

Projeto e Simulação de Antenas Planares *Dual-Band* para WiFi-6

Sarah de Carvalho Caminha
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
sarahcaminha@outlook.com

Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
idalmir@ufersa.edu.br

Resumo— Com o objetivo de atender as aplicações da atualidade, melhorar o serviço ao usuário nas aplicações mais antigas, melhorar a experiência do usuário e melhorar a performance da rede, surgiu o novo padrão IEEE 802.11ax, que vem sendo chamado de Wi-Fi 6, sendo a nova geração de Wi-Fi. Daí vem a necessidade de trazer dispositivos que possam atender aos novos requisitos. Sendo as antenas parte importante nos sistemas de comunicação, é de interesse geral obter estruturas que sejam de custo reduzido, facilmente fabricáveis e adaptáveis, ao mesmo tempo em que tenham comportamento desejado em relação a parâmetros como frequência de operação, largura de banda, padrão de radiação etc. Este trabalho traz a proposta de duas estruturas de antenas planares, alimentadas por linha de microfita, projetadas e simuladas para operar em 2,4 GHz e 5,0 GHz, conforme o estabelecido pelo padrão IEEE 802.11ax. São descritos os projetos destas antenas e apresentadas as simulações pelo Método dos Elementos Finitos por meio do software ANSYS HFSS. Os resultados obtidos mostram antenas com ganhos satisfatórios e larguras de banda atendendo aos requisitos.

Palavras-chave— IEEE 802.11ax, antenas planares, Wi-Fi 6, linha de microfita

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, com a disseminação das tecnologias, aumento da demanda por serviços de internet e um número cada vez maior de dispositivos, tem havido uma necessidade de modernização dos sistemas de comunicação. O Wi-Fi 6 surgiu como uma resposta a estas necessidades, sendo o padrão mais recente de Wi-Fi. O Wi-Fi 6 segue o padrão IEEE 802.11ax, que vem como um aprimoramento do padrão 802.11ac. O Wi-Fi 6 traz como vantagens maior rapidez, aumento de eficiência e melhores taxas na transferência de dados e melhor comunicação com múltiplos dispositivos que realizam solicitações simultâneas de dados quando comparado a gerações anteriores do Wi-Fi.

Conforme [1], atualmente há uma tendência em buscar soluções que possam se adaptar a diferentes tecnologias e que, ao mesmo tempo em que traga esta flexibilidade, sejam capazes de fazê-lo tendo características como: estrutura em tamanho reduzido, baixo custo de fabricação, fácil integração a diferentes sistemas etc. Uma das partes mais importantes dos sistemas de comunicação são os elementos radiantes, e por isso, exige-se deles também estas características. Dependendo da aplicação, é importante que os elementos radiantes possam operar em múltiplas bandas, podendo

adequar-se a diferentes necessidades. No padrão 802.11ax, as frequências de operação são 2,4 GHz e 5,0 GHz, sendo interessante desenvolver estruturas radiantes para este tipo de aplicação que tenham comportamento *dual-band*.

As antenas do tipo monopolo planar impressas são simples, facilmente adaptáveis, de baixo custo e leves; além disso possuem boa largura de banda e diagrama de radiação com característica omnidirecional. Ainda, com este tipo de antena é possível obter operação multibanda, permitindo reduzir a quantidade de antenas e o espaço, já que possuem o tamanho físico reduzido [1].

Com o desafio de projetar antenas compactas mas que possam oferecer as características desejadas, há uma série de antenas monopolo de banda dupla ou multibanda com diferentes geometrias que foram caracterizadas experimentalmente, porém algumas têm estrutura mais complexa, o que pode dificultar a fabricação; outras são mais simplificadas. No trabalho de [2], foi projetada e prototipada uma antena de microfita *dual-band* para aplicações em sistemas WLAN. A antena possui um substrato com dimensões bastante compactas de 40x30x0,80 mm³ e material de permissividade relativa de 3,5 e tangente de perdas de 0,02. A estrutura do *patch* é formada por dois elementos radiantes com formato em L e E, dimensionadas de forma a obter comprimento próximo a um quarto do comprimento de onda para as frequências para as quais foram projetados (2,45 GHz para o elemento em formato E e 5,4 GHz para o elemento em formato L). O elemento E foi curto-circuitado, através de uma conexão, com o substrato, e o plano de terra foi truncado de modo que sobrasse 20 mm dos 30 mm do tamanho total da antena. O artigo trouxe variações nos parâmetros em diversas partes dos elementos radiantes, verificando a influência no padrão de ressonância. A estrutura apresentada trouxe os resultados desejados, porém trata-se de uma estrutura um pouco complexa.

O artigo de [3] traz uma outra geometria, desta vez para aplicações em UWB (*ultra wideband*). A antena apresentada possui um substrato de 12x18 mm², com espessura de 1,6mm, utilizando FR4. A antena possui um *patch* retangular contendo duas fendas retangulares. O plano de terra é truncado de modo a ficar com 3,5 mm de comprimento e possui uma fenda em formato de T invertido. A estrutura apresentada é bastante simplificada, de fácil fabricação e baixo custo. As fendas retangulares foram inseridas no *patch* de modo a aumentar a largura de banda. O plano de terra foi truncado com o mesmo objetivo. Foram simuladas fendas retangulares e em formato de T invertido e foi observado que

a fenda em T invertido permitiu diminuir o tamanho físico e aumentar a largura de banda. Nesse trabalho também foram feitas variações nas dimensões de modo a avaliar a influência de cada elemento na obtenção dos resultados.

O artigo de [4], traz uma antena *tri-band* com substrato de dimensões 35x30x1,6 mm³, do material FR-4, projetada para atuar em sistemas WLAN e WiMAX. A antena possui uma estrutura bastante simples, de fácil fabricação. A parte superior ao substrato é composto por uma linha de microfita apenas e o plano de terra possui fendas em formato retangular e trapezoidal. Além disso, há dois elementos retangulares inseridos lateralmente. O trabalho mostrou que a banda inferior é obtida por meio da inserção da fenda retangular. Já a banda intermediária é obtida pelos elementos retangulares laterais e a banda superior aparece devido à fenda trapezoidal. A estrutura obtida é bem simplificada em relação à outras estruturas *tri-band* propostas. No trabalho de [1], é apresentada uma antena projetada e prototipada para atender aos requisitos de frequência de operação e largura de banda para os padrões IEEE 802.11ah, IEEE 802.11ax e o Serviço de Rádio de Banda Larga para Cidadãos (CBRS), na qual foram utilizados diodos PIN para reconfiguração e permitir a escolha de bandas de frequência conforme desejado. Todos os trabalhos citados trazem ideias e um ponto de partida para o projeto de antenas com aplicações multibanda diversas.

