

Desenvolvimento e Caracterização da Antena Vivaldi Clássica

Matheus S. Ferreira (IFPB, Campus João Pessoa), Kesia C. S. Farias (IFPB, Campus João Pessoa), Erik F. Silva (IFPB, Campus João Pessoa)

E-mails: ferreira.matheus@academico.ifpb.edu.br, kesia.farias@ifpb.edu.br, erick@ifpb.edu.br.

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

Palavras-chave: telecomunicação; micro-ondas; antena vivaldi; banda larga; sistema de detecção

1. Introdução

A evolução das tecnologias de comunicação e sensoriamento remoto tem impulsionado o desenvolvimento de antenas de alto desempenho, capazes de operar em faixas de frequência amplas e oferecer alta diretividade. Nesse contexto, a antena Vivaldi clássica é amplamente estudada e utilizada em aplicações que exigem alta largura de banda e desempenho direcional, tornando-se essencial em comunicações sem fio e radares para detecção de objetos ocultos (Moosazadeh, 2019). Outra aplicação relevante é no imageamento por micro-ondas, onde sua capacidade de gerar imagens detalhadas permite a identificação de estruturas biológicas e a detecção de anomalias, tornando-se uma ferramenta promissora para diagnósticos não invasivos e monitoramento de tecidos (K. Santos; C. Fernandes; J. Costa, 2023). Além disso, sua própria construção favorece a estabilidade do ganho em frequência, garantindo uma resposta uniforme ao longo de uma ampla faixa espectral, fator essencial para a precisão e confiabilidade nestas aplicações (C. Uyanik; S. Demirel; İ. Akduman; 2023).

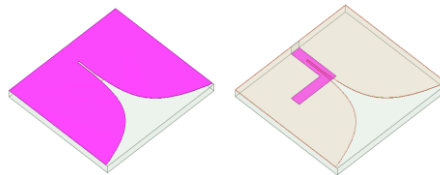
A crescente demanda por sistemas de alta resolução e baixa interferência tem levado pesquisadores a explorar melhorias no *design* dessas antenas. Estudos recentes indicam que modificações na envoltória exponencial da antena Vivaldi podem contribuir significativamente para esse aprimoramento ao alterar determinados aspectos da geometria da antena, é possível aumentar a largura de banda sem expandir suas dimensões físicas, tornando-a mais eficiente para aplicações de detecção, considerando as medidas na região de campos próximos (M. Ferreira; G. Garcia; E. Silva; K. Santos, 2024). Dessa forma, o estudo da antena Vivaldi clássica permanece essencial para o desenvolvimento de sistemas modernos de comunicação e detecção. A busca por aprimoramentos na geometria e nos materiais utilizados reforça a importância desta antena em aplicações que exigem adequada largura de banda e dimensão reduzida (Y. Erdoğan, 2009).

Este artigo propõe o desenvolvimento e análise de uma antena Vivaldi clássica projetada para operar no intervalo de 3 GHz a 6 GHz, com o objetivo de desenvolver uma antena vivaldi com adequada largura de banda, tamanho reduzido e diretiva. Parte da metodologia experimental empregada neste estudo tem como base trabalhos realizados anteriormente pelos autores com antenas vivaldi operando na banda X (8 - 12 GHz) (K. Santos; C. Fernandes; J. Costa, 2022), (K. Santos; C. Fernandes; J. Costa, 2023), (M. Ferreira; G. Garcia; E. Silva; K. Santos, 2024).

2. Fundamentação Teórica

A antena Vivaldi clássica é composta por um substrato dielétrico, no qual dois planos metálicos são depositados. Em uma das faces dessa estrutura é introduzida uma fenda exponencial, enquanto no lado oposto encontra-se uma linha de alimentação (microstrip), cujo formato em L conduz a energia eletromagnética até a região irradiadora, conforme descrito na figura 1.

Figura 1 – Design da Antena Vivaldi Clássica.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Nesse contexto, diversas abordagens podem ser encontradas na literatura para o equacionamento da antena. Neste trabalho, será adotado o modelo descrito por Uyanik, Demirel e Akduman (2023), que apresenta uma metodologia consolidada para a determinação dos parâmetros fundamentais. A etapa inicial do projeto envolve o cálculo da impedância característica da linha de alimentação, conforme destacado em (1).

$$Z_0 = \frac{\sqrt{60}}{\epsilon_0} \ln \left| \frac{4H}{0,67\pi(T + 0,8W)} \right| \quad (1)$$

