

Performance of Microstrip Antennas with Metamaterial Cells Inside the Substrate

Desempenho de Antenas de Microfita com Células Metamateriais Dentro do Substrato

Article Info:

Article history: Received 2022-12-20 / Accepted 2023-02-14 / Available online 2023-02-16

doi: 10.18540/jcecv19iss2pp15317-01e



Adelson Menezes Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6270-4930>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros, Brasil

E-mail: adelsonmlima@ufersa.edu.br

Náthalle Cavalcanti de Almeida Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7325-6670>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros, Brasil

E-mail: nathalee.almeida@ufersa.edu.br

Paulo César Linhares da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6376-9605>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró, Brasil

E-mail: linhares@ufersa.edu.br

Resumo

Neste trabalho, uma antena de microfita para operar na frequência de 5,8 GHz é proposta com arranjos de células metamateriais (MTMs) metálicos para melhorar o seu desempenho através de um aprimoramento dos campos. Para isso, um arranjo de células do tipo *Capacitive Loaded Loop* (CLL) é inserido dentro do substrato da antena, sendo distribuído em forma de uma matriz de 5×7 elementos ressoadores. O arranjo na antena foi proposto e analisado nas posições de 0° e 90° . Verificou-se que os elementos metamateriais ressoadores são responsáveis por um melhor desempenho das antenas em alguns parâmetros em relação a antena de microfita padrão, ou seja, houve um aumento da largura de banda em 21,43%, e um menor coeficiente de reflexão em 27,37% na posição 0° . Para posição de 90° houve somente um aumento na largura de banda de 19,24%. Além disso, foi possível observar que é possível trabalhar com frequências menores em função da larga faixa de frequências nas posições analisadas possibilitando uma redução no tamanho da antena de microfita padrão.

Palavras-chave: Antena de microfita, Substrato, Metamaterial, CLL.

Abstract

In this work, a microstrip antenna to operate at the frequency of 5.8 GHz is proposed with arrays of metallic metamaterial cells (MTMs) to improve its performance through field enhancement. For this, a cells array of the *Capacitive Loaded Loop* (CLL) type is inserted into the substrate of the antenna, being distributed in the form of a matrix of 5×7 resonator elements. The antenna array was proposed and analyzed in the 0° and 90° positions. It was verified that the resonator metamaterial elements are responsible for a better performance of the antennas in some parameters in relation to the standard microstrip antenna, that is, there was an increase in the bandwidth of 21.43%, and a lower reflection coefficient in 27.37% in the 0° position. For the 90° position, there was only a 19.24% increase in bandwidth. In addition, it is observed that it is possible to work with lower frequencies due to the wide range of frequencies in the analyzed positions, allowing a reduction in the size of the standard microstrip antenna.

Keywords: Microstrip antenna. Substrate. Metamaterial. CLL.

1. Introdução

O rápido desenvolvimento das comunicações sem fio leva um grande interesse por uso de novos materiais. Com isso, a procura dos materiais nas últimas décadas com o objetivo de proporcionar novos fenômenos físicos e atender os sistemas de telecomunicações, tem levado pesquisadores a desenvolver novos materiais artificiais ao invés de utilizar materiais naturais, de forma a atender à vida moderna, em que esses materiais podem ser utilizados em antenas e suas diversas aplicações nas telecomunicações (Lima, 2020).

Assim, os metamateriais (MTMs) estão entre esses novos materiais que surgem como relevantes, já que são materiais eletromagnéticos fabricados artificialmente, e são constituídos de objetos dispostos periodicamente (Lima, 2020; Lima *et al.*, 2020; Krzysztofik *et al.*, 2018). Além disso, são constituídos por arranjos de estruturas metálicas, como por exemplo nas partes constituintes de uma antena. Ainda, o tamanho dessas estruturas devem atender a um espaçamento entre eles, sendo muito menor que o comprimento de onda na frequência de operação. Desta forma (Krzysztofik *et al.*, 2018), as propriedades adquiridas pelos MTMs, dependem mais de suas estruturas do que do componente que os compõe.

