

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”**PROJETO DE UMA ANTENA MIMO MICROFITA COMPACTA E DE BANDA DUPLA PARA BANDA LARGA**Elioenay Jaiane de Dias Gonçalves¹ (IC), Fernanda Rodrigues da Silva (PQ)¹¹Universidade federal de itajubá**Palavras-chave: Antena Mimo, 5G, IoT****Introdução**

O avanço contínuo da tecnologia nas últimas décadas tem impulsionado o desenvolvimento de soluções cada vez mais sofisticadas no campo das telecomunicações. Entre essas inovações, destaca-se o uso de antenas MIMO (Multiple Input, Multiple Output), que têm transformado significativamente a forma como os dados são transmitidos e recebidos em redes sem fio. Essa tecnologia desempenha um papel essencial no aumento da eficiência espectral, da taxa de transmissão e da estabilidade dos enlaces, sendo um dos pilares fundamentais das redes de quinta geração (5G) e de outras aplicações modernas, como dispositivos móveis, internet das coisas (IoT) e sistemas de comunicação de alta velocidade. Os sistemas MIMO se destacam pela capacidade de explorar a propagação multipercursos de sinais, fenômeno que antes era considerado prejudicial como um recurso valioso para a transmissão simultânea de múltiplos fluxos de dados sobre um mesmo canal de frequência. Por meio do uso coordenado de múltiplas antenas nos transmissores e receptores, é possível obter ganhos expressivos em capacidade de canal, confiabilidade do enlace e robustez frente à interferência. Além disso, essa abordagem contribui para a sustentabilidade das redes, promovendo maior eficiência energética e espectral, especialmente em um cenário global de crescente demanda por conectividade de alta qualidade. Segundo a definição do IEEE, as antenas são dispositivos responsáveis pela emissão ou recepção de ondas de rádio, funcionando como elementos-chave na interface entre o meio físico de transmissão (como linhas ou guias de onda) e o espaço livre. Em sistemas de comunicação sem fio, sua função é indispensável, pois possibilita a conversão de sinais elétricos em ondas eletromagnéticas e vice-versa, garantindo, assim, o fluxo bidirecional de informações entre emissores e receptores. A eficiência dessa transdução é crucial para o desempenho global das redes

e para a confiabilidade das comunicações em ambientes complexos. Neste contexto, observa-se uma crescente necessidade por soluções compactas e de baixo custo, especialmente para aplicações em dispositivos com restrições físicas, como smartphones, tablets e dispositivos vestíveis (wearables). Considerando essas demandas, este artigo propõe o desenvolvimento de uma antena de microfita compacta voltada para aplicações em Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax). A proposta visa otimizar o uso do espaço e simplificar o processo de fabricação ao posicionar o plano de terra e o condutor irradiante na mesma face do substrato, o que também contribui para a redução de custos de produção. Este trabalho baseia-se na proposta de trabalho de que desenvolveu uma antena MIMO 4x4 alimentada por CPW com plano de terra circular, e propõe uma abordagem alternativa baseada na modificação geométrica do plano de terra. A geometria circular original foi substituída por uma configuração quadrada, com o objetivo de avaliar os impactos dessa alteração no desempenho da antena. O estudo envolve a análise comparativa entre diferentes formas do plano de terra, considerando parâmetros como eficiência de radiação, largura de banda e adaptação de impedância, com foco na aplicação prática em dispositivos de dimensões reduzidas. Dessa forma, este artigo visa contribuir com o avanço de soluções compactas e eficientes para redes sem fio de alta velocidade, explorando o papel estratégico das antenas e a influência de suas características geométricas no desempenho global do sistema.

Metodologia

Para o desenvolvimento das antenas propostas neste artigo, adotou-se como ponto de partida uma estrutura MIMO retangular, fundamentada no projeto apresentado como base, e o artigo de referência, no qual foi proposta e analisada a antena apresentada na Figura 1, servindo

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

como fundamento para o desenvolvimento e a validação deste estudo." A geometria inicial foi modelada e adaptada no software CST Studio Suite, amplamente reconhecido por sua precisão em simulações eletromagnéticas tridimensionais e pela flexibilidade na análise de diferentes configurações de antenas. O processo de adaptação envolveu ajustes geométricos voltados para o atendimento dos requisitos de desempenho estipulados, tais como: faixa de frequência de operação, diretividade, eficiência de radiação, largura de banda, ganho e, principalmente, o nível de isolamento entre os elementos radiantes do arranjo MIMO, fator determinante para minimizar a correlação de canal e otimizar a capacidade de transmissão de dados.