Onde Z_0 representa a impedância característica da linha de alimentação stripline (Ω), ϵ_r corresponde à permissividade relativa, T refere-se à espessura do dielétrico (mm), e H à espessura do substrato (mm). A envoltória da antena Vivaldi clássica descrita no equacionamento (2), baseia-se em uma função exponencial que define a variação

da abertura, onde (c) é a constante de abertura, enquanto (Ka) representa a taxa de crescimento da envoltória. Os valores desses parâmetros são determinados pelas equações (3) e (4).

$$y(x) = ce^{Ka^x} \quad (2)$$

$$c = \frac{S}{2} \quad (3)$$

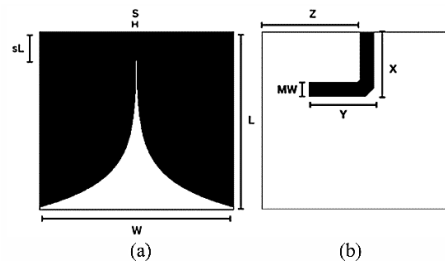
$$K_a = \frac{1}{L_a} \ln\left(\frac{W_a}{S}\right) \quad (4)$$

Com base nos equacionamentos apresentados, observa-se que a envoltória exponencial da antena Vivaldi clássica desempenha um papel essencial na propagação das ondas eletromagnéticas ao longo da abertura. Esse comportamento possibilita uma transição gradual do campo, reduzindo reflexões indesejadas e garantindo um acoplamento mais eficiente entre a linha de alimentação e a região a ser irradiada.

3. Materiais e Métodos

O desenvolvimento da antena Vivaldi clássica foi inicialmente modelado e simulado no *ANSYS Electronics Desktop* para a análise do desempenho eletromagnético. A Figura 1 apresenta os parâmetros de projeto da antena, baseados nas equações fundamentais apresentadas anteriormente. Posteriormente, foi realizado um estudo de parametrização com o objetivo de otimizar os resultados obtidos. A alimentação foi organizada em uma configuração em “L” com ângulo de 90°, o que visa reduzir as interferências oriundas da conexão do cabo durante as medições. O substrato utilizado foi o FR-4, cuja constante dielétrica é de 4,4; suas dimensões físicas são L x W = 40,0 mm x 37,0 mm, MW = 2,9 mm, sL = 6 mm, X = 13,45 mm, Y = 13,39 mm, Z = 20,0 mm, S = 0,50 mm.

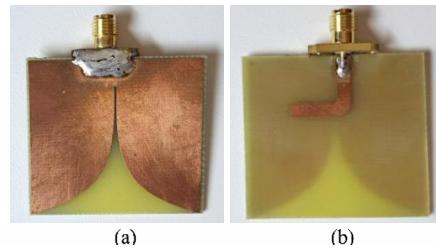
Figura 2 – Parâmetros de Projeto da Antena Vivaldi, (a) Frente e (b) Verso.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Após a validação do modelo simulado, a antena foi fabricada, conforme ilustrado na Figura 3, que apresenta o modelo desenvolvido.

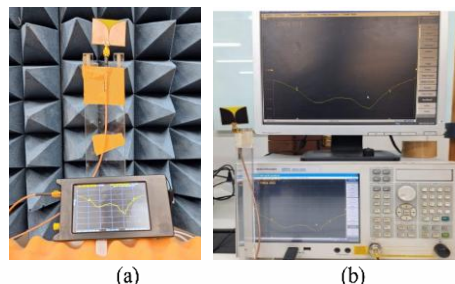
Figura 3 – Antena Fabricada, (a) Frente e (b) Verso



Fonte: Autoria Própria (2024).

A etapa de caracterização experimental da antena foi conduzida no Laboratório de Medidas em Telecomunicações do IFPB – Campus João Pessoa, onde foram montados dois setups, conforme ilustrado na Figura 4. O primeiro utilizou o *VNA Agilent E5071C* e, posteriormente, a antena foi conectada ao *LiteVNA*, um VNA de baixo custo amplamente referenciado no estudo (Ferreira M.; Silva E.; Farias K., 2024).

Figura 4 – Setup de Medição Utilizando (a) LiteVNA e (b) VNA de Vancada.

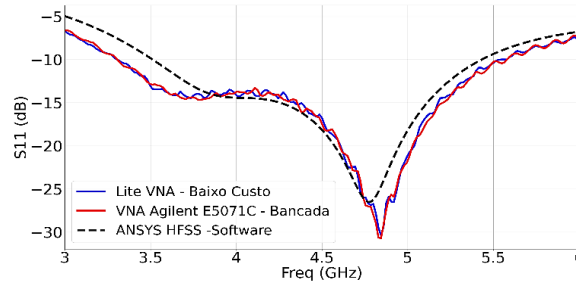


Fonte: Autoria Própria (2024).