Portanto, esses MTMs possuem características eletromagnéticas diferenciadas, como permissividade (ϵ) e permeabilidade (μ), em que é possível modificar ϵ e μ e apresentar (ϵ e $\mu < 0$), obtendo o índice de refração negativo ($n < 0$), e assim atender muitas aplicações (Lima, 2020). Desta forma, essas características criadas pelos MTMs, podem ser observados durante a transmissão de ondas eletromagnéticas, como a propagação de ondas.

Historicamente, os MTMs foram propostos teoricamente por Veselago (1968), por apresentar permissividade e permeabilidade negativas ao mesmo tempo (Lima, 2020; Krzysztofik *et al.*, 2018). Após um certo tempo, J. B. Pendry (1996), propôs estruturas do tipo plasmônico negativo (ϵ) usando matriz de fios finos condutores em adequado espaçamento e diâmetro. Após a sua descoberta, Pendry conseguiu propor uma matriz de condução utilizando Ressonador de Anel Dividido (SRR), em que apresentava permeabilidade negativa para uma certa faixa de frequência. A partir destes estudos, diversos outros surgiram para aplicações em eletromagnetismo. Dentre as estruturas MTMs mais básicas utilizadas na literatura (Serria, 2020; Krzysztofik *et al.*, 2018), estão os ressoadores SRRs proposto por Pendry, e os ressoadores complementares de anel dividido (CSRRs). Como aplicações, os MTMs podem ser usados para área de micro-ondas e terahertz em dispositivos como antenas, filtros, sensores de rede integrados, proporcionando um melhor desempenho de alguns parâmetros de equipamentos nos diferentes campos da ciência e tecnologia (Lima, 2020; Serria *et al.*, 2020; Krzysztofik *et al.*, 2018).

Diante do contexto, sabe-se que as antenas são elementos importantes em qualquer sistema de comunicação, e associado com os MTMs, podem proporcionar aplicações interessantes, como projetos de antenas multibandas (Lima, 2020). A partir de pesquisas científicas em aplicação com MTMs no projeto da antena, observou-se que pode aumentar a potência irradiada, melhorar alguns parâmetros e reduzir o tamanho da antena (Lima, 2020; Serria *et al.*, 2020; Krzysztofik *et al.*, 2018). Entre os modelos, as antenas de microfita seguem como boas opções diante de suas aplicações, e por suas vantagens, como tamanho compacto e facilidade de fabricação (Balanis, 2005). Algumas de suas aplicações são encontradas na literatura, como sistemas de comunicação móvel, radar, sistemas de posicionamento global (GPS), sensores de micro-ondas, serviços de telemetria biomédica, WLAN, mísseis, etc (Balanis, 2005). Na literatura, trabalhos apresentam os MTMs aplicados nas partes construtivas das antenas de microfita, como no *patch*, próximo à linha de alimentação, dentro do substrato e no plano de terra (Lima *et al.*, 2020; Krzysztofik *et al.*, 2018).

Assim, neste artigo é investigado um arranjo MTM com células tipo *Capacitive Loaded Loop* (CLL), em antenas de microfita com *patch* retangular (RMPA) dentro do substrato na posição de 0° e 90° . Por fim, as antenas propostas foram comparadas com a antena padrão computacionalmente, por meio do software ANSYS HFSS®.

2. Materiais e Métodos

Inicialmente foi determinado o modelo de estrutura MTM para aplicar ao projeto da RMPA, em que por meio da célula do tipo *Capacitive Loaded Loop* (CLL) criada por (Patel *et al.*, 2016) e adotada em (Lima, 2020), é possível ressoar em 5,8 GHz. A Figura 1 apresenta a célula MTM e as suas dimensões ($a = 2$; $b = 3,8$; $c = 1,65$; $d = 0,5$; $e = 1,2$; $f = 0,2$) em milímetros, com espessura do laminado de cobre de 0,03 mm.

