

Antena de Microfita Dupla Faixa de Baixo Custo Otimizada para as Bandas L1/L5 do GPS

Herick R. da S. Rodrigues, Marcos V. T. Heckler e Edson R. Schlosser

Resumo— O presente artigo apresenta uma antena de microfita quadrada, composta por duas camadas do laminado FR4 e dois patches truncados, projetada para operar com Polarização Circular à Direita (do inglês, *Right-Hand Circular Polarization - RHCP*) nas bandas L1 (centrada em 1,575 GHz) e L5 (centrada em 1,176 GHz) do Sistema de Posicionamento Global (do inglês, *Global Positioning System - GPS*). A antena foi excitada por meio de um único conector coaxial posicionado verticalmente no irradiador, com a adição de um capacitor em série, para obtenção de coeficiente de reflexão inferior a -10 dB em ambas as bandas. Após a modelagem da estrutura no simulador eletromagnético ANSYS HFSS, foi possível otimizar a razão axial, obtendo-se um diagrama de irradiação com elevado ângulo de meia-potência, com elevada supressão de polarização cruzada e alta eficiência de irradiação. Como resultado, a antena apresentou ganho de aproximadamente 7,44 dBic na banda L1 e 5,60 dBic na banda L5. Os resultados detalhados são apresentados ao longo deste artigo.

Palavras-Chave— Antena de microfita; dupla faixa; polarização circular; GPS.

Abstract— *This paper presents a square microstrip antenna composed of two layers of FR4 laminate and two truncated patches, designed to produce Right-Hand Circular Polarization (RHCP) in the L1 (centered at 1.575 GHz) and L5 (centered at 1.176 GHz) bands of the Global Positioning System (GPS). The antenna was excited through a single coaxial connector positioned vertically on the radiator, with the addition of a series capacitor, in order to achieve reflection coefficient below -10 dB in both bands. After modeling the structure in the ANSYS HFSS electromagnetic simulator, it was possible to optimize the axial ratio, resulting in a radiation pattern with large half-power beam width, high cross-polarization suppression and high radiation efficiency. As a result, the antenna exhibits gain of approximately 7.44 dBic in the L1-Band and 5.60 dBic in the L5-Band. Detailed results are presented throughout this paper.*

Keywords— Microstrip antenna; dual band; circular polarization; GPS.

I. INTRODUÇÃO

A radionavegação é fundamental na vida moderna por possibilitar a determinação da localização em qualquer ponto do planeta. O sistema mais conhecido e utilizado é o GPS, um dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (do inglês, *Global Navigation Satellite System - GNSS*), com aplicações que vão da navegação aérea à marítima. Nesse cenário, as

antenas GNSS são essenciais, pois recebem os sinais dos satélites que compõem o segmento espacial do sistema. Para um desempenho adequado, essas antenas devem operar nas faixas de frequência próximas a 1,2 e 1,6 GHz, alocadas para os serviços GNSS. Para este tipo de projeto, é indispensável que apresentem polarização circular e um diagrama de irradiação quase hemisférico, permitindo captar sinais de satélites em diversas posições no céu, inclusive em baixas elevações.

Entre as topologias de antenas adequadas para aplicações GNSS, as antenas de microfita se destacam por vantagens como baixo custo, peso reduzido, tamanho compacto e facilidade de integração com sistemas eletrônicos [1]. Sua fabricação por meio de técnicas de circuito impresso permite produção em larga escala e aplicação em veículos e embarcações [2]. Apesar destas características, surge um desafio ao se empregarem materiais de baixo custo, como o FR4, comum em placas de circuito impresso pela sua acessibilidade [3], [4]. O FR4 possui uma elevada tangente de perdas na faixa de micro-ondas, o que compromete severamente a eficiência de irradiação [5]–[7]. Isso é crítico em aplicações GNSS, já que os sinais recebidos dos satélites chegam à Terra com baixíssima densidade de potência, muitas vezes abaixo do nível de ruído do receptor. Assim, a alta perda dielétrica do FR4 reduz o ganho da antena, dificultando a recepção dos sinais e degradando a razão sinal-ruído, especialmente em situações adversas ou com satélites em ângulos de elevação baixos [8]–[10].