Neste trabalho, são apresentadas duas antenas *dual-band* alimentadas por linha de microfita para aplicações em Wi-Fi 6. Em ambas foram utilizados substratos do material FR-4, já que de acordo com [2], menores tamanhos físicos são obtidos para antenas multibanda com este material. A primeira antena possui uma linha de alimentação ramificada em elementos em L projetados para a banda superior de 5,0 GHz e um plano de terra com fenda retangular ajustado para a banda inferior de 2,4 GHz. A segunda antena possui uma linha de alimentação simples e um plano de terra com duas fendas: uma retangular para a frequência inferior e outra trapezoidal para a frequência superior.

II. IEEE 802.11AX

O novo padrão de Wi-Fi, o IEEE 802.11ax, também conhecido como Wi-Fi 6 traz uma grande evolução de desempenho em comparação com os aprimoramentos do 802.11 anteriores e é considerado uma evolução do padrão IEEE 802.11ac. As mudanças no padrão 802.11ax melhorarão a forma como as redes Wi-Fi funcionam, aproveitando a tecnologia que melhora substancialmente a capacidade, fornece melhor cobertura e até reduz o congestionamento, resultando em uma experiência geral do usuário muito melhor [5]. O padrão concentra-se principalmente em operações WLAN em 2,4 GHz e 5 GHz, mas fornecerá modo de operações entre 1,0 GHz e 6,0 GHz.

O padrão foi desenvolvido para aumentar a capacidade da rede, trazer alta eficiência em ambientes internos e externos, que exigem mais robustez ao ar livre e nas transmissões de *uplink* [6], alocar maior quantidade de usuários e dispositivos, sofrendo menos efeitos de alta interferência e atender serviços de redes celulares de quinta geração [1].

Mesmo que a proposta original do padrão 802.11ax seja aprimorar o Wi-Fi em cenários de uso intenso, todos os locais que utilizem redes Wi-Fi podem se beneficiar. O padrão permite que dezenas de dispositivos se comuniquem

simultaneamente com cada ponto de acesso. O padrão 802.11ax foi desenvolvido para aumentar em quatro vezes a taxa de transferência da área, ao mesmo tempo em que visa um aumento de até dez por cento na taxa de transferência média por estação [6], por meio do uso eficiente dos recursos espectrais. Isso proporcionará benefícios nas bandas de 2,4 GHz e 5,0 GHz em uma variedade de ambientes, incluindo empresas, escolas, negócios de varejo, *hotspots*, aeroportos e até mesmo em casa [5].

Esse padrão visa manter a operação altamente eficiente em ambientes densos, visa manter e aprimorar a eficiência de energia, enquanto mantém a compatibilidade e coexistência com dispositivos dos sistemas e anteriores que operam em 2,4 GHz e 5,0 GHz seguindo os padrões IEEE 802.11 [6]. Alguns aprimoramentos foram propostos para alcançar esses objetivos, como por exemplo: utilização do Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência Ortogonal (OFDMA), que subdivide o canal em alocações de frequência menores para transmissão paralela para usuários diferentes simultaneamente; do *downlink* para multiusuários de Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas (MIMO); utilização de *beamforming*; utilização da modulação de amplitude em quadratura 1024-QAM etc [1].

A Tabela 1 apresenta a comparação de algumas características entre os dois padrões IEEE 802.11 anteriores e o padrão IEEE 802.11ax, mostrando as bandas de atuação, taxa de transmissão máxima, tipo de modulação e largura dos canais [1].

TABELA 1. COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DOS PADRÕES IEEE 802.11

Padrão	Banda de atuação (GHz)	Largura do canal (MHz)	Taxa de transmissão máxima	Tipo de modulação
n	5	20, 40	600 Mbps	OFDM
ac	0,7	20, 40, 80, 160	6,9 Gbps	OFDM
ax	2,4 e 5	20, 40, 80, 160	10 Gbps	OFDM e OFDMA

III. ANTENAS MONOPOLO PLANARES

Diversas pesquisas têm se concentrado no desenvolvimento de antenas monopolo planares de baixo perfil capazes de cobrir várias bandas de frequência de operação de sistemas de comunicação sem fio devido às suas interessantes vantagens como baixo custo, tamanho compacto, peso leve, facilidade de fabricação, integração simples, casamento de impedância em banda larga, melhor eficiência de radiação e padrão omnidirecional [7].

Um monopolo planar pode ser obtido substituindo o elemento em fio de um monopolo convencional por um elemento plano. O elemento plano fica disposto a uma determinada distância acima do plano de terra. A substituição do elemento de fio por um elemento plano (em formatos diversos) aumenta as áreas de superfície dos monopolos, e isso acarreta em um impacto direto na largura de banda. Antenas monopolo planas podem ser otimizadas para fornecer largura de banda bastante ampla com desempenho de radiação aceitável [8].

O monopolo planar alimentado por microfita pode ser visto como uma antena de microfita sobre um substrato espesso com $\epsilon_r = 1$. Sendo assim, uma largura de banda

maior é esperada [9]. A forma e o tamanho dessas antenas planares são passíveis de otimização para trazer todos os modos para dentro do círculo de $VSWR = 2$ na carta de Smith, levando a uma largura de banda maior, resultando em uma antena monopolo plana de banda larga [8].

Diversos tipos de monopolos planos têm sido analisados, como aqueles que possuem *patches* circulares, elípticos, quadrados, retangulares, hexagonais, pentagonais, entre outros [8]. O trabalho de [10] estudou o monopolo com *patch* quadrado e o monopolo com *patch* circular, e demonstrou que, embora o primeiro proporcione menor largura de banda, seu padrão de radiação sofre menos degradação dentro da largura de banda.