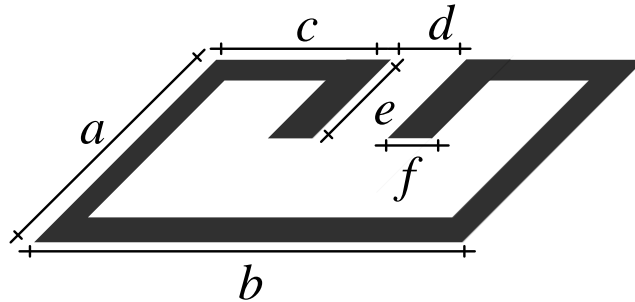


Figura 1 – Célula MTM tipo CLL.

Em seguida uma antena para aplicações em 5,8 GHz com substrato FR4 ($\epsilon_r = 4,4$ e $tg\delta = 0,02$) foi utilizada (Balanis, 2005; Lima, 2020). Conforme o fluxograma da Figura 2 (Lima, 2020), é apresentada a sequência para um projeto de antena de microfita padrão, que resultou em um modelo conforme a Figura 3. Sendo f_r a frequência de ressonância e S_{11} o coeficiente de reflexão.

Desta forma, as dimensões da antena padrão são: $L_p = 29,2$ mm; $W_p = 41,6$ mm; $L_g = 10$ mm; $W_g = 16$ mm; $L_o = 6,5$ mm; $W_o = 2,7$ mm. Além disso, o substrato em placa de FR4 utilizado, tem espessura $h = 3,1$ mm. O laminado de cobre tem 0,03 mm de espessura.

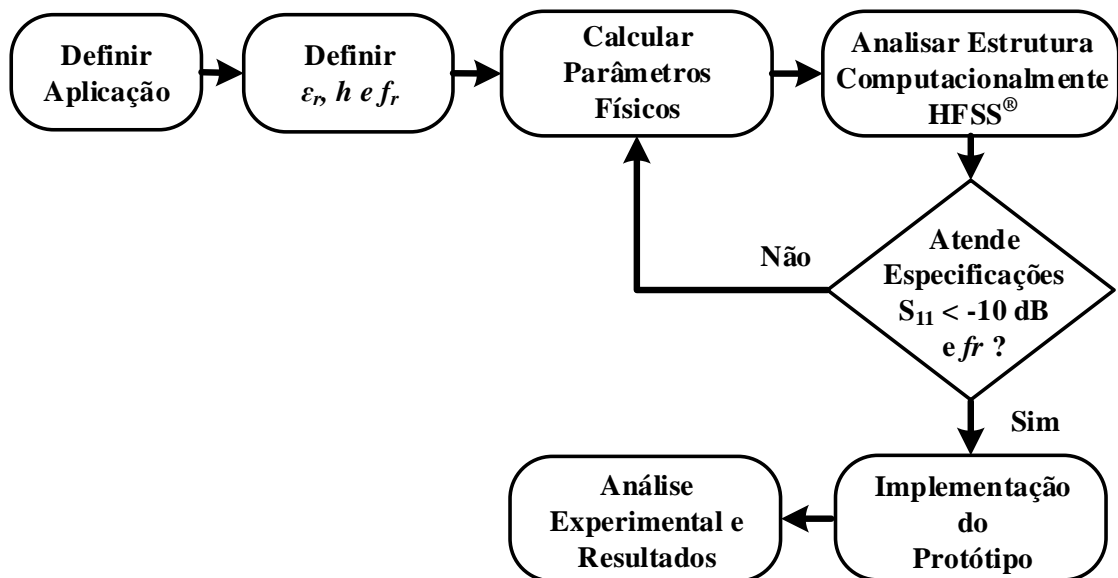


Figura 2 – Fluxograma para o projeto da antena de microfita padrão.