3. Resultados e discussão

A Figura 5 apresenta a comparação entre os resultados numéricos e experimentais para a resposta em frequência (parâmetro S11) da antenna desenvolvida. Os dados indicam uma boa concordância entre os valores simulados e medidos, evidenciando a importância da integração entre modelagem computacional e medições experimentais no projeto de antenas. O modelo simulado indica que a antenna opera na faixa de 3,5 GHz a 5,43 GHz, com uma largura de banda de 1,93 GHz, enquanto a antenna fabricada opera na faixa de 3,30 GHz a 5,50 GHz, com uma largura de banda de 2,80 GHz, conforme os objetivos estabelecidos. As diferenças observadas entre os resultados simulados e experimentais podem ser explicadas por diversos fatores, incluindo variações no processo de fabricação, incertezas no modelo de simulação e condições específicas durante as medições. Pequenas discrepâncias relacionadas ao corte do material, às propriedades reais do substrato e às tolerâncias no processo de fabricação podem impactar a resposta em frequência da antenna. Além disso, aspectos como diferenças nas constantes dielétricas e perdas tangenciais em relação aos valores assumidos no modelo numérico contribuem para os desvios observados.

Figura 5 – Magnitude do Parâmetro |S11|, Simulada e Medida, para a Antena



Fonte: Autoria Própria (2024).

4. Considerações finais

Os resultados demonstram que utilizando as equações proposta foi possível fabricar uma antenna Vivaldi de banda larga, operando na faixa de 3,30 GHz a 5,50 GHz. Na validação da estrutura construída, houve um aumento na largura de banda em comparação ao modelo simulado. Além disso, a antenna garante um equilíbrio adequado de tamanho para aplicações de interação em campos próximos. A largura de banda obtida foi de 2,80 GHz, confirmando a eficiência da antenna dentro do intervalo desejado. A antenna vivaldi projetada está em fase de testes para detecção de objetos ocultos usando micro-ondas, os resultados serão submetidos para futura publicação.

Agradecimentos

Este trabalho tem o suporte financeiro da FAPESQ por meio do Edital nº 30/2024 PIBIC, destinado ao incentivo à pesquisa e desenvolvimento científico. Os autores agradecem ao IFPB campus JP e ao GTEMA (Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado) pelo suporte de laboratório e equipamentos.

Referências

- ERDOĞAN, Y. Parametric study and design of Vivaldi antennas and arrays. 2009. Dissertação (Mestrado) – Middle East Technical University, 2009. Disponível em: <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/18522>. Acesso em: 07 jun. 2025. Acesso em: 06 jun. 2025.
- FERREIRA, M. S.; GARCIA, G. T. L.; SILVA, E. F.; SANTOS, K. C. Antena Vivaldi com envoltória modificada. In: XLII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS, 2024, Belém. Anais [...]. DOI: 10.14209/sbrt.2024.1571036897. Acesso em: 07 jun. 2025.
- FERREIRA, M. S.; SILVA, E. F.; SANTOS, K. C. Medição usando VNA de baixo custo: Antena Vivaldi. In: 21° SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICRO-ONDAS E OPTOELETRÔNICA, 2024, Bento Gonçalves. Anais [...]. Disponível em: <https://www.sbmo.org.br/sbmo/2024/pagina/59/anais>. Acesso em: 07 jun. 2025.
- MOOSAZADEH, M. Microwave and millimetre wave antipodal Vivaldi antenna with periodic slit-edge technique and the trapezoid-shaped dielectric lens for imaging of concrete-based composite materials. 2019. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-05566-0_4. Acesso em: 07 jun. 2025.
- SANTOS, K. C.; FERNANDES, C. A.; COSTA, J. R. Feasibility of bone fracture detection using microwave imaging. IEEE Open Journal of Antennas and Propagation, v. 3, p. 836–847, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/OJAP.2022.3194217>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- SANTOS, K. C.; FERNANDES, C. A.; COSTA, A. J. R. Validation of a compact microwave imaging system for bone fracture detection. IEEE Access, v. 11, p. 63690–63700, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s44303-024-00012-8>. Acesso em: 04 jun. 2025.
- UYANIK, C.; DEMIREL, S.; AKDUMAN, A. İ. Miniaturized coplanar Vivaldi antenna design for brain imaging. Microwave and Optical Technology Letters, v. 65, n. 7, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/mop.33660>. Acesso em: 03 jun. 2025.