

Desenvolvimento de Antena Triangular Compacta para Sistemas 5G

João Vítor Macedo de Melo Moreira (IFPB, Campus João Pessoa), Matheus dos Santos Ferreira (IFPB, Campus João Pessoa), Jefferson Costa e Silva (IFPB, Campus João Pessoa).

E-mails: vitor.macedo@academico.ifpb.edu.br, ferreira.matheus@academico.ifpb.edu.br, jefferson@ifpb.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.06.01-3 Teoria Eletromagnética, Microondas, Propagação de Ondas, Antenas.

Palavras-chave: telecomunicações; comunicação sem fio; microfita; miniaturização; multibanda.

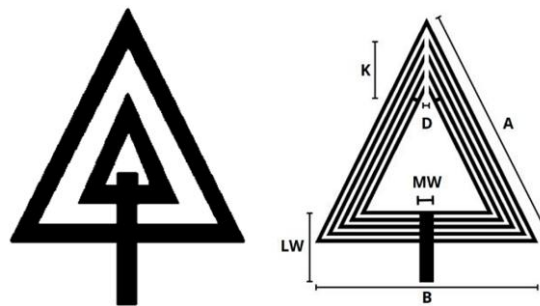
1. Introdução

A evolução da tecnologia dos sistemas de comunicação sem fio tem aumentado nos últimos anos. Esta tecnologia chegou à 5ª Geração, e já consolidou e diversificou conceitos como *Internet of Things* (IOT) e aprendizagem de máquina em tempo real, promovendo uma verdadeira transformação na forma como as pessoas e organizações se relacionam (ANATEL, 2021). Antenas tipo *patch* em microfita são largamente utilizadas nos sistemas de telecomunicações em função de vantagens tais como baixo peso, volume reduzido e facilidade de construção. 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 (BALANIS, 2016), (MAHENDRAN; GAYATHRI; SUDARSAN, 2020).

Estudos evidenciaram que pode-se alcançar a operação multibanda introduzindo fendas no elemento irradiante da antena (GANGWAR; ALAM, 2019). Os pesquisadores também provaram que um substrato FR-4 simples pode ser adequado para uso em antenas planares e aplicações em alta frequência com ganho otimizado, casamento de impedância e outras características de radiação para esse tipo de antena.

Neste trabalho é proposta uma antena com geometria triangular no seu *patch* irradiante, com a inserção de uma ou mais fendas, também triangulares. O modelo inicial, mostrado na Figura 1 (a), foi baseado em estudos correlatos (CHINNAGURUSAMY; PERUMALSAMY; SARASAM, 2021), e o modelo final, conforme apresentado na Figura 1 (b), foi parametrizado para as aplicações propostas. O objetivo é obter um dispositivo com característica multibanda, cobrindo todas as faixas autorizadas para operação do sistema 5G no Brasil, abaixo de 6 GigaHertz [GHz] (ANATEL, 2023) e (ANATEL, 2024). Inicialmente são apresentadas as equações e parâmetros de projeto para a antena e posteriormente são apresentados os resultados numéricos e experimentais, com boa concordância observada.

Figura 1 – (a) Modelo Inicial e (b) Modelo Final.



Fonte: Autoria Própria (2024).

2. Materiais e métodos

O projeto da antena de microfita com *patch* triangular proposta neste trabalho é baseado nas equações descritas em trabalhos que apresentam a mesma geometria (GHOSH; SHALIKRAM; SWATI, 2022), (NATARAJ; PRABHA, 2022). 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 ϵ_r é a permissividade relativa do dielétrico. Para o projeto da linha de alimentação são utilizadas as Equações 2 e 3.

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

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

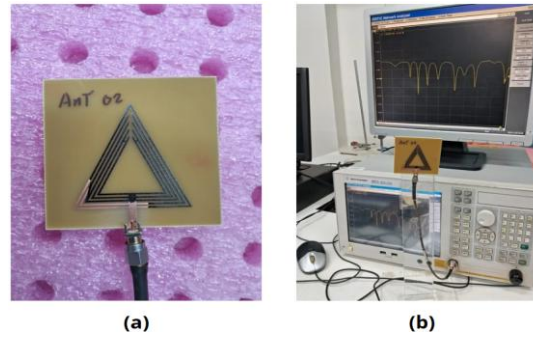
onde h é a altura do substrato e Z_0 é a impedância característica da linha de alimentação, comumente 50Ω . O comprimento da linha de alimentação (LW) é calculado como $\lambda/4$, utilizando a Equação 4 para determinar o comprimento de onda guiado.