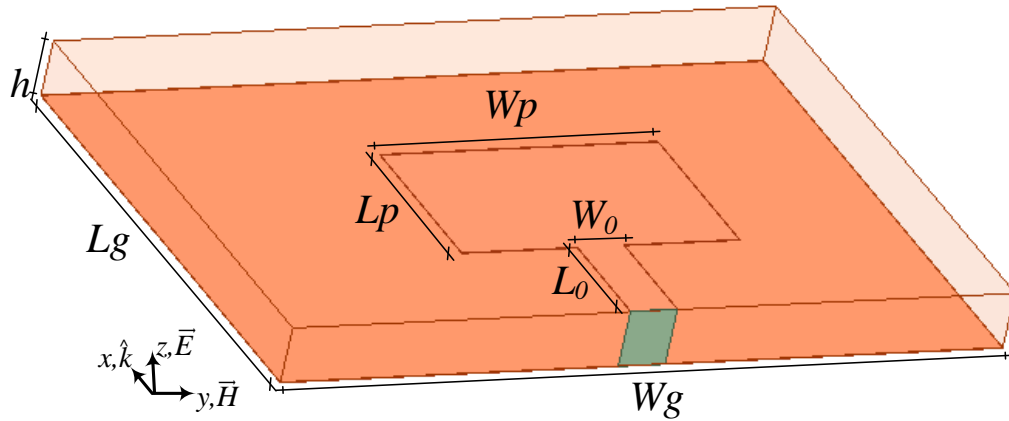


Figura 3 – Antena de microfita padrão.

Deste modo, a Figura 4 (Lima, 2020) apresenta como ficou a combinação do MTM com a antena padrão. Após a inserção da célula em formato de matriz (5 x 7) dentro do substrato, as antenas ficaram conforme as Figuras 5 e 6, para as posições 0° e 90° .

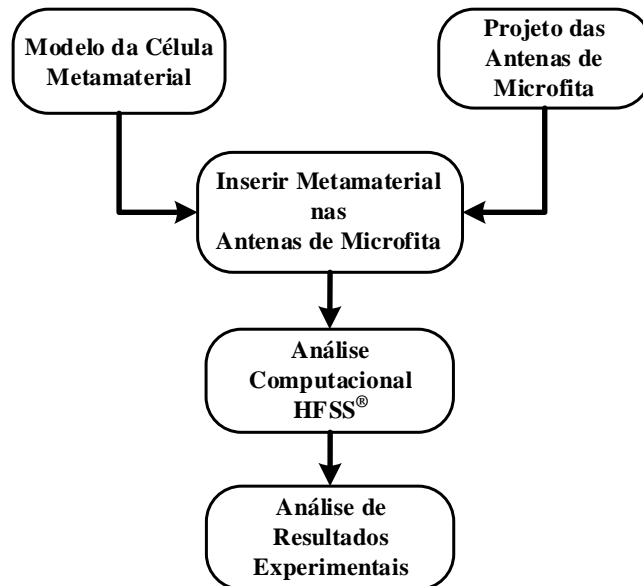


Figura 4 – Fluxograma das antenas com MTMs.

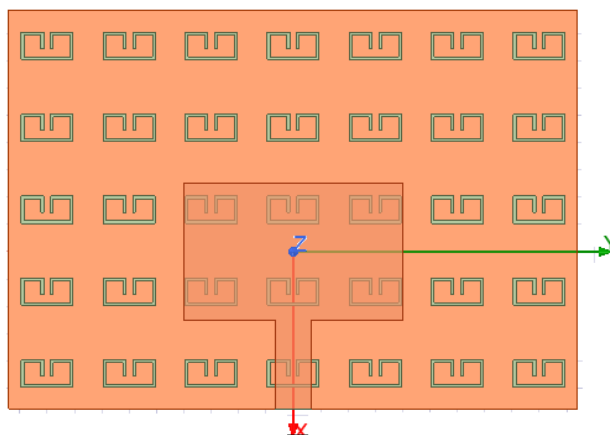


Figura 5 – Arranjo na antena de microfita dentro do substrato na posição 0° .

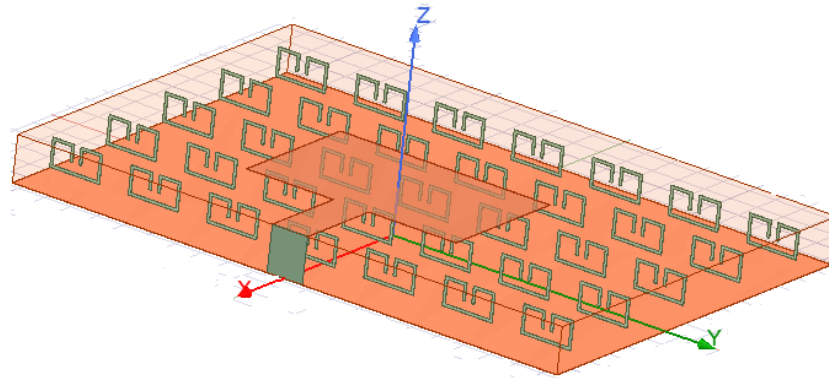


Figura 6 – Arranjo na antena de microfita dentro do substrato na posição 90°.

