

# Desenvolvimento de Antena Triangular Compacta para Sistemas 5G

João Vítor M. M. Moreira, Matheus Dos Santos Ferreira, Jefferson Costa e Silva

**Resumo**— Neste artigo é proposto o desenvolvimento de uma antena patch triangular com fendas, projetada para operar nas faixas de frequências utilizadas pelo sistema 5G de comunicação sem fio no Brasil. Partindo das equações iniciais de projeto, a estrutura proposta foi simulada no software ANSYS Electronics Desktop e posteriormente construída e validada experimentalmente. A antena alcançou um efeito multibanda, operando nas frequências de 2,3 GHz, 3,5 GHz e 4,9 GHz, as mesmas alocadas para utilização por parte do sistema 5G no Brasil, mostrando seu potencial de aplicação em dispositivos móveis com maior eficiência espectral.

**Palavras-Chave**— Sistema 5G, antena de microfita, miniaturização, multibanda.

**Abstract**— This article proposes the development of a triangular patch antenna with slots, designed to operate in the frequency bands used by this wireless communication system in Brazil. Starting from the initial design equations, the proposed structure was simulated in the ANSYS Electronics Desktop software and subsequently built and validated experimentally. The antenna achieved a multiband effect, operating at 2.3 GHz, 3.5 GHz and 4.9 GHz, the same frequencies allocated for use by the 5G system in Brazil, showing its potential for application in mobile devices with greater spectral efficiency.

**Keywords**— 5G, Telecommunications, Microstrip patch antenna, FR4 Substrate.

## I. INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia dos sistemas de comunicação sem fio tem aumentado nos últimos anos. O sistema 5G representa uma das mais recentes evoluções tecnológicas para serviços móveis, amplamente difundido em diversas regiões. No Brasil, o sistema 5G recebeu um novo espectro de frequências em bandas baixas e médias (até 6 GHz) e em bandas altas (com comprimentos de onda milimétricos, acima de 24 GHz) [1].

Um desafio para os projetos de antena 5G é que alguns dispositivos precisam operar em várias bandas. Dessa forma, a antena desempenha um papel vital no sistema de comunicação móvel para melhorar a área de cobertura, aumentar a capacidade do sistema celular e diminuir a complexidade da rede. No que diz respeito à antena planar, seu tamanho depende naturalmente de sua frequência de ressonância e da constante dielétrica do substrato do laminado utilizado em seu projeto [2], [3].

Neste trabalho é proposta uma antena com geometria triangular no seu patch irradiante, com a inserção de uma ou mais fendas, também triangulares, conforme mostrado na Figura 1. O objetivo é obter um dispositivo com característica multibanda, cobrindo todas as faixas autorizadas para operação do sistema 5G no Brasil, abaixo de 6 GHz. Inicialmente são apresentadas as equações iniciais de projeto para a antena proposta e são apresentados os resultados numéricos e experimentais, com boa concordância observada. Após essa introdução, a Seção II descreve o projeto da antena proposta.

Os parâmetros utilizados para a simulação e confecção da antena projetada são apresentados na Seção III. Os resultados numéricos e experimentais são apresentados e discutidos na Seção IV. As conclusões são apresentadas na Seção V.

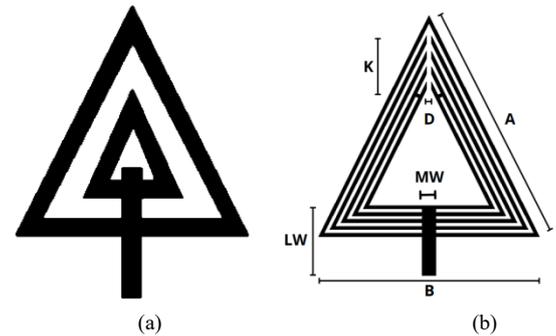


Fig. 1. (a) Modelo inicial e (b) Modelo Final.