Nas diversas pesquisas publicadas nos últimos anos, foram expostas diferentes técnicas empregadas nos elementos radiantes das antenas para obtenção de comportamento multibanda, como por exemplo, no trabalho de [11] em que é proposta uma antena monopolo planar em forma de F, e no trabalho de [12], que traz uma antena monopolo com tiras no *patch* em formato de C e de S, e o trabalho de [13] que traz uma antena monopolo em forma de Y duplo. Usando diferentes fendas, tiras e truncamentos, as características multibanda foram alcançadas. O trabalho de [14] trouxe uma antena combinando uma tira em formato C no *patch* com duas tiras em formato L. Nesse estudo, como em diversos outros, o plano de terra foi truncado com o objetivo de aumentar a largura da banda de operação da antena. Ainda, técnicas como curto-circuitar o *patch* com o plano de terra, alimentação dupla e uso de linha de alimentação em forma de tridente foram desenvolvidos também para melhorar o desempenho da largura de banda bem como reduzir a altura da antena. Ainda, há outras geometrias, como o monopolo em formato U desenvolvidas para evitar que as características de radiação omnidirecional percam a qualidade em frequências mais altas [15].

IV. METODOLOGIA

Foram dimensionadas duas antenas para operar em 2,4 GHz e 5,0 GHz, alimentadas por linhas de microfita, com algumas diferenças estruturais, porém ambas contendo fendas no plano de terra. O primeiro passo foi definir o tamanho aproximado desejado das estruturas propostas. O comprimento e a largura dos plano de terra da primeira estrutura, exibida na Fig. 1 e da segunda estrutura exibida na Fig. 2 foram definidos de modo que elas tivessem tamanho compacto; esses tamanhos foram avaliados por meio de análise paramétrica. Ambas as estruturas têm tamanho $29 \times 37 \times 1,6 \text{ cm}^3$.

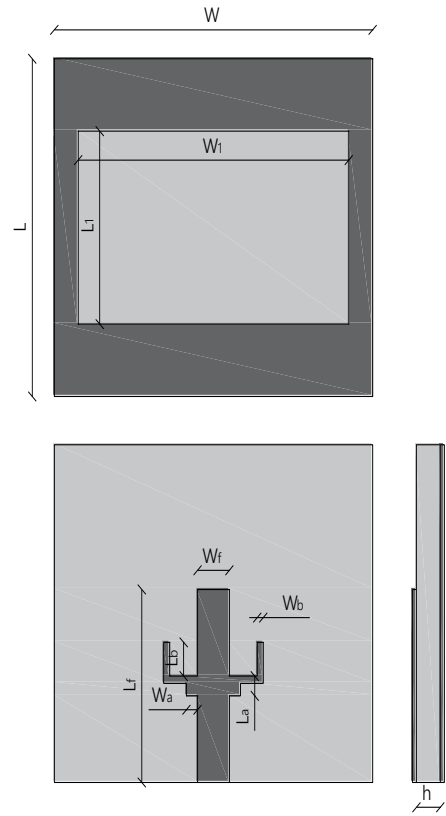


Fig. 1. Estrutura da antena 1.

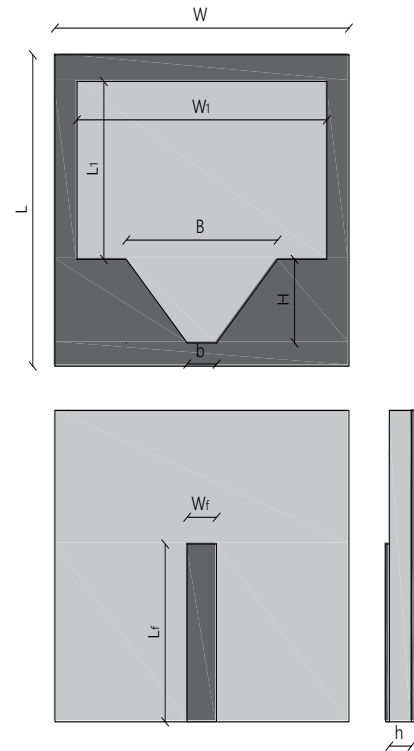


Fig. 2. Estrutura da antena 2.

Os elementos radiantes e o plano de terra utilizam cobre como material condutor e o substrato de ambos emprega FR4 (um material de baixo custo, de permissividade relativa de 4,4) com 1,6 mm de espessura como material dielétrico. A largura e o comprimento das linhas de alimentação de 50Ω foram determinados utilizando a teoria de dimensionamento

da linha de microfita. Utilizando as Equações (1) a (5) (onde h é o tamanho do substrato, ϵ_r é a permissividade relativa e f_r é a frequência de ressonância, o comprimento da linha é L_f e λ_{eff} é o comprimento de onda efetivo), e utilizando método numérico para obter a largura da linha de alimentação W_f através das equações, foram obtidos largura de 2,8 mm e um valor de comprimento máximo de 31,22 mm para ambas as estruturas, sendo este valor máximo dimensionado para um quarto do comprimento de onda efetivo para a frequência inferior de 2,4 GHz (outras parâmetros geométricos foram definidos como responsáveis pela ressonância em 5 GHz no dimensionamento). Considerando que o comprimento da linha deve ser menor ou igual que o valor máximo, foi adotado um comprimento de 15 mm para os dois tipos de antena. O tamanho foi especificado por meio de análise paramétrica.

$$W_0 = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W_0} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{reff}} \left[\frac{W_f}{h} + 1,393 + 0,667 \ln \left(\frac{W_f}{h} + 1,444 \right) \right]} \quad (3)$$

$$\lambda_{eff} = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{reff}} \quad (4)$$

$$L_f = \frac{\lambda_{eff}}{4} \quad (5)$$

Para aumentar a largura de banda e permitir o ajuste da ressonância inferior, foi inserida uma fenda retangular nas duas estruturas. As dimensões da fenda retangular foram ajustadas por meio de variações paramétricas no *software* Ansys HFSS. Com a obtenção de uma boa perda de retorno para a banda inferior, na primeira antena, foram inseridas linhas ramificadas em formato L a partir da linha de alimentação, conforme proposto no trabalho de [1] para a ressonância superior, sendo as dimensões adequadas determinadas por análise paramétrica. Na segunda antena, foi inserido uma fenda trapezoidal, conforme proposto no trabalho de [4], dimensionada para permitir a ressonância em 5,0 GHz.

Na Tabela 2, encontram-se especificadas as dimensões da antena 1 e na Tabela 3, estão descritos os parâmetros finais obtidos para a antena 2.