Na Figura 7, é mostrado uma visão lateral das antenas com o posicionamento dos arranjos das células MTMs dentro do substrato, nas posições em 0° e 90°.

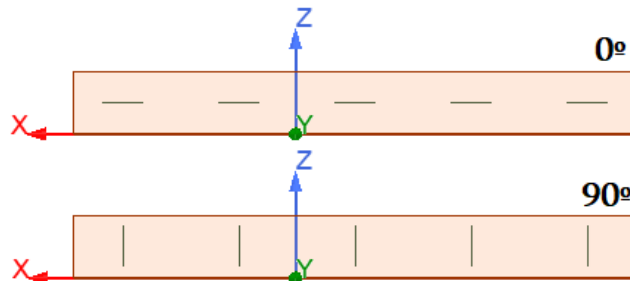


Figura 7 – Vista lateral do posicionamento dos arranjos em 0° e 90°.

4. Resultados e Discussões

Para validar os resultados das antenas de microfita, foram realizadas simulações por meio do software *ANSYS HFSS*[®] e comparados em valores abaixo de -10 dB, afim de analisar os seus desempenhos. Conforme a Figura 8, são apresentadas as curvas do parâmetro do coeficiente de reflexão (S_{11}) simulado para a antena padrão e, as antenas com os arranjos de células MTMs inseridos dentro do substrato, na posição de 0° e 90°. Quando o campo magnético é aplicado com o arranjo de células em 0°, aumenta a largura de banda em 510 MHz com a frequência central de 5,81 GHz e o S_{11} de -26,34 dB. Entretanto, na antena padrão obteve uma largura de banda de 420 MHz na frequência central de 5,8 GHz e S_{11} de -20,68 dB. Agora quando o campo magnético é aplicado com o arranjo de células em 90°, permanece um aumento a largura de banda quando comparado com a antena padrão, obtendo 500 MHz com a frequência central de 5,45 GHz e o S_{11} de -12,56 dB.

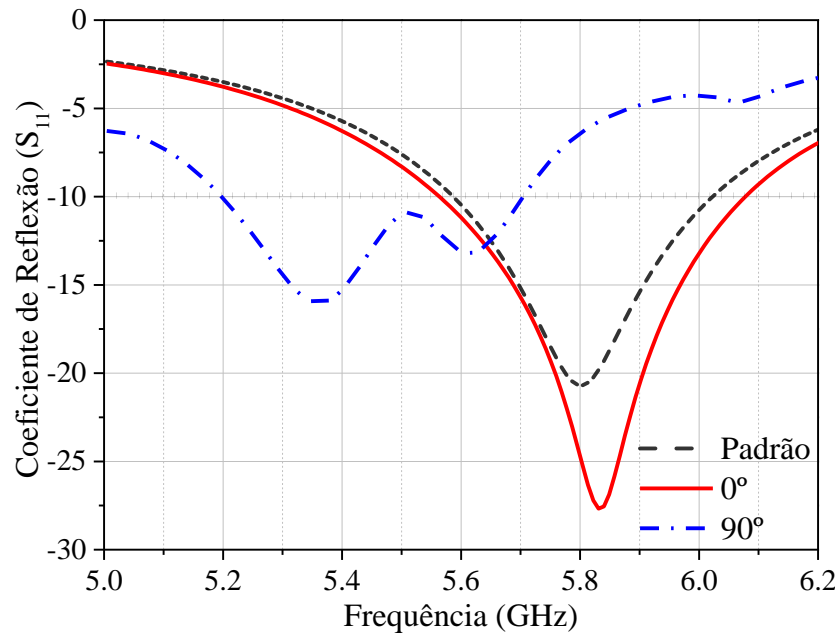


Figura 8 – Coeficiente de reflexão nas antenas de microfita.