A motivação deste trabalho está justamente na necessidade de desenvolver soluções de antenas GNSS de baixo custo, sem comprometer a eficiência de irradiação. A utilização de FR4 como substrato permite que a antena seja fabricada a um custo significativamente menor em comparação a outros materiais de baixas perdas. A modelagem e a simulação das antenas foram realizadas no software ANSYS HFSS, que permitiu uma análise detalhada da razão axial, do coeficiente de reflexão e dos diagramas de irradiação da faixa L1 (1,575 GHz) e L5 (1,176 GHz).

A estrutura do artigo está organizada da seguinte maneira: na Seção II, é apresentado um estudo de uma antena de microfita dupla faixa utilizando laminados de FR4. Como o resultado apresentado não é tão adequado para a utilização em alguns casos, na Seção III, é apresentada uma otimização da antena proposta. Por fim, as conclusões são apresentadas na Seção IV.

II. ANTENA DE MICROFITA DUPLA FAIXA

Esta seção tem como objetivo apresentar uma antena de microfita construída com dois laminados de FR4 ($\epsilon_r = 4,4$)

Herick R. da S. Rodrigues, Marcos V. T. Heckler e Edson R. Schlosser. Laboratório de Eletromagnetismo, Micro-ondas e Antenas (LEMA), Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Alegrete-RS, e-mail: herickrodrigues.aluno@unipampa.edu.br, marcos.heckler@unipampa.edu.br e edsonschlosser@unipampa.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico através dos processos 407245/2022-7 e 406517/2022-3.

e espessura de 1,6 mm, utilizando dois *patches* empilhados, para que a estrutura opere em duas faixas do GPS. A antena apresentada em [11] opera com RHCP e dupla faixa de operação, cobrindo as frequências centrais de 1,227 GHz (Banda L2) e 1,575 GHz. A razão entre essas frequências é de aproximadamente 1,28, inferior a 1,5, o que inviabiliza projetos com apenas um *patch* e favorece o uso de *patches* empilhados [12].

Com base nas análises realizadas no software ANSYS HFSS e com base nas informações do artigo, observou-se que o *patch* inferior determina a frequência de ressonância para a Banda L2, enquanto o *patch* superior está associado à Banda L1. As dimensões de ambos os *patches* influenciam diretamente nas frequências centrais de operação e podem ser ajustadas para fins de otimização. A estrutura da antena é demonstrada nas Figuras 1 a 3.

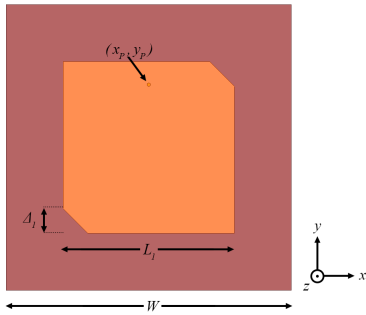


Fig. 1: Vista superior do *patch* que ressoa na Banda L1 da antena de microfita proposta com duas camadas de FR4. Adaptado de [11].

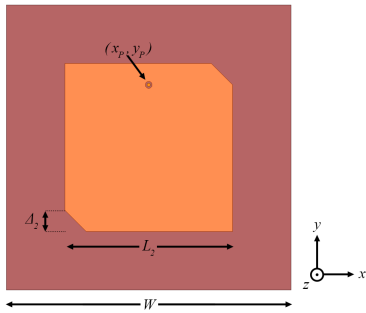


Fig. 2: Vista superior do *patch* que ressoa na Banda L2 da antena de microfita proposta com duas camadas de FR4. Adaptado de [11].



Fig. 3: Vista lateral da antena de microfita proposta com duas camadas de FR4. Adaptado de [11].

As dimensões da antena estão apresentadas na Tabela I. A

proposta se destaca por oferecer polarização circular em ambas as bandas com alimentação única e ainda por possuir uma espessura mais fina em comparação a outras antenas baseadas em FR4, embora essa característica também imponha certas limitações. Os resultados de simulação mostram que a largura de banda para razão axial ficou relativamente estreita em ambas as faixas; o casamento de impedância se mostrou satisfatório, porém o ganho obtido é muito baixo para aplicações GNSS.