TABELA II. DIMENSÕES ESPECIFICADOS PARA O PROJETO DA ANTENA 1

Parâmetro	Dimensões (mm)	Parâmetro	Dimensões (mm)
W	37,0	W_a	0,8
L	29,0	L_a	1,6
W_1	30,5	W_b	1,0
L_1	19,0	L_b	2,0
W_f	2,8	h	1,6
L_f	15,0		

TABELA III. DIMENSÕES ESPECIFICADOS PARA O PROJETO DA ANTENA 2

Parâmetro	Dimensões (mm)	Parâmetro	Dimensões (mm)
W	37,0	L_f	15,0
L	29,0	B	26,0
W_1	31,5	b	3,0
L_1	14,0	H	4,0
W_f	2,8	h	1,6

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados para a antena 1 e antena 2.

A. Antena 1

A Fig. 3 mostra a perda de retorno obtida para a antena 1. Percebe-se que a antena ressoa nas duas bandas desejadas de 2,4 GHz e 5,0 GHz. Para a frequência inferior, o coeficiente de reflexão obtido foi de -25,45 dB.

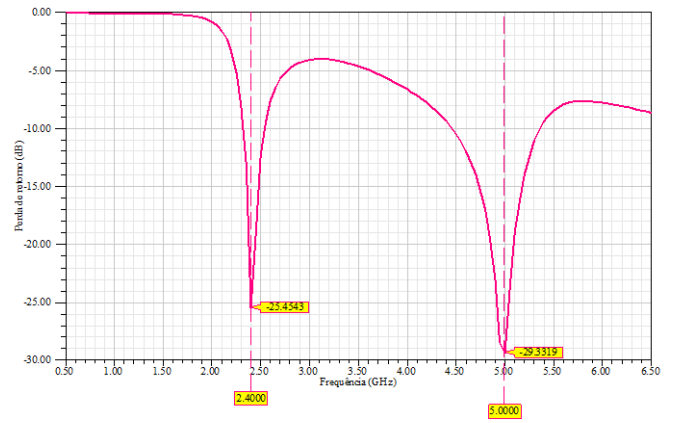


Fig. 3. Perda de retorno para a antena 1.

Já na banda superior, o coeficiente de reflexão é de -29,33 dB. A Fig. 4 traz a relação de ondas estacionárias de tensão (VSWR) para a antena 1.

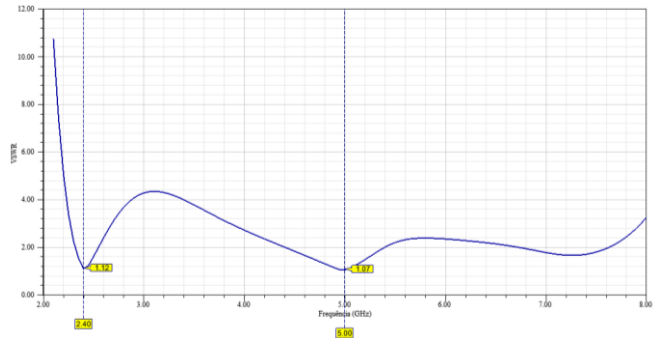


Fig. 4. VSWR para a antena 1.

No frequência de 2,4 GHz, tem-se um VSWR de 1,12 e na banda superior, 1,07. Considerando como referência um $VSWR < 2$, a antena proposta está devidamente casada em 2,4 GHz e 5,0 GHz com larguras de banda de 220 MHz e 1000 MHz, respectivamente, tendo característica de banda larga (9,16%, para a banda inferior e 20% para a banda superior). A largura de banda de 160 MHz do padrão IEEE 802.11ax é menor do que as larguras de banda obtidas, no

entanto, mesmo que a operação tenha atingido uma faixa maior do que a especificada pelo padrão, isto não se caracteriza um problema, pois a banda exigida pelo padrão é englobada pela apresentada na antena. A Fig. 5 traz a carta de Smith para a antena 1, mostrando a impedância normalizada. A impedância de entrada obtida é de 48,64 Ω para a frequência inferior e 52,3 Ω para a frequência superior.

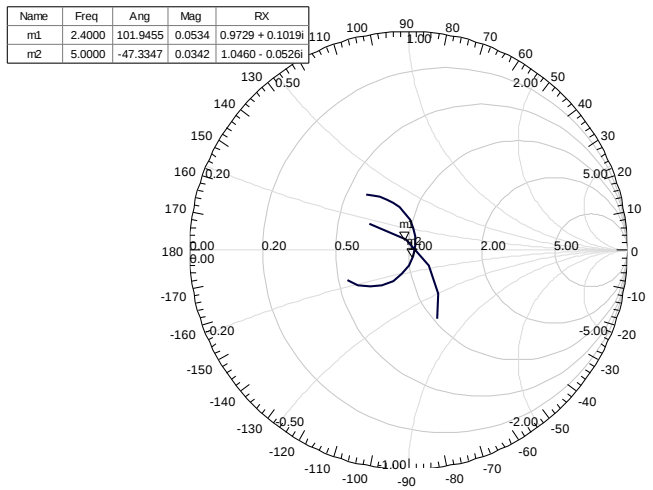


Fig. 5. Carta de Smith da antena 1.

As Fig. 6-7 exibem os diagramas de radiação 2D e 3D, respectivamente, da antena 1 para a frequência de 2,4 GHz.

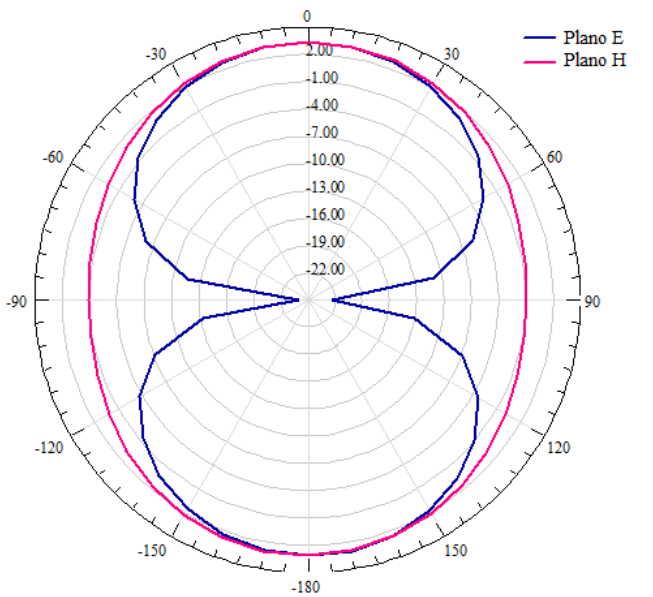


Fig. 6. Diagrama de radiação 2D em 2,4 GHz da antena 1.