Na Figura 9 para a posição de 0° , apresenta a distribuição do campo elétrico no elemento radiante, em que observa-se o modo fundamental (TM_{10}) e a sua típica distribuição na estrutura da antena. Na Figura 10 mostra a densidade de corrente no arranjo de células para a posição de 0° , em que a maior concentração está nas células próximas ao elemento radiante e em função do efeito de franjamento.

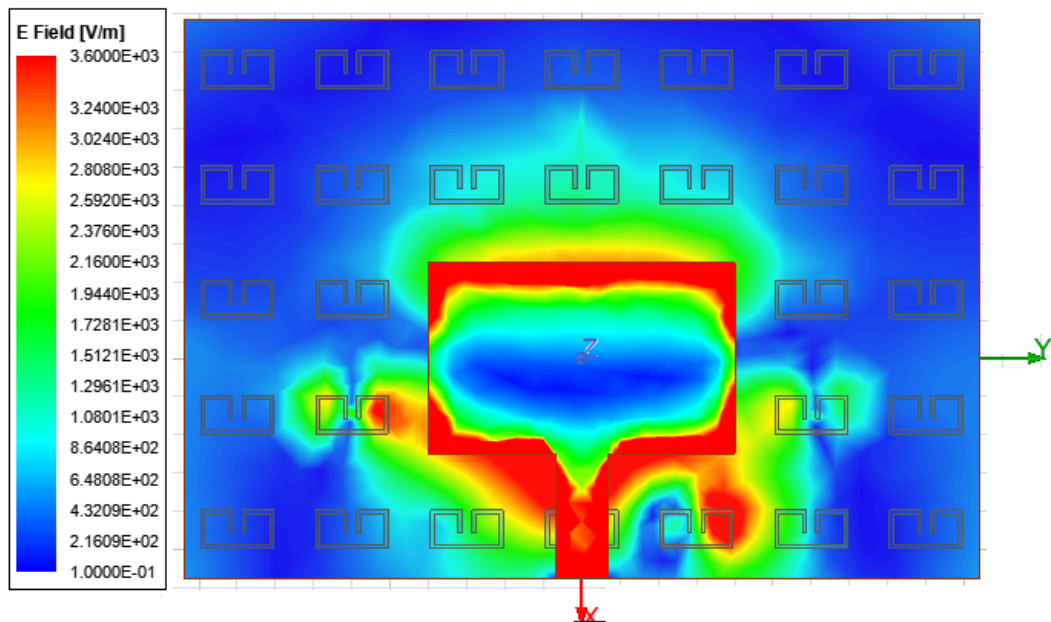


Figura 9 – Distribuição do campo elétrico no patch para a posição 0° .

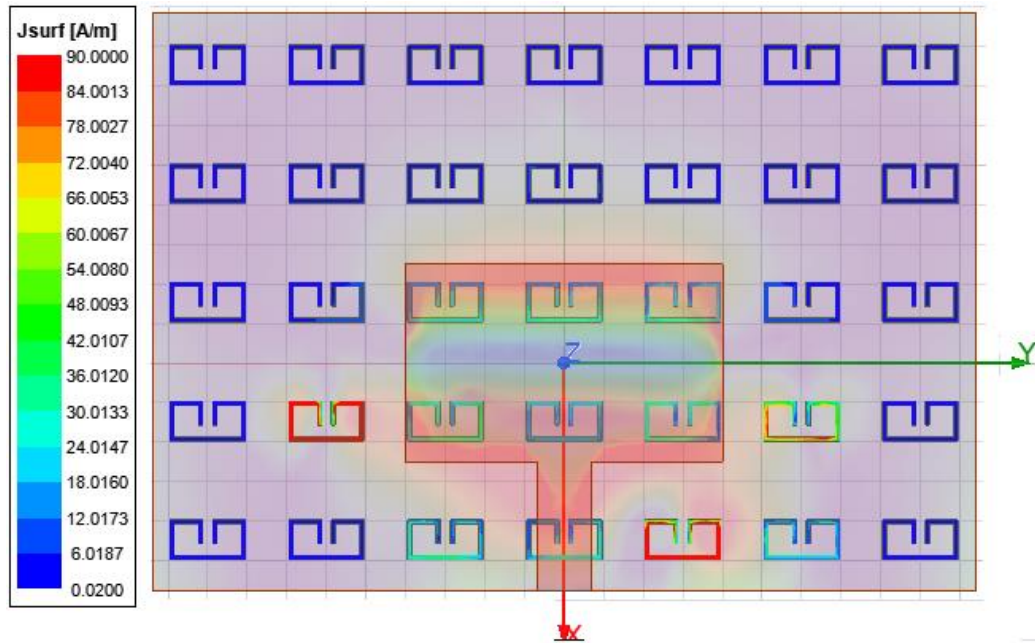


Figura 10 – Densidade de corrente no arranjo de células para a posição 0°.

Na Figura 11 apresenta a distribuição do campo elétrico no elemento radiante, em que nesse caso o campo está mais disperso em função de ter proporcionado frequências abaixo de operação. Na Figura 12 mostra a densidade de corrente no arranjo de células para a posição de 90° e a sua concentração similar a posição de 0°.

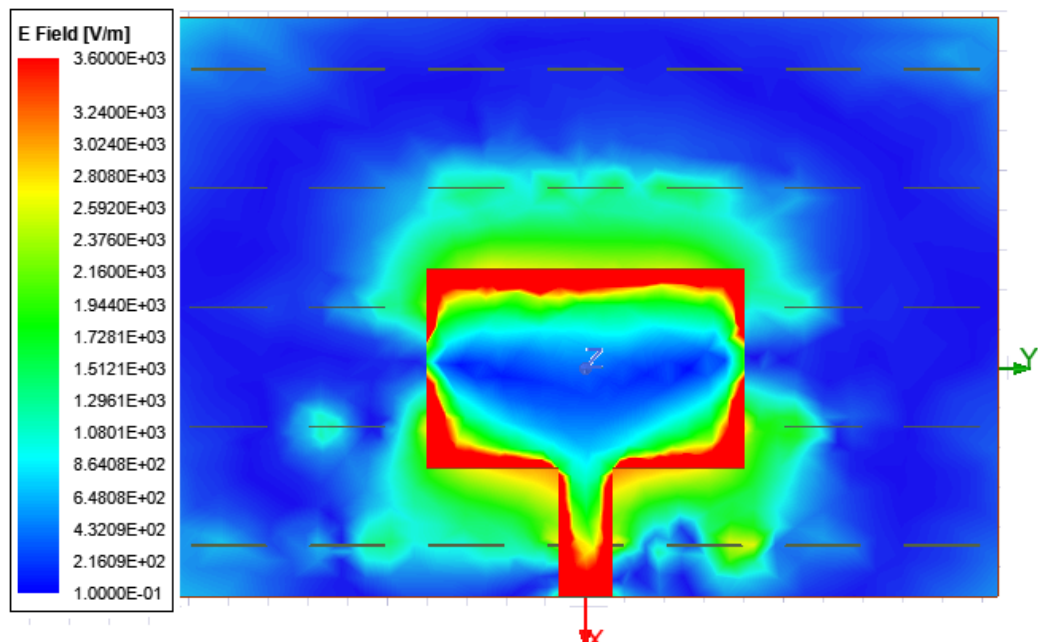


Figura 11 – Distribuição do campo elétrico no *patch* para a posição 90°.