TABELA I: Dimensões da antena de microfita proposta com duas camadas de FR4. Adaptado de [11].

Variáveis	Dimensões
W	100 mm
L_1	60 mm
Δ_1	8,5 mm
L_2	59 mm
Δ_2	7,5 mm
h	1,6 mm
h_c	35 μ m
h_{ar}	0,45 mm
(x_p, y_p)	(0 mm, 22 mm)

O artigo de referência apresenta os seguintes resultados experimentais: a razão axial da Banda L1 manteve-se abaixo de 3 dB em cerca de 17 MHz, e 15 MHz na Banda L2. O ganho medido foi de aproximadamente 4,5 dBic para L1 e 1,5 dBic para 1,227 GHz. Em termos de coeficiente de reflexão, considerando-se o critério $|S_{11}| \leq -10$ dB, obteve-se largura de 44 MHz na Banda L1 e cerca de 53 MHz na Banda L2.

III. OTIMIZAÇÃO DA ANTENA PROPOSTA

Com base na antena de microfita dupla faixa apresentada por [11], é possível observar um projeto eficiente e de baixo custo, especialmente voltado para aplicações GPS nas Bandas L1 e L2. Embora a referência utilizada empregue a frequência L2, optou-se pela frequência L5 (1,176 GHz) neste trabalho por oferecer melhor desempenho e maior precisão, sendo uma evolução em relação à frequência de 1,227 GHz. No entanto, apesar de que a estrutura empilhada ofereça bom desempenho em polarização circular e ganho moderado, certas limitações podem ser identificadas, como o ganho relativamente baixo na banda inferior e a dependência de substrato FR4, que possui tangente de perdas elevada.

Diante disso, esta seção propõe aperfeiçoamentos estruturais na antena original, com o objetivo de aumentar o ganho, ampliar a largura de banda de polarização circular, e tornar o projeto mais robusto para aplicações modernas, como sistemas de navegação embarcada de alta precisão. Para isso, foi realizada uma análise, com o objetivo de verificar o impacto de uma camada de ar mais espessa na estrutura final da antena. Visto que em trabalhos anteriores, como em [7], uma camada de ar foi empregada com sucesso para aumentar a eficiência de irradiação de antenas de microfita, essa mesma lógica foi aplicada ao presente projeto.

Na Figura 4, pode-se observar a vista lateral da antena, onde foi implementada uma camada de ar mais espessa do que a utilizada no estudo original. Essa alteração resultou em uma diminuição da constante dielétrica efetiva, o que, por sua

vez, aumentou a eficiência de irradiação na banda superior da antena.

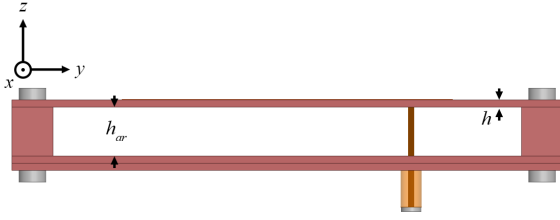


Fig. 4: Vista lateral da antena de microfita otimizada com duas camadas de FR4.

No entanto, a frequência inferior ainda apresentava desempenho insatisfatório. Como o objetivo do projeto é manter o uso exclusivo de substrato FR4, decidiu-se utilizar um substrato mais espesso do que o convencional. No projeto, utilizaram-se dois laminados FR4 ($\epsilon_r = 4,35$) com face simples, colados com a cola *FastRise* FR27, de $\epsilon_r = 2,7$, $\tan \delta = 0,0017$ e espessura de $45 \mu\text{m}$, para deixar o substrato inferior mais espesso (Figura 5). Esta escolha visa a:

- 1) Aumentar a largura de banda da antena;
- 2) Aumentar a eficiência de irradiação, compensando as perdas típicas do FR4 em altas frequências.

