

CAPÍTULO 4

PROJETO NÚMÉRICO E EXPERIMENTAL DE UMA ANTENA DE MICROFITA (MOUTH) BIOINSPIRADA PARA A FAIXA DAS MICRO-ONDAS COM APLICAÇÕES EM 5G

Data de submissão: 27/12/2025

Data de aceite: 05/03/2025

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

Universidade Estadual da Paraíba
João Pessoa – PB

Daniel Felix da Silva

Universidade Estadual da Paraíba
João Pessoa - PB

Pedro Carlos de Assis Júnior

Universidade Estadual da Paraíba
Patos – PB

Tales Augusto Carvalho de Barros

Universidade Federal da Paraíba
Campina Grande – PB

RESUMO: Nos últimos anos a demanda por dispositivos leves, compactos e portáteis tem aumentado o interesse dos pesquisadores. O maior desafio é buscar por dispositivos com características multi ressonantes, bem como reduzir as dimensões desses dispositivos sem perda de performance nas mais diversas aplicações, por exemplo, sistemas sem fio. Estrutura bioinspirada originadas de equações polares são uma alternativa interessante em projeto de antenas planares em virtude da sua flexibilidade de projeto e adequação de aplicações em várias faixas de frequência. Essas estruturas apresentam em sua fase

inicial, boas características de radiação, diagrama de radiação direcional na direção *broadside*. Os projetos das antenas foram auxiliados através de simulações com o *Ansys Designer™* que implementa o método dos momentos. A partir destas simulações, um protótipo foi construído e devidamente analisado. Com o intuito de validar os resultados obtidos, foram feitas comparações entre os resultados medidos e simulados do dispositivo proposto, verificando assim, uma boa concordância entre seus resultados com potencial aplicação na faixa de frequência de 3,50 GHz. A antena proposta foi excitada pela técnica de linha de microfita fazendo uso de um transformador quarto de onda e teve seus parâmetros de espalhamento validados em um analisador de rede vetorial através de medições dos diversos parâmetros investigados, dentre os quais se destacam: a perda de retorno, diagrama de radiação, impedância de entrada, coeficiente de onda estacionária e sua largura de banda. O projeto foi pensado para a frequência de 3,50 GHz, onde temos várias aplicações sem fio que fazem uso dessa faixa de frequência.

PALAVRAS-CHAVE: Antenas de microfita, Comunicação sem fio, Antena bioinspirada.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL DESIGN OF A BIO-INSPIRED MICROWAVE MOUTH ANTENNA FOR 5G APPLICATIONS

ABSTRACT: In recent years, the demand for lightweight, compact and portable devices have increased the interest of researchers. The biggest challenge is to search for devices with multi-resonant characteristics, as well as to reduce the dimensions of these devices without loss of performance in the most diverse applications, for example, wireless systems. Bioinspired structures originated from polar equations are an interesting alternative in the design of planar antennas due to their design flexibility and suitability for applications in various frequency bands. In their initial phase, these structures present good radiation characteristics, directional radiation pattern in the broadside direction. The antenna designs were aided by simulations with Ansys Designer™ that implements the method of moments. From these simulations, a prototype was built and duly analyzed. In order to validate the results obtained, comparisons were made between the measured and simulated results of the proposed device, thus verifying a good agreement between their results with potential application in the frequency range of 3.50 GHz. The proposed antenna was excited by the microstrip line technique using a quarter-wave transformer and had its scattering parameters validated in a vector network analyzer through measurements of the various parameters investigated, among which the following stand out: return loss, radiation diagram, input impedance, Voltage Standing Wave Ratio and its bandwidth. The project was designed for the frequency of 3.50 GHz, where we have several wireless applications that make use of this frequency range.

KEYWORDS: Microstrip Antenna, Wireless Communication, Bioinspired antenna.

INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia sem fio verificado nas últimas décadas tem aumentado a demanda por antenas com características de banda larga e/ou múltiplas frequências de ressonância. Antenas de banda larga são capazes de transmitir sinal eletromagnético em uma ou mais faixas de frequências de transmissão com altas taxas de transmissão e recepção de dados (BALANIS, 1997). Porém, no desenvolvimento de antenas banda larga, existem alguns fatores que devem ser levados em consideração: dimensões físicas, o custo, a facilidade de fabricação do dispositivo (KUMAR, G.; RAY, K. P, 2003). As antenas de microfita apresentam muitas dessas características e podem ser utilizadas em aplicações em sistemas de comunicação sem fio. Comparando-as com outras antenas, as antenas de microfita se destacam por serem leves, pelas dimensões reduzidas, pelo baixo custo de fabricação e pela versatilidade em termos de frequência de ressonância. Por outro lado, a principal desvantagem das antenas de microfita é a largura de banda, que mede aproximadamente 1% de suas frequências de ressonâncias (Garg et al., 2001), (BALANIS, 1997).