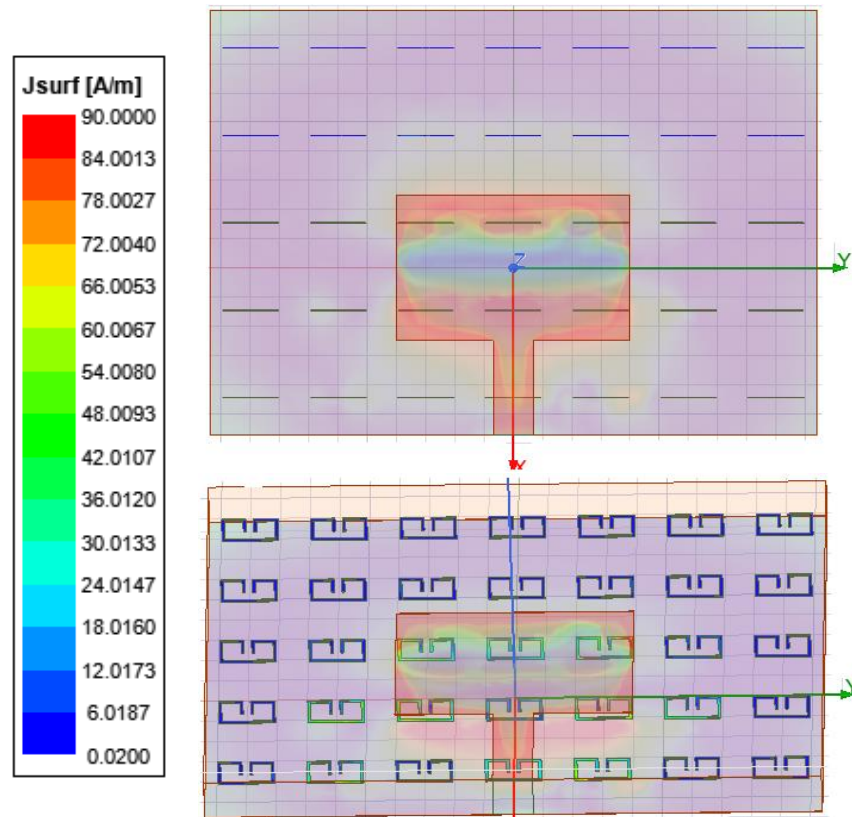


Figura 12 – Densidade de corrente no arranjo de células para a posição 90°.

5. Conclusão

Neste trabalho, uma antena de microfita padrão foi utilizada para operar na frequência de 5,8 GHz. Em seguida células MTMs do tipo CLL foram inseridas no substrato da antena padrão na forma de matriz com 5 x 7 elementos metálicos, em que se utilizou nas posições de 0° e 90°. Para a posição 0° obteve um maior coeficiente de reflexão e largura de banda, enquanto que na posição 90° obteve um menor coeficiente de reflexão e frequência de operação, mas obteve uma maior largura de banda. Desta forma, a aplicação dos MTMs nas antenas simuladas, comprova um melhor desempenho nos parâmetros das antenas, com isso proporcionando a sua utilização em diversas aplicações.

Agradecimentos

A UFERSA Campus Pau dos Ferros, UFERSA Campus Mossoró pelo suporte financeiro, e ao PPGEE/UFERSA pela licença do *software* comercial (n° 1058710).

Referências

- Balanis, C. A. (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed., New York, John Wiley and Sons.
- Krzysztofik, W J. et al, (2018). Metamaterials in Application to Improve Antenna Parameters. *Intechopen*. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.80636>.
- Lima, A. M. (2020). *Aplicação de Células Metamateriais CLL ao Projeto de Antenas de Microfita Retangulares*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Lima, A. M., Cunha, N H. O, & Silva, J. P da. (2020). Effect of Metamaterial Cells Array on a Microstrip Patch Antenna Design, *Journal of Microwave, Optoelect. And Electromag. Applications*, 19(3), 327-342. <https://doi.org/10.1590/2179-10742020v19i3886>.
- Patel, S. K., & Argyropoulos, C. (2016). Enhanced Bandwidth and Gain of Compact Microstrip Antennas Loaded With Multiple Corrugated Split Ring Resonators. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 30(7), 945-961. <https://doi.org/10.1080/09205071.2016.1167633>.
- Serria, E. A., & Hussein, M. I. (2020). Implications of Metamaterial on Ultra-Wide Band Microstrip Antenna Performance, *Crystals*, v. 10(8), 1 -24. <https://doi.org/10.3390/cryst10080677>.