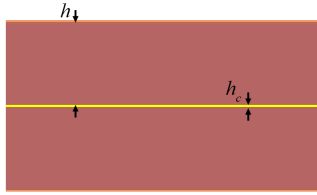


Fig. 5: Vista lateral da antena de microfita otimizada, demonstrando, com mais detalhes, a cola e os dois laminados.

Conforme comentado anteriormente, esta antena foi modelada no simulador eletromagnético ANSYS HFSS, e outras dimensões indicadas nas Figuras 6 e 7 foram otimizadas, seguindo o seguinte procedimento:

- 1) O parâmetro L_2 comanda a Banda L5 e deve ser o primeiro a ser ajustado para alcançar a frequência central desejada. Em seguida, o parâmetro L_1 define a frequência central da Banda L1;
- 2) A variação dos parâmetros Δ_1 e Δ_2 melhora a razão axial em suas respectivas bandas;
- 3) O casamento de impedância é obtido por meio da escolha adequada da posição do conector (alimentação vertical) e um capacitor série, que foi sintetizado junto à alimentação e ao *patch* superior, para ajustar a impedância de entrada; esta característica pode ser otimizada pelo parâmetro W_c .

Após esse procedimento de otimização, foram implementados parafusos na borda dos substratos e as dimensões finais obtidas para a antena são apresentadas na Tabela II. Apesar de frequências menores geralmente resultarem em *patches* maiores, essa relação não se aplica diretamente neste projeto. Para L5, foram utilizados dois substratos de 1,524 mm, enquanto

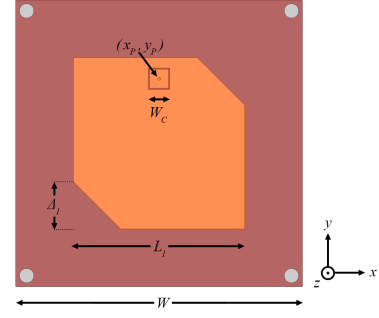


Fig. 6: Vista superior do *patch* de L1 da antena de microfita otimizada com duas camadas de FR4.

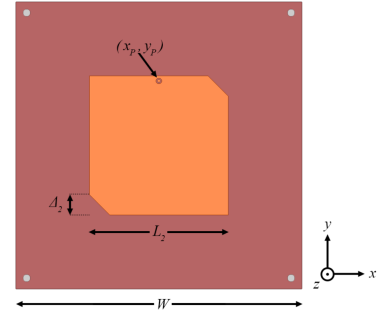


Fig. 7: Vista superior do *patch* de L5 da antena de microfita otimizada com duas camadas de FR4.

para L1 utilizou-se um único substrato de 1,524 mm com uma camada de ar espessa abaixo dele. Essa camada reduz a constante dielétrica efetiva, o que aumenta o comprimento de onda no meio e, conseqüentemente, as dimensões do *patch*.

TABELA II: Dimensões otimizadas para a antena com duas camadas de FR4.

Variáveis	Dimensões
W	120 mm
L_1	72 mm
Δ_1	20 mm
L_2	58,2 mm
Δ_2	8,5 mm
W_c	8 mm
h	1,524 mm
h_c	$35 \mu\text{m}$
h_{ar}	10,668 mm
(x_p, y_p)	(0 mm, 27 mm)

A razão axial na Banda L1 manteve-se abaixo de 3 dB no intervalo de 1,55 a 1,61 GHz, resultando em uma largura de banda de aproximadamente 60 MHz. Na frequência central dessa faixa, o valor simulado foi de apenas 0,3 dB, conforme ilustrado na Figura 8. De forma semelhante, a antena apresentou desempenho consistente na Banda L5, com razão axial inferior a 3 dB no intervalo de 1,164 a 1,187 GHz, totalizando cerca de 23 MHz de largura de banda. Na frequência central, a razão axial atingiu o valor mínimo de 0,22 dB, conforme mostrado na Figura 9. Esses resultados indicam uma excelente pureza de polarização circular em ambas as faixas de operação, o que é fundamental para aplicações em sistemas GNSS.

Após a otimização da razão axial, a impedância de entrada foi ajustada para se obter bom casamento de impedância com um sistema de 50Ω . Isto é obtido deslocando-se o conector ao longo da vertical dos *patches*. O valor do coeficiente de reflexão simulado foi de aproximadamente $-16,31$ dB na banda L1 e $-16,64$ dB na banda L5, conforme apresentado nas Figuras 10 a 12. Considerando-se como critério $|S_{11}| \leq -10$ dB, a faixa de operação de impedância da antena estende-se de 1,5 a 1,65 GHz para L1 e 1,15 a 1,2 GHz para L5.

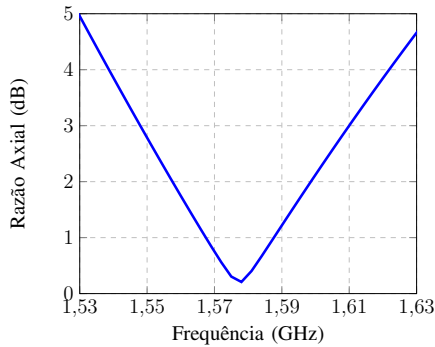


Fig. 8: Razão Axial da antena otimizada com duas camadas de FR4 na Banda L1.

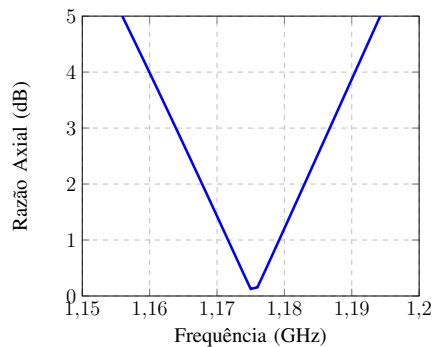


Fig. 9: Razão Axial da antena otimizada com duas camadas de FR4 na Banda L5.

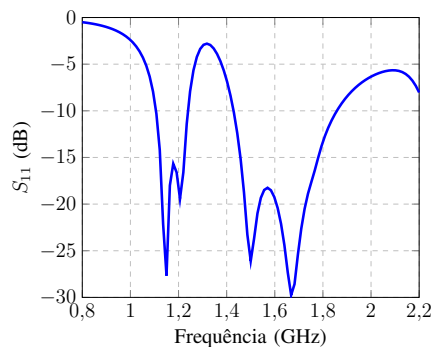


Fig. 10: Coeficiente de reflexão para a antena de faixa dupla operando nas bandas L1 e L5.

Os diagramas de irradiação resultantes são apresentados nas Figuras 13 a 16, correspondentes aos planos $\phi = 0^\circ$ e $\phi = 90^\circ$ para as Bandas L1 e L5, respectivamente. Nesses diagramas, verifica-se uma elevada Discriminação de Polarização Cruzada (XPD), com ganho RHCP de 7,44 dBic para 1,575 GHz

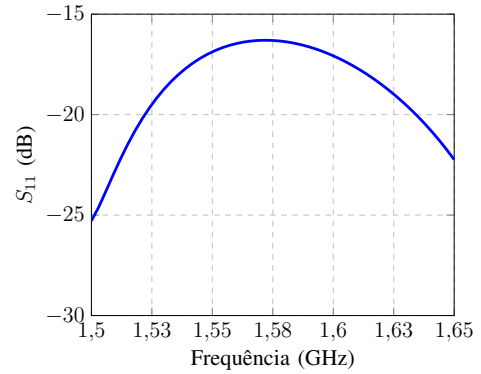


Fig. 11: Coeficiente de reflexão da antena otimizada com duas camadas de FR4 na Banda L1.

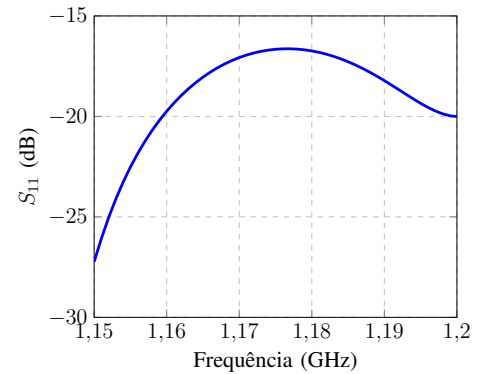


Fig. 12: Coeficiente de reflexão da antena otimizada com duas camadas de FR4 na Banda L5.

e de 5,60 dBic para 1,176 GHz. Em comparação à antena que foi estudada na seção anterior, verifica-se elevação do ganho de cerca de 2,94 dB para L1 e de 4,1 dB para a banda inferior. Observa-se que os diagramas de irradiação mantêm boa simetria e diretividade em ambas as bandas, sendo adequados para aplicações de navegação que exijam robustez a variações na orientação espacial da antena.

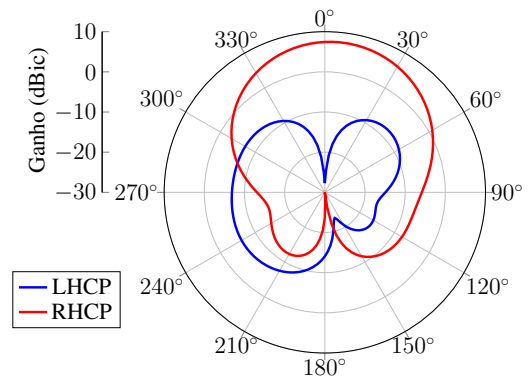


Fig. 13: Diagrama de ganho no plano $\phi = 0^\circ$ da antena otimizada com duas camadas de FR4 na Banda L1.

IV. CONCLUSÃO

Neste artigo, foi apresentado o projeto de uma antena de microfita de baixo custo para aplicações em sistemas GPS,

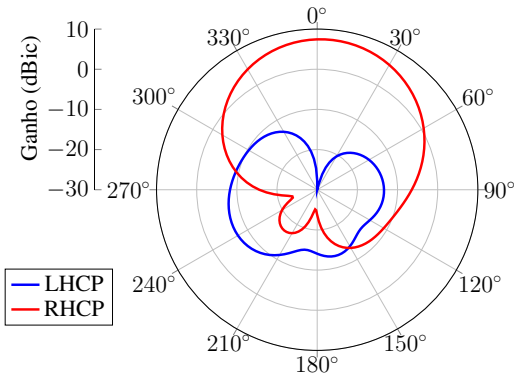


Fig. 14: Diagrama de ganho no plano $\phi = 90^\circ$ da antena otimizada com duas camadas de FR4 na Banda L1.

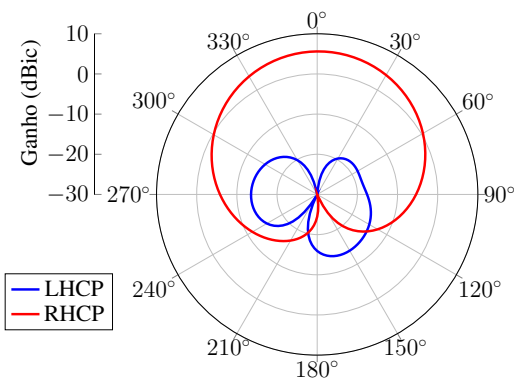


Fig. 15: Diagrama de ganho no plano $\phi = 0^\circ$ da antena otimizada com duas camadas de FR4 na Banda L5.

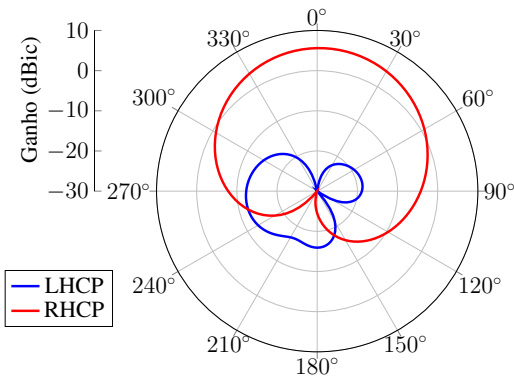


Fig. 16: Diagrama de ganho no plano $\phi = 90^\circ$ da antena otimizada com duas camadas de FR4 na Banda L5.

capaz de operar simultaneamente nas Bandas L1 e L5, com alta eficiência de irradiação e excelente pureza de polarização circular. A estrutura é composta por dois *patches* quadrados com cantos truncados, dispostos sobre substratos de FR4, com uma camada de ar entre eles, o que permite ajustar as frequências de ressonância e melhorar o desempenho sem recorrer a materiais de alto custo.

Além disso, a proposta do uso de um dos substratos com espessura ligeiramente maior possibilitou uma largura de banda mais ampla na Banda L5, contribuindo para um controle mais eficaz do comportamento ressonante da estrutura inferior.

Embora substratos de FR4 com maior espessura não sejam comuns, essa alternativa ainda representa uma opção mais econômica em comparação ao emprego de outros materiais de baixas perdas.

As simulações realizadas no software ANSYS HFSS mostraram que a antena apresenta razão axial inferior a 3 dB em ambas as bandas, com valores mínimos de 0,3 dB para L1 e 0,22 dB para L5. O ganho simulado foi de, aproximadamente, 7,44 dBic em 1,575 GHz e 5,60 dBic em 1,176 GHz. O coeficiente de reflexão também apresentou melhora significativa após a implementação de um capacitor em série, resultando em um valor de $-16,31$ dB para L1 e $-16,64$ dB para L5.

Como proposta de trabalho futuro, pretende-se fabricar a antena e realizar medições para verificar se, na prática, o desempenho será condizente com os resultados de simulação. Finalmente, planeja-se otimizar a estrutura para a utilização de três camadas de FR4, a fim de facilitar a montagem e a prototipação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte parcial ao trabalho através dos processos 305654/2022-5, 407245/2022-7 e 406517/2022-3 (INCT-Signals).

REFERÊNCIAS

- [1] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & sons, 2016.
- [2] D. Nascimento, J. Mores, R. Schildberg, and J. da S Lacava, "Low-cost truncated corner microstrip antenna for GPS application," in *2006 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2006, pp. 1557–1560.
- [3] K.-P. Yang and K.-L. Wong, "Dual-band circularly-polarized square microstrip antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 49, no. 3, pp. 377–382, 2001.
- [4] X.-B. Sun, "Circular-slotted microstrip antenna for GPS," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 52, pp. 999 – 1000, 05 2010.
- [5] G. J. N. Lenin, T. G. Babu, R. Rajkumar, and A. Ramanathan, "Design of an E shaped patch antenna for GPS and IRNSS application," in *2016 International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*, 2016, pp. 179–183.
- [6] A. S. S. Mariyanto, M. Irfan, S. Ariessaputra, and O. M. C. Mustiko, "Design and realization of microstrip antenna for GPS application using proximity coupled techniques," in *2017 11th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA)*, 2017, pp. 1–4.
- [7] H. R. S. Rodrigues, M. V. T. Heckler, and E. R. Schlosser, "Antena de microfita de baixo custo e elevada eficiência para aplicações em GPS," in *Anais do Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica (SBMO)*, 2024, apresentação de Trabalho/Congresso.
- [8] B. A. Ashika and S. Robinson, "Design and analysis of microstrip patch antenna for 4G communication," in *2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT)*, 2018, pp. 1–5.
- [9] D. Nascimento and J. da S. Lacava, "Cavity-backed hybrid microstrip antenna on FR4 substrate," in *2013 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, 2013, pp. 166–167.
- [10] D. R. Basavaraju, S. R. Ashwini, D. Bhavana, M. Nithyashree, and A. Sangeetha, "Realization of microstrip patch antenna for LTE application using different substrates," in *2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 2018, pp. 2211–2215.
- [11] C.-M. Su and K.-L. Wong, "A dual-band GPS microstrip antenna," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 33, no. 4, pp. 238–240, 2002.
- [12] L. S. Pereira, "Estudo de antenas de microfita com dupla-banda e dupla-polarização para aplicação em redes retro-diretivas," Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Brasil, 2015.