## II. PROJETO DA ANTENA COM GEOMETRIA TRIANGULAR

O projeto da antena de microfita com patch triangular proposta nesse trabalho é baseado nas equações descritas em [4],[5]. Inicialmente, as dimensões do triângulo foram calculadas com base na equação (1).

$$A = \frac{2c}{3fr\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo,  $fr$  é a frequência de operação (GHz) e  $\epsilon_r$  é a permissividade relativa do dielétrico. Para o projeto da linha de alimentação são utilizadas as equações (2) e (3).

$$MW = \frac{he^H}{8} - \left(\frac{1}{4e^H}\right)^{-1} \quad (2)$$

$$H = \frac{Z_0\sqrt{2\epsilon_r + 1}}{119,9} + 0,5\left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}\right)\left(\log\left|\frac{\pi}{2}\right| + \frac{1}{\epsilon_r}\log\left|\frac{4}{\pi}\right|\right) \quad (3)$$

onde  $h$  é a altura do substrato e  $Z_0$  é a impedância característica da linha de alimentação, comumente 50Ω. O comprimento da linha de alimentação ( $LW$ ) é calculado como  $\lambda/4$ , utilizando as equações (4) para determinar o comprimento de onda guiado.

$$LW = \frac{\lambda_{bm}}{4} \quad (4)$$

onde

$\lambda_{bm} = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{eff}}$ ,  $\lambda_0 = c/fr$ , é o comprimento de onda no vácuo e  $\epsilon_{eff}$  é a constante dielétrica efetiva [2].

## III. PARÂMETROS DO PROJETO

A antena proposta foi modelada no software ANSYS Electronics Desktop, tendo as dimensões determinadas a partir das equações de projeto apresentadas na Seção II. Foi utilizado um laminado com substrato FR-4, com altura  $h = 1,6$  mm e

constante dielétrica relativa ( $\epsilon_r$ ) de 4,4. O projeto do elemento irradiante com geometria triangular, assim como as fendas de mesma geometria, foi baseado no projeto descrito em [6] e foi dimensionado para operar em três frequências ressonantes: 2,3 GHz, 3,5 GHz e 4,9 GHz. A Figura 2(a) apresenta o protótipo inicial da antena. A inserção de fendas no patch radiante já foi amplamente comprovada como uma técnica eficaz para obtenção de características multibanda em antenas, conforme discutido no estudo [7]. Como observado, foi possível alcançar operação multibanda inserindo apenas fendas e ranhuras no patch. Neste trabalho, buscou-se expandir esse conceito por meio da parametrização da quantidade de fendas e de suas respectivas posições, com o objetivo de controlar e ajustar com precisão os três modos ressonantes desejados.

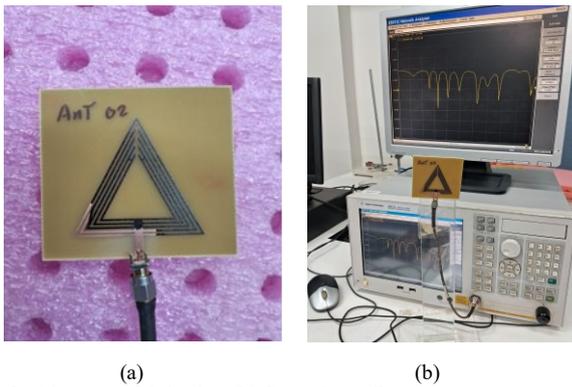


Fig. 2. (a) Antena fabricada e (b) Setup de medição.

Durante o processo de otimização, foram realizados ajustes nos parâmetros do projeto, incluindo a disposição das fendas, resultando na introdução de quatro fendas internas triangulares. Essas fendas estão separadas por uma distância 0,7 mm e incluem descontinuidades nos vértices superiores, além de dois curtos internos, como ilustrado na Figura 1(b). As dimensões físicas finais da antena são  $A = 50,0$  mm,  $B = 45,0$  mm,  $MW = 2,8$  mm,  $LW = 14,3$  mm,  $K = 10,89$  mm e  $D = 1$  mm. As variáveis,  $K$  e  $D$ , foram determinados a partir da variação da descontinuidade do vértice, enquanto os curtos implementados foram parametrizados ao longo da fenda, percorrendo diferentes posições, a fim de se obter a resposta em frequência proposta. A etapa de validação do desempenho do modelo final se deu através da comparação resultados numéricos com os resultados experimentais, utilizando como base a antena já construída, apresentada na Figura 2(a). A caracterização experimental da antena foi realizada no Laboratório de Medidas em Telecomunicações do IFPB - Campus João Pessoa, utilizando um analisador de redes vetoriais (VNA) de bancada - E5071C Network Analyzer da Agilent. A Figura 2 (b) apresenta o setup de medição.