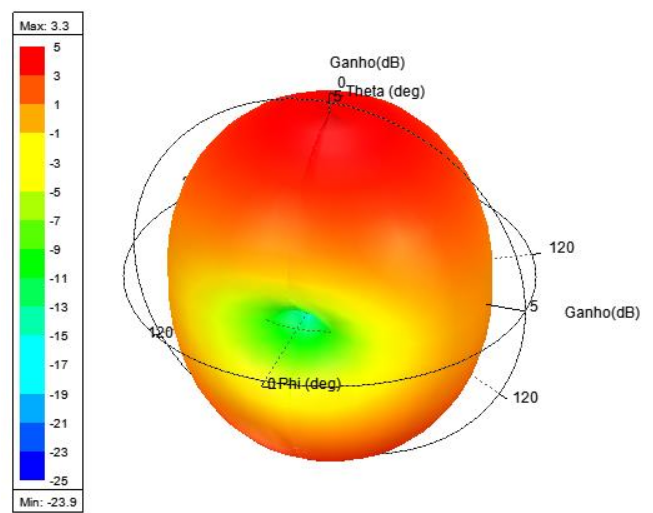


Fig. 7. Diagrama de radiação 3D em 2,4 GHz da antena 1.

A antena exibe valor máximo de ganho de 3,30 dB em 2,4 GHz. O plano H do padrão de radiação mostra que a antena irradia em intensidade semelhante em todas as direções nesta frequência. É observado um nulo no plano E em 90°. Esses gráficos mostram que a antena irradia apresentando padrão próximo ao omnidirecional, o que pode ser algo interessante para o tipo de aplicação especificada neste trabalho.

As Fig. 8-9 exibem os diagramas 2D e 3D, respectivamente, para a antena 1, na frequência de 5 GHz.

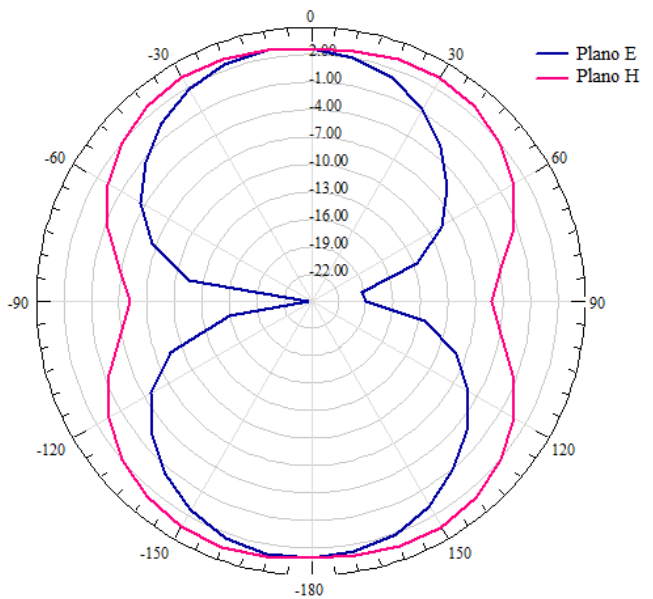


Fig. 8. Diagrama de radiação 2D em 5,0 GHz da antena 1.

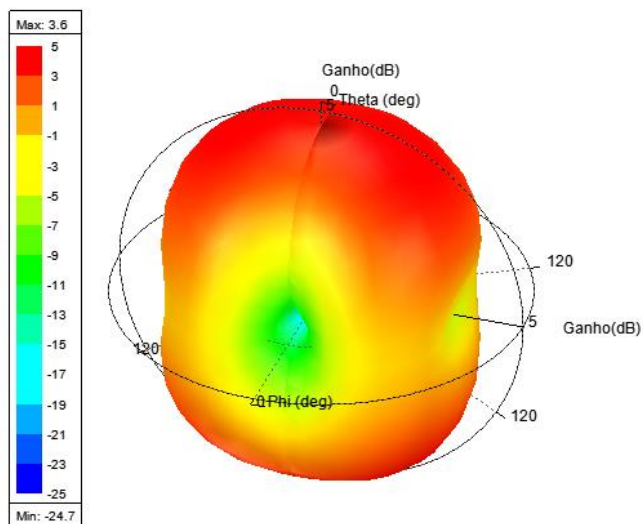


Fig. 9. Diagrama de radiação 3D em 5,0 GHz da antena 1.

Observa-se que na frequência de 5,0 GHz, o ganho máximo é superior ao apresentado na banda inferior, sendo 3,60 dB. Nesta frequência, no plano vertical na direção de 90°, o ganho é inferior ao apresentado na banda inferior.

A Fig. 10 apresenta a densidade de corrente superficial na frequência de 2,4 GHz, enquanto a Fig. 11 mostra esse mesmo parâmetro para a frequência de 5 GHz na antena 1.

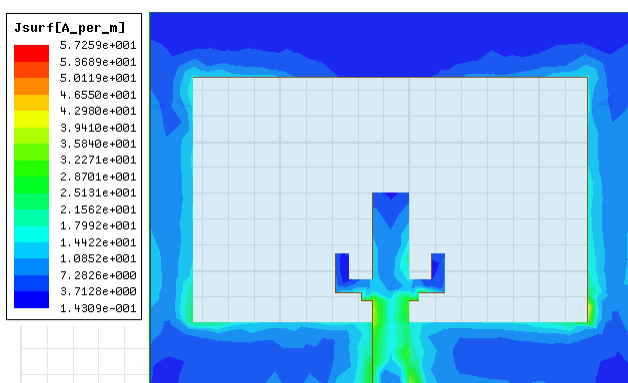


Fig. 10. Densidade superficial de corrente em 2,4 GHz para a antena 1.

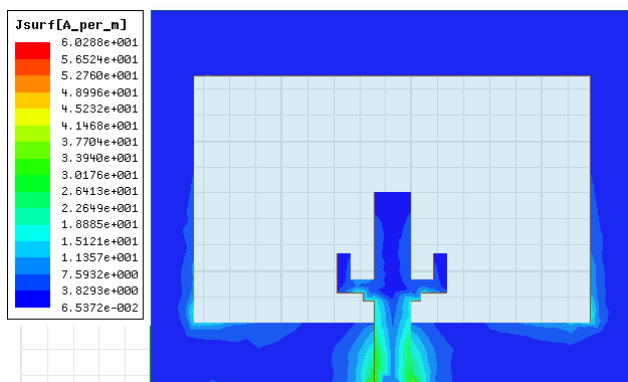


Fig. 11. Densidade superficial de corrente em 5,0 GHz para a antena 1.

Observa-se que a distribuição de corrente é alta nas bordas internas da fenda para a frequência inferior, porque a

presença de descontinuidades e extremidades faz aumentar a densidade de corrente. Na frequência de 5,0 GHz, as bordas internas da fenda não apresentam o mesmo aumento de densidade de corrente.

A Fig. 12 traz mostra a perda de retorno para a antena 2. Assim como ocorre na antena 1, esta antena ressoa nas bandas desejadas com frequências centradas em 2,4 GHz e 5,00 GHz.

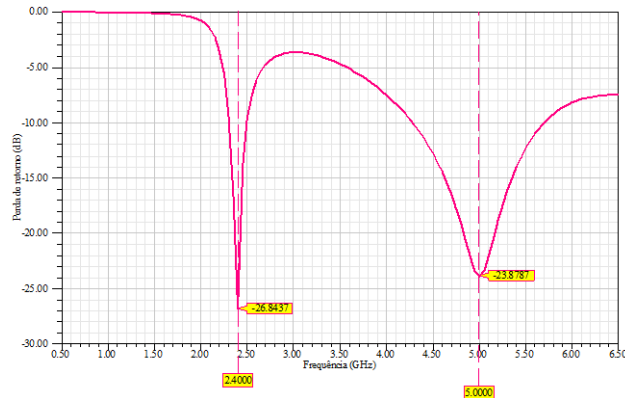


Fig. 12. Perda de retorno para a antena 2.

A perda de retorno da banda inferior é maior do que a da superior (o contrário do que ocorre na antena 1), sendo -26,84 dB e -23,87 dB, respectivamente.

O VSWR da antena 2 é exibido na Fig. 13. Na frequência de 2,4 GHz, o VSWR é 1,10 e em 5,0 GHz é 1,14.

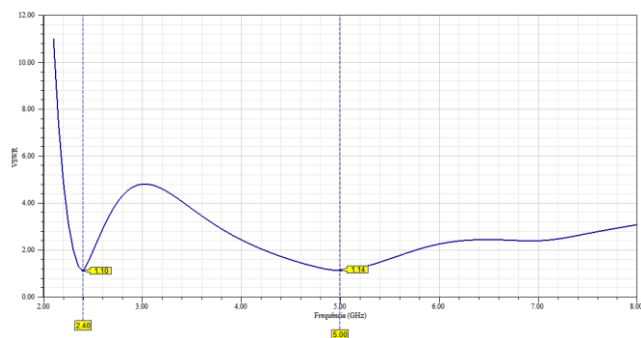


Fig. 13. VSWR para a antena 2.

A antena 2 é satisfatoriamente casada ($VSWR < 2$) de 2,3 GHz a 2,5 GHz, na banda inferior, e de 4,2 GHz a 5,8 GHz na banda superior, caracterizando larguras de banda de 200 MHz (com banda percentual larga de 8,33%) e 1600 MHz (com banda percentual ultra-larga de 32%) com frequências centrais de 2,4 GHz e 5,0 GHz, respectivamente. A Fig. 14 traz a carta de Smith para a antena 2, mostrando a impedância normalizada. A impedância de entrada obtida para 2,4 GHz é de 54,58 Ω e 52,69 Ω para a frequência superior.

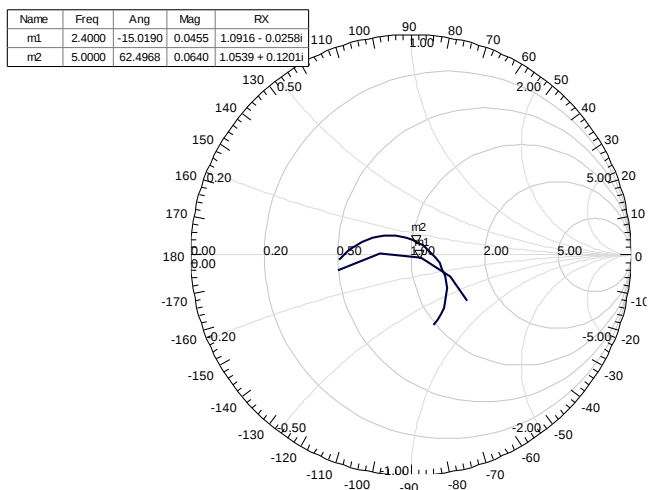


Fig. 14. Carta de Smith da antena 2.

As Fig. 15-16 exibem os diagramas de radiação 2D e 3D da antena 2 para a frequência de 2,4 GHz.

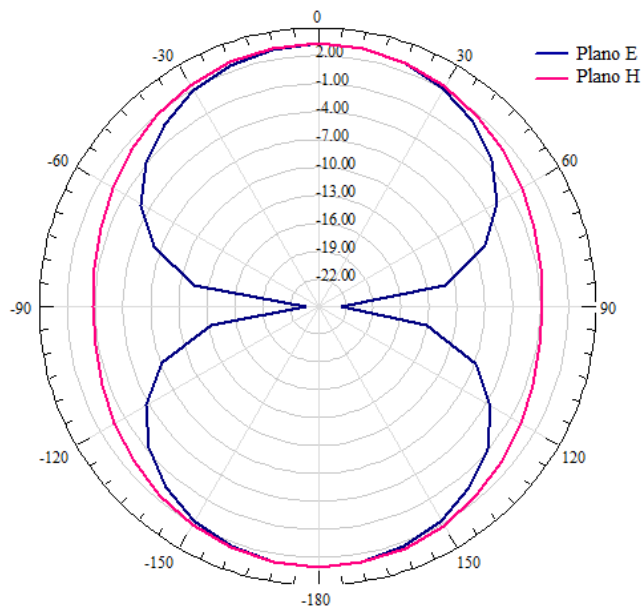


Fig. 15. Diagrama de radiação 2D em 2,4 GHz da antena 2.