Para ampliar a largura de banda das antenas de microfita, algumas técnicas foram desenvolvidas e revisadas, em que a maioria delas descreve a adição de frequências de ressonâncias à resposta da antena com o uso de fendas/slots inseridas no elemento

irradiante (Sung et al. 2004). Também é usual o método de aplicação de elementos acoplados próximo ao elemento irradiante, alimentados por CPW (*Coplanar Wave Guide*) (DARVICH, M; HASSANI, H. R, 2012). As antenas de microfita são projetadas para uma determinada faixa de frequência de ressonância, no entanto, estas antenas apresentam assinaturas eletromagnéticas conhecidas como frequências de modos superiores (BALANIS, 1997). Então, técnicas híbridas estão sendo utilizadas para ampliar ainda mais largura de banda de impedâncias das antenas patch de microfita como apresentado em (KUMAR, G.; RAY, K. P, 2003). A Figura 1 mostra um esquema de uma antena patch de microfita retangular. Uma antena como esta, nada mais é que uma estrutura consistindo basicamente de duas placas condutoras paralelas, separadas por um substrato dielétrico (ϵ_r), de espessura h , sendo uma das placas o elemento irradiante e a outra o plano de terra.

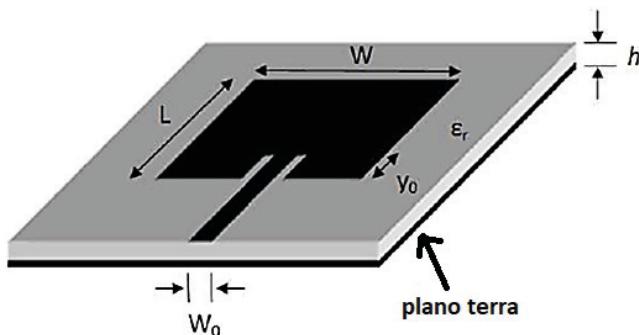


Figura 1 – Representação de uma antena patch de microfita.

Para essa estrutura, a excitação é realizada pela técnica de linha de microfita por meio de um conector SMA de $50\ \Omega$ de impedância (GARG, et al., 2001). Nesse projeto de pesquisa será utilizado o material composto de fibra de vidro (FR4) nas simulações e posteriormente validação experimental da antena bioinspirada proposta, isso em virtude de seu baixo custo de aquisição para a confecção do protótipo. Nesse contexto devido às inúmeras características atrativas das antenas de microfita aliado a utilização de equações polares é possível conseguir diversas geometrias que atendam a diferentes requisitos de aplicações em comunicação sem fio, permitindo assim uma grande flexibilidade nos projetos de antenas patches para as mais diversas faixas de frequências de interesse para aplicações, dessa forma buscando conseguir um dispositivo menor (quando o mesmo é comparado a projeto que utilizam os polígonos regulares mais conhecidos) e com características multi frequência, tornando-se interessante a aplicações em dispositivos que operem em mais de uma frequência (JÚNIOR, 2016). Estructuras dessa natureza são facilmente aplicáveis a diversos tipos de tecnologias, dentre as quais podemos destacar: aplicações em fuselagens de aviões, visando estabelecer comunicações com a central de rádio/controle.

A análise numérica desses dispositivos foi toda ela realizada utilizando o simulador de onda completa (*Ansoft DesignerTM*) que implementa o método dos momentos (MoM) na análise precisa do parâmetro de espalhamento (S11) associado a antena proposta. A faixa de frequência das micro-ondas foi escolhida por apresentar inúmeras possíveis aplicações, dentre as quais se destacam dispositivos que operam o 5G na banda de frequência de 3,50 GHz.

SISTEMA DE COORDENADAS POLARES

As coordenadas polares oferecem uma perspectiva diferente em relação ao sistema cartesiano com eixos x e y. Considere um ponto P em um plano, nas coordenadas polares, localizamos o ponto P usando sua distância radial (r) até a origem (o polo) e o ângulo θ que o segmento OP faz com o eixo polar. Essa mudança de perspectiva pode simplificar bastante a descrição de algumas curvas, especialmente aquelas com simetria radial, como círculos e cardioides, conforme mostrado na Figura 2. Por isso uma equação polar relaciona a distância r e o ângulo θ de um ponto P em um plano. Ao variar o ângulo θ , obtemos diferentes valores de r , traçando assim uma curva. Muitas vezes, as equações polares são mais simples e elegantes do que suas equivalentes cartesianas para representar determinadas curvas. As coordenadas polares são amplamente utilizadas em diversas áreas, como física, engenharias e computação gráfica. Por exemplo, em física, as coordenadas polares são fundamentais para o estudo de movimentos circulares e campos de força. Na computação gráfica, as coordenadas polares são utilizadas para criar gráficos e animações com padrões radiais e nas engenharias podem facilmente serem utilizadas em projetos de dispositivos de alta frequência, tais como as antenas planares em microfita.

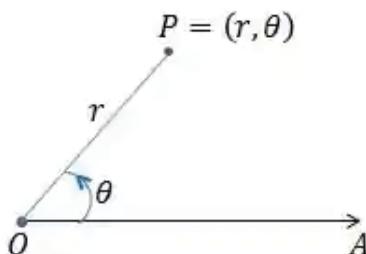


Figura 2 – Representação de um sistema de coordenadas polares.

METODOLOGIA EMPREGADA E ESTRUTURA DA ANTENA MOUTH BIOINSPIRADA PROPOSTA

A metodologia adotada nesse artigo, consistiu na modelagem numérica da antena bioinspirada proposta, denominada de antena Mouth (termo em inglês para boca), devido sua semelhança com uma boca, conforme mostra a Figura 2.

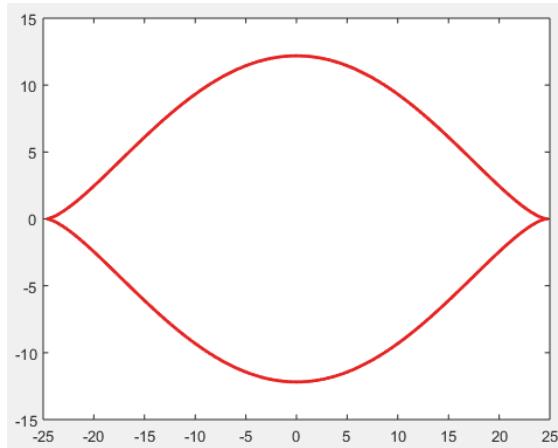


Figura 2 – Curva a ser utilizada no projeto da antena de microfita Mouth bioinspirada proposta.

Para isso foi feito uso de um simulador de onda completa, o *software* comercial *Ansys Designer™*, na qual por meio deste foi possível estudar e entender o comportamento eletromagnético do dispositivo analisado. Para isso foi feito uso de equações polares para a geração da curva e posteriormente do elemento irradiante da antena. Toda a estrutura foi projetada para a faixa de frequência de 3,5 GHz e 6,5 GHz, onde temos aplicações em redes de comunicação sem fio. Alguns parâmetros de espalhamento (parâmetros S) associados a esse arranjo de antenas serão analisados e discutidos. A equação (1) mostra formulação matemática para a equação polar utilizada no projeto da antena patch proposta.

$$\begin{aligned} t &= 0.2\pi/360:2\pi \\ x &= 12.19\cos(t)^2.025 \quad (1) \\ y &= 12.19\sin(t)^3 \end{aligned}$$

Após a execução do algoritmo mostrado na equação (1) é gerada a curva polar que será utilizada como projeto da antena patch de microfita bioinspirada proposta (Figura 1). As etapas do projeto foram as seguintes: (i) A geometria do elemento irradiante da antena foi gerada no software Scilab®; (ii) na segunda utiliza-se a ferramenta CAD para duas funções: a verificação das dimensões da geometria e para a fabricação rápida e precisa da antena; (iii) na terceira etapa é realizada uma comparação dos resultados simulados no simulador com os medidos no analisador de rede vetorial, se o resultado medido for diferente da

simulação, o projeto volta para a parte da ferramenta CAD (*Computer Aided Design*), onde é feita uma verificação e possível nova fabricação da antena, caso a comparação entre os resultados não apresente diferença (ou uma diferença inferior a 5%) é feita a validação do projeto da antena e o projeto finalizado. Esse algoritmo pode ser visualizado na Figura 3.

Toda a estrutura foi construída em um material de baixo custo, neste caso utilizou-se a fibra de vidro (FR4), com uma espessura (h) de 1,5 mm e uma constante dielétrica (ϵ_r) de 4,4. A estrutura da antena proposta, bem como o seu protótipo construído é mostrado na Figura 4 e teve seus parâmetros eletromagnéticos medidos em um analisador de rede vetorial (modelo ZVB14 Rohde & Schwarz).