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

onde $\lambda_{bm} = \lambda_0/\varepsilon_{eff}$, $\lambda_0 = c/f_r$, é o comprimento de onda no vácuo e ε_{eff} é a constante dielétrica efetiva (BALANIS, 2016).

A antena proposta foi desenvolvida a partir de simulações realizadas no software comercial livre *ANSYS Electronics Desktop*, utilizando a ferramenta *High Frequency Structure Simulator* (HFSS) para simulações eletromagnéticas tridimensionais (3D) baseado no *Finite Element Method* (FEM). Foi utilizado um laminado com substrato FR-4, com altura $h = 1,6$ mm e constante dielétrica relativa (ε_r) de 4,4. O projeto do elemento irradiante com geometria triangular, assim como as fendas de mesma geometria, 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 da antena.

Figura 2 – (a) Antena Fabricada e (b) Setup de Medição.



Fonte: Autoria Própria (2024).

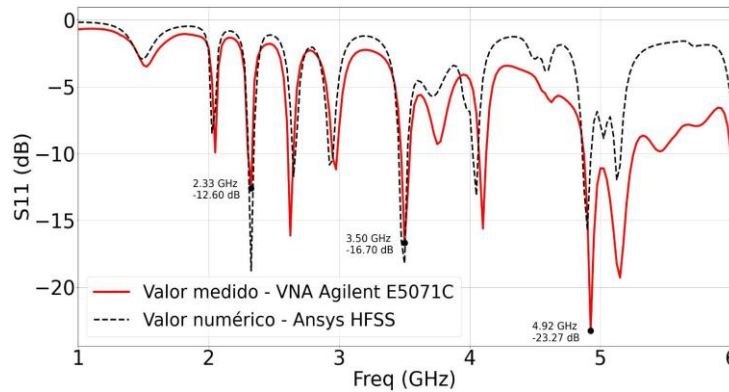
Durante o processo de otimização, foram realizados ajustes nos parâmetros do projeto, incluindo a disposição das fendas, resultando na introdução de quatro fendas internas triangulares. Essas fendas estão separadas por uma distância 0,7 mm e incluem descontinuidades nos vértices superiores, além de dois 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, representados na figura 1. As variáveis K e D foram determinadas 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 de resultados numéricos com os resultados experimentais. 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.

3. Resultados e discussão

A Figura 3 apresenta uma comparação entre os resultados numéricos e experimentais para a resposta em frequência (parâmetro S_{11}) da antena proposta. Observa-se uma boa concordância entre os mesmos, destacando a relevância da integração entre simulações de alto nível e medições experimentais para o desenvolvimento de dispositivos inovadores. A antena possui característica multibanda, ressonando também nas frequências desejadas de 2,3 GHz, 3,5 GHz e 4,9 GHz, com perdas de retorno de -12,6 dB, -16,7 dB e -23,27 dB, respectivamente, atendendo aos objetivos propostos.

As discrepâncias entre os resultados simulados e medidos podem ser atribuídas a uma combinação de fatores relacionados à fabricação, ao modelo de simulação e ao processo de medição. Pequenas imprecisões durante a fabricação, como tolerâncias no corte do *patch*, variações no substrato ou imperfeições na aplicação do material condutor, podem alterar a geometria idealizada da antena e afetar seu desempenho. Além disso, as propriedades reais do substrato, como constantes dielétricas e perdas tangenciais, podem diferir dos valores assumidos no modelo de simulação, causando desvios nos resultados.

Figura 3 – Resposta em frequência (S11), simulada e medida, para a antena de microfita com *patch* triangular.



Fonte: Autoria Própria (2024).

4. Considerações finais

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 por sistemas de comunicação sem fio de tecnologia 5G no Brasil.

Agradecimentos

Este trabalho tem o suporte financeiro do IFPB através da Chamada Interconecta IFPB - Edital No 03/2024 - Apoio a projetos de pesquisa, inovação, desenvolvimento tecnológico e social.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). Anatel destina 120 MHz para o 5G na faixa de 4,9 GHz. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-destina-120-mhz-para-o-5g-na-faixa-de-4-9-ghz>. Acesso em: 3 jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). 5G completa dois anos de implantação no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/5g-completa-dois-anos-de-implantacao-no-brasil>. Acesso em: 3 jul. 2025.

ANATEL. Tecnologia 5G. <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/tecnologia-5g>.

BALANIS C. A. “Antenna Theory: Analysis and Design”. 4th ed. New Jersey: John Wiley and Sons Wiley & Sons; 2016.

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>.

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>.

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>.

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>.

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>.