As simulações foram conduzidas no domínio da frequência, empregando a técnica numérica de elementos finitos (FEM – Finite Element Method), a qual possibilita uma discretização precisa da estrutura tridimensional da antena, assegurando elevada acurácia na extração dos parâmetros eletromagnéticos. A partir desse método, foram obtidos parâmetros-chave como: coeficientes de reflexão (S11), acoplamento mútuo entre portas (S21), eficiência de radiação, ganho máximo, padrões de radiação tridimensionais e largura de banda útil. Além disso, foi realizada uma análise comparativa entre a antena de referência e as versões modificadas, de forma a quantificar o impacto das alterações estruturais no desempenho global do sistema. A partir desses resultados, tornou-se possível otimizar a topologia da antena, garantindo maior robustez frente às exigências de aplicações modernas em comunicações sem fio, como 5G e futuras redes 6G, que demandam elevada capacidade espectral, baixa latência e confiabilidade.

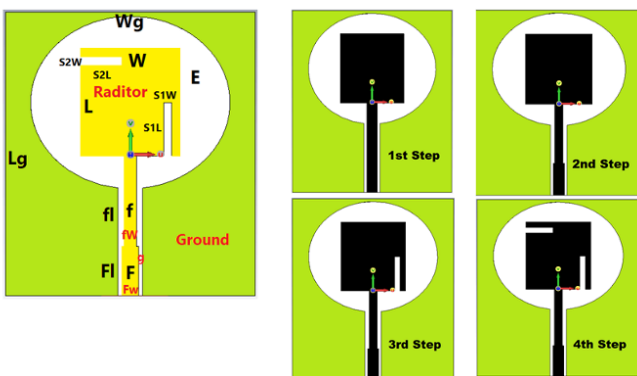


Figura 1- Antena base

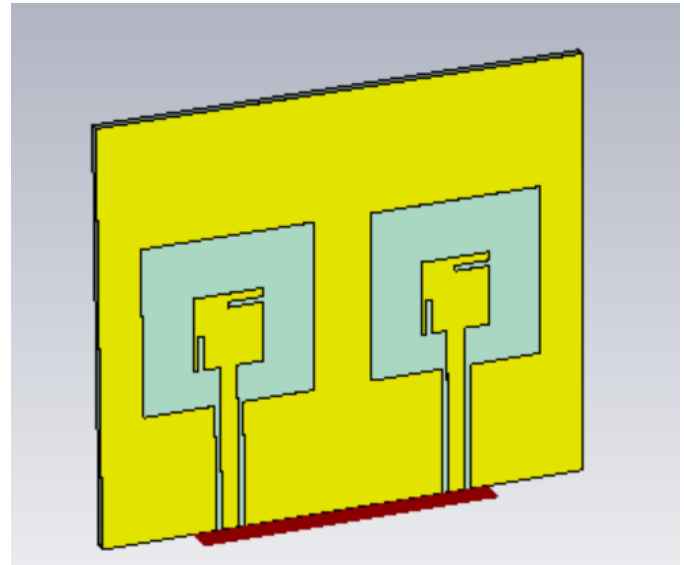


Figura 2- Antena MIMO com plano terra quadrado.

Resultados e discussão

Nessa seção de resultados e discussões, são apresentados os principais parâmetros obtidos a partir das simulações realizadas, permitindo avaliar o desempenho da antena proposta frente aos requisitos estabelecidos. A Figura 2 ilustra o comportamento do parâmetro S11 da antena MIMO, evidenciando sua resposta na faixa de frequência analisada. A análise do parâmetro S11, também conhecido como coeficiente de reflexão ou perda de retorno, é crucial para avaliar a eficiência de uma antena. O gráfico demonstra a relação entre a energia que é refletida e a que é efetivamente transmitida. Valores mais baixos de S11 (mais negativos) indicam um melhor casamento de impedância e, conseqüentemente, uma maior eficiência na irradiação do sinal. A antena apresenta um pico de ressonância em 5,9 GHz, onde o valor de S11 atinge um mínimo de aproximadamente -33 dB. Esse resultado confirma que é excelente adaptação de impedância e significativa minimização da reflexão do sinal na faixa de operação desejada. A Figura 3 complementa essa análise ao apresentar o padrão de radiação 3D da antena, simulado na mesma frequência de 5,9 GHz. Este gráfico mostra como a energia é distribuída no espaço, com o ganho máximo indicado pela cor vermelha e as áreas de menor intensidade em azul. O padrão quase omnidirecional no plano horizontal é ideal para aplicações que exigem ampla cobertura, como em roteadores Wi-Fi. A simulação revelou um ganho máximo de 5,500 dBi, além de uma eficiência de radiação de -0,4435 dB e uma

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

eficiência total de -0,5615 dB. A proximidade desses valores de 0 dB confirma a alta capacidade da antena de converter a potência de entrada em energia irradiada com perdas mínimas, o que valida a eficácia geral do projeto para sistemas de comunicação sem fio. Sobretudo considerando a utilização do substrato FR-4 lossy, uma escolha de baixo custo, mas que apresenta limitações em altas frequências.

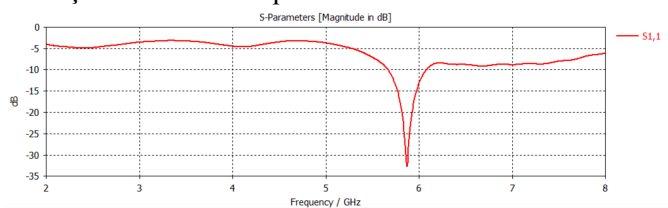


Figura 3 – Resultado de perda de retorno antena MIMO quadrada.

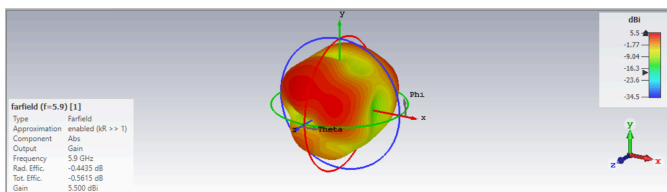


Figura 4- Diagrama de radiação 3D da antena com plano de terra quadrado, operando na frequência de 5,9 GHz.

Conclusões

O projeto da antena MIMO, simulado no CST Studio Suite, demonstrou um desempenho altamente satisfatório para aplicações em Wi-Fi 6. Os resultados confirmam a viabilidade técnica e a eficiência do design proposto. A análise do parâmetro S11 revelou uma ressonância em 5,9 GHz, com uma perda de retorno (S11) de aproximadamente -33 dB. Esse valor indica um excelente casamento de impedância, minimizando a reflexão do sinal e otimizando a transferência de energia na faixa de operação.

A escolha da técnica de alimentação CPW (Co-Planar Waveguide) e de um plano de terra simplificado não só contribuiu para a facilidade de fabricação e baixo custo, mas também permitiu a integração da antena em dispositivos compactos, como smartphones e dispositivos IoT. A banda de operação da antena, 5,9

GHz, a torna ideal para diversas tecnologias sem fio atuais, incluindo WLAN (IEEE 802.11a/n/ac/ax), Wi-Fi 6E, comunicações na banda ISM e sistemas embarcados em drones.

Em síntese, o projeto da antena oferece um equilíbrio notável entre desempenho eletromagnético robusto, simplicidade de construção e viabilidade econômica. Ele se consolida como uma solução eficiente e de baixo custo, apta a atender às rigorosas demandas de alta capacidade de transmissão e confiabilidade das redes sem fio modernas e de futuros dispositivos conectados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho. Adicionalmente, agradece-se ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento à pesquisa e concessão de bolsas de estudo, que tornaram possível o desenvolvimento deste projeto.

Referências

- RAPPAPORT, T. S.; HEATH JR, R. W.; DANIELS, R. C.; MURDOCK, J. N. *Millimeter Wave Wireless Communications*. Upper Saddle River: Pearson Education, 2014.
- SALIM, N.; SINGH, M. S. J.; ABED, A. T. Compact CPW 4×4 MIMO antenna for Wi-Fi 6 (IEEE802.11ax) and 5G (NR77/NR78/NR79) communications. *IJUM Engineering Journal*, v. 25, n. 1, p. 225–236, 2024.
- IEEE Transactions on Antennas and Propagation,” vols. AP-17, no. 3, Maio 1969 e AP-22, no. 1, Janeiro 1974.
- E. Perahia e R. Stacey, *Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac*, Cambridge University Press, 2018.
- M. Sauter, *From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*, Wiley, 2021.
- J. Jin, *The Finite Element Method in Electromagnetics*, 3rd ed., Wiley, 2015.
- Dassault Systèmes, *CST Microwave Studio – User Guide*, 2023.
- L. Liu, R. Zhang, e K. C. Chua, “Energy-Efficient Wireless Communications: Tutorial, Survey, and Open Issues,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 66, no. 4, pp. 1810–1828, 2018.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”