfigurável para Aplicações em Sistemas de Comunicação Sem Fio, Padrões IEEE 802.11ah, IEEE 802.11ax e CBRS. 2019. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- [2] IEEE 802.11ah: Aplicações. Disponível em: <https://www.gta.ufrrj.br/grad/15_1/802.11ah/aplicacao.html>. Acesso em 20 jan. 2020.
- [3] ELSADEK, Hala. Microstrip Antennas for Mobile Wireless Communication. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/mobile-and-wireless-communications-network-layer-and-circuit-level-design/microstrip-antennas-for-mobile-wireless-communication-systems>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- [4] BALAINIS, C.A. Teoria de Antenas: Análise e Síntese, vol. 1. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- [5] Agência Nacional de Telecomunicações. Ato nº 939, de 08 de fevereiro de 2018 (REVOGADO). (2018). Disponível em: <<https://www.anatel.gov.br/legislacao/es/atos-de-requisitos-tecnicos-de%20certificacao/2018/1230-ato-939>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- [6] AQUINO, Manoel do Bonfim Lins de. Antenas de Microfita com Substrato Metamaterial. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- [7] OLIVEIRA, Elder Eldervitch Carneiro de. Antenas de Microfita com Patch Quase-fractal para Aplicações em Redes WPAN/WLAN. 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação

em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

- [8] BALAINIS, C.A. Teoria de Antenas: Análise e Síntese, vol. 2. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- [9] SOARES, M.D. Tutorial Banda Larga: WLAN X Sistemas Móveis Celulares. (2004). Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwlanx/pagina_3.asp>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- [10] CAETANO, Leonardo Martins. Materiais Supercondutores HTS para Arranjos de Antenas e Aplicação de PBG para Micro-ondas. 2014. 112 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- [11] HOLANDA, Samanta Mesquita de. Estudo e desenvolvimento de antenas de microfita utilizando tecido de malha e base de fibras têxteis compostas. 2016. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e automação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.
- [12] FILHO, Valdez Aragão de Almeida. Arranjo de Log-Periódicos Compactos em Microfita com Elementos Fractais de Koch. 2010. 100f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- [13] POZAR, D. Microwave Engineering. 4ª ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2012.
- [14] Mini Radio Solutions. MiniVNA Tiny. Disponível em: <<http://miniradiosolutions.com/54-2/>>. Acesso em: 27 jan. 2020.