#### IV. RESULTADOS

A Figura 3 apresenta uma comparação entre os resultados numéricos e experimentais para a resposta em frequência ( $S_{11}$ ) da antena proposta, observa-se uma boa concordância entre os mesmos.

Observa-se que a antena possui característica multibanda, ressonando também nas frequências desejadas de 2,3 GHz, 3,5 GHz e 4,9GHz, com perdas de retorno de -12,6 dB, -16,7 dB e -23,27 dB, respectivamente, atendendo aos objetivos propostos.

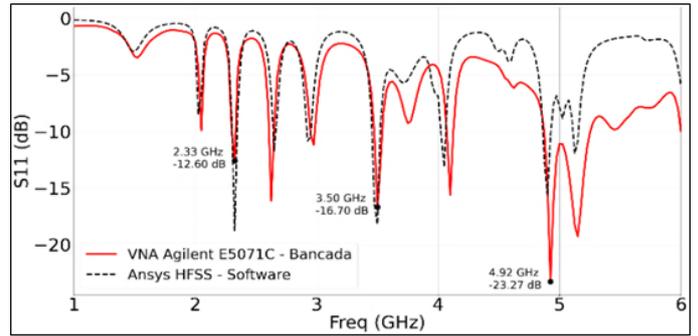


Fig. 3. Resposta em frequência,  $|S_{11}|$ , simulada e medida para a antena de microfita com patch triangular.

#### V. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposta uma antena com geometria triangular no seu patch irradiante, com a inserção de uma ou mais fendas, também triangulares, com o objetivo de se obter uma ressonância com característica multibanda e que cubra todas as faixas de frequência do sistema de comunicação móvel pessoal de quinta geração (5G), abaixo de 6 GHz. Inicialmente foram apresentadas as equações iniciais de projeto e depois apresentados os parâmetros utilizados nas etapas de simulação numérica e caracterização experimental. Os resultados apresentados foram concordantes e mostraram que a antena ressona nas faixas de frequência de 2,3 GHz, 3,5 GHz e 4,9 GHz, as mesmas autorizadas para uso no Brasil.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho tem o suporte financeiro do IFPB através da Chamada Interconecta IFPB - Edital N° 03/2024 - Apoio a projetos de pesquisa, inovação, desenvolvimento tecnológico e social. Agradecimentos ao PETEE-IFPB (Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba) pelo apoio técnico.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ANATEL. Tecnologia 5G. <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/tecnologia-5g>.
- [2] BALANIS C. A. "Antenna Theory: Analysis and Design". 4th ed. New Jersey: John Wiley and Sons Wiley & Sons; 2016.
- [3] MAHENDRAN K, GAYATHRI R, SUDARSAN H., "Design of multi band triangular microstrip patch antenna with triangular split ring resonator for S band, C band and X band applications". *Microprocess Microsyst.* 2020;80:103400. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103400>.
- [4] GHOSH, Sourav; SHALIKRAM; SWATI, M. V. Design methodology of different shapes of mm-wave patch antennas for 28 GHz 5G applications. In: *IEEE Silchar Subsection Conference (SILCON)*, 2022. IEEE, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/SILCON55242.2022.10028845>.
- [5] NATARAJ, B.; PRABHA, K. R. Analysis of various microstrip patch antenna designs for 5G applications. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL, ELECTRONICS, INSTRUMENTATION AND COMPUTER COMMUNICATION (ICEEICT)*. IEEE, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEEICT53079.2022.9768642>.
- [6] CHINNAGURUSAMY, Balamurugan; PERUMALSAMY, Marichamy; SARASAM, Arun Samuel Thankamony. Design and fabrication of compact triangular multiband microstrip patch antenna for C- and X-band applications. *International Journal of Communication Systems*, v. 34, n. 17, e4939, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/dac.4939>.
- [7] GANGWAR A. K, ALAM M. S. "A miniaturized quad-band antenna with slotted patch for WiMAX/WLAN/GSM applications". *AEU-Int J Electron C*. 2019;112:152911. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2019.152911>.