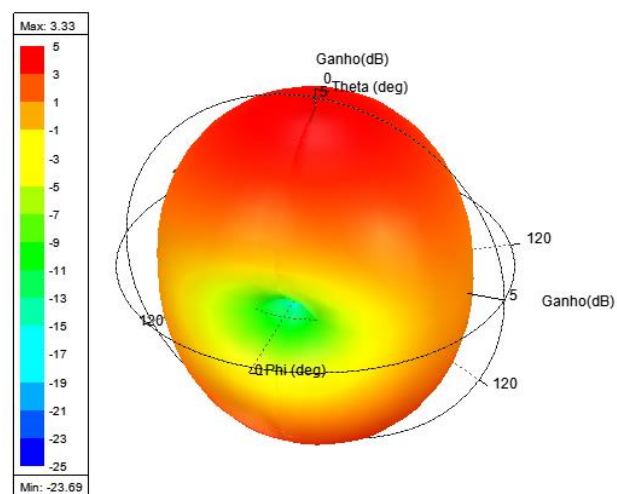


Fig. 16. Diagrama de radiação 3D em 2,4 GHz da antena 2.

O ganho máximo foi de 3,33 dB, valor muito próximo ao obtido na antena 1. O plano H também se comporta como na antena 1, isto é, com valores semelhantes em todas as direções. Assim, esta antena também apresenta padrão de radiação próximo ao omnidirecional. As Fig. 17 e Fig. 18 mostram os diagramas de radiação 2D e 3D para a antena 2, na frequência de 5,0 GHz.

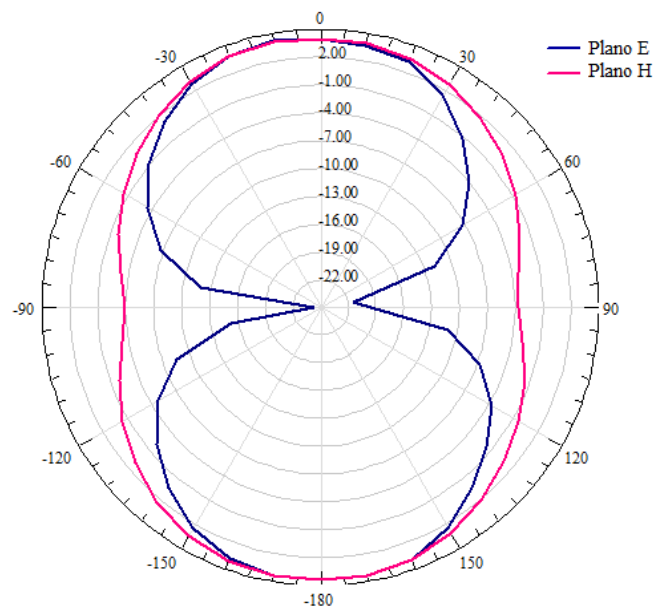


Fig. 17. Diagrama de radiação 2D em 5,0 GHz da antena 2.

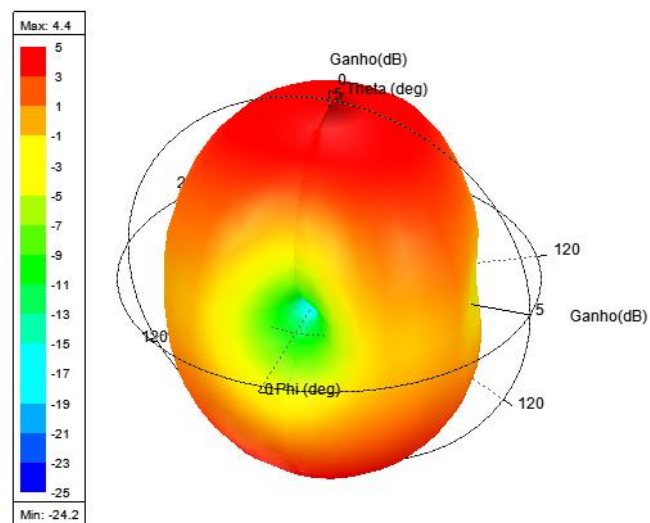


Fig. 18. Diagrama de radiação 3D em 5,0 GHz da antena 2.

O ganho máximo obtido na frequência superior foi maior do que o apresentado na mesma frequência na antena 1, sendo 4,40 dB. No plano vertical o ganho é semelhante em quase todas as direções, sendo um pouco menor na direção de 90°. A distribuição de corrente da antena 2 referida à frequência inferior é exibida na Fig. 19 e a da frequência superior é exibida na Fig. 20.

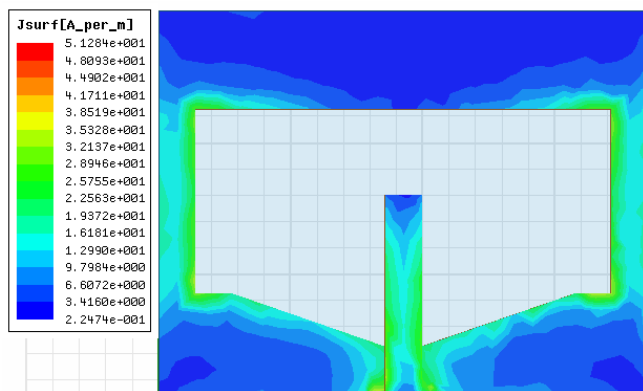


Fig. 19. Densidade superficial de corrente em 2,4 GHz para a antena 2.

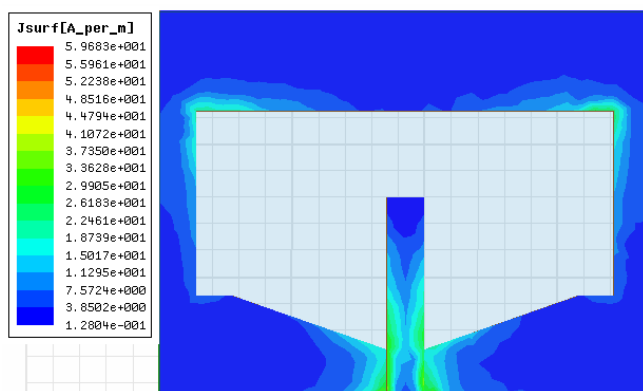


Fig. 20. Densidade superficial de corrente em 5,0 GHz para a antena 2.

Assim como na antena 1, as bordas internas da fenda no plano de terra apresentam maior densidade de corrente, o que não ocorre na frequência superior. Novamente, é um efeito comum a ocorrência de aumento na densidade de corrente em extremidades e descontinuidades.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o projeto e simulação de duas antenas planares alimentadas por linha de microfita com operação atendendo às duas bandas do padrão IEEE 802.11ax. Foram aqui definidas as metodologias necessárias para alcançar os resultados, sendo elas o ajuste da linha de microfita por meio da teoria de linha de transmissão já conhecida, e o ajuste das dimensões das fendas do plano de terra e dos elementos ressoantes em L, por meio de variação paramétrica. Nas duas estruturas a banda inferior foi ajustada pela fenda retangular presente no plano de terra. Já a banda superior em uma foi ajustada por meio do elemento ressoador em L, e na outra por uma fenda trapezoidal. Os resultados simulados mostram que para a antena 1, obteve-se largura de banda de 220 MHz na banda inferior e 1000 MHz na banda superior, enquanto que na antena 2, a largura da banda inferior foi de 200 MHz e da banda superior de 1600 MHz. Assim, ambas as estruturas possuem bandas que englobam a banda exigida pelo padrão. No que se refere a ganho, as duas antenas apresentaram bom desempenho, porém a antena 1 tem desempenho ligeiramente melhor em 2,4 GHz e a antena 2 é melhor 5,0 GHz. Como proposta de trabalhos futuros, pode-se desenvolver o protótipo das duas antenas apresentadas e realizar medições, obtendo o comparativo do real com o simulado.

REFERENCES

- [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) - Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica e da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- [2] SUN, Xiao Lei; LIU, Li; CHEUNG, S. W.; YUK, T. I. Dual-Band Antenna With Compact Radiator for 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN Applications. *Ieee Transactions On Antennas And Propagation*, [S.L.], v. 60, n. 12, p. 5924-5931, dez. 2012. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tap.2012.2211322>.
- [3] OJAROUDI, M.; GHOBADI, C.; NOURINIA, J. Small Square Monopole Antenna With Inverted T-Shaped Notch in the Ground Plane for UWB Application. *Ieee Antennas And Wireless Propagation Letters*, [S.L.], v. 8, p. 728-731, 2009. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/lawp.2009.2025972>.
- [4] DANG, Lin; LEI, Zhen Ya; XIE, Yong Jun; NING, Gao Li; FAN, Jun. A Compact Microstrip Slot Triple-Band Antenna for WLAN/WiMAX Applications. *Ieee Antennas And Wireless Propagation Letters*, [S.L.], v. 9, p. 1178-1181, 2010. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/lawp.2010.2098433>.
- [5] COLEMAN, David; MILLER, Lawrence C.. 802.11ax for Dummies. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. 53 p.
- [6] AFAQUI, M. Shahwaiz; GARCIA-VILLEGAS, Eduard; LOPEZ-AGUILERA, Elena. IEEE 802.11ax: challenges and requirements for future high efficiency wifi. *Ieee Wireless Communications*, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 130-137, jun. 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mwc.2016.1600089wc>.
- [7] SHAH, S. A. A.; KHAN, M. F.; ULLAH, S.; BASIR, A.; ALI, U.; NAEEM, U.. Design and Measurement of Planar Monopole Antennas for Multi-Band Wireless Applications. *Iete Journal Of Research*, [S.L.], v. 63, n. 2, p. 194-204, 19 jan. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/03772063.2016.1261049>.
- [8] SINGH, R.; KUMAR, G. Broadband Planar Monopole Antennas, M.Tech credit seminar report, Electronic Systems group, EE Dept, IIT Bombay, p. 1-24, nov. 2004.
- [9] MINERVINO, Diego Ramalho. Desenvolvimento de estruturas integradas de filtros e antenas para aplicação em sistema de comunicação sem fio. 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica e da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.
- [10] HAMMOUD, M.; POEY, P.; COLOMBEL, F. Matching the input impedance of a broadband disc monopole. *Electronics Letters*, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 406, 1993. Institution of Engineering and Technology (IET). <http://dx.doi.org/10.1049/el:19930272>.
- [11] PANDA, Jyoti R.; KSHETRIMAYUM, Rakesh S.. A printed F-shaped dual-band monopole antenna for RFID and WLAN applications. 2010 International Conference On Computer And Communication Technology (Iccct), [S.L.], p. 789-791, set. 2010. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iccct.2010.5640382>.
- [12] LI, Fan; REN, Li-Shi; ZHAO, Gang; JIAO, Yong-Chang. COMPACT TRIPLE-BAND MONOPOLE ANTENNA WITH C-SHAPED AND S-SHAPED MEANDER STRIPS FOR WLAN/WiMAX APPLICATIONS. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, [S.L.], v. 15, p. 107-116, 2010. The Electromagnetics Academy. <http://dx.doi.org/10.2528/pierl10052004>.
- [13] ZHAI, Huiqing; GAO, Qiqiang; MA, Zhihui; LIANG, Changhong. Dual Y-Shaped Monopole Antenna for Dual-Band WLAN/WiMAX Operations. *International Journal Of Antennas And Propagation*, [S.L.], v. 2014, p. 1-5, 2014. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/481918>.
- [14] WANG, Chen; XU, Ping; LI, Bo; YAN, Ze-Hong. A compact multiband antenna for WLAN and WiMAX applications. *Microwave And Optical Technology Letters*, [S.L.], v. 53, n. 9, p. 2016-2018, 16 jun. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/mop.26183>.
- [15] CHEN, Yikai; YANG, Shiwen; HE, Shiquan; NIE, Zai-Ping. DESIGN AND ANALYSIS OF WIDEBAND PLANAR MONOPOLE ANTENNAS USING THE MULTILEVEL FAST MULTIPOLE ALGORITHM. *Progress In Electromagnetics Research*

B, [S.L.], v. 15, p. 95-112, 2009. The Electromagnetics Academy.
<http://dx.doi.org/10.2528/pierb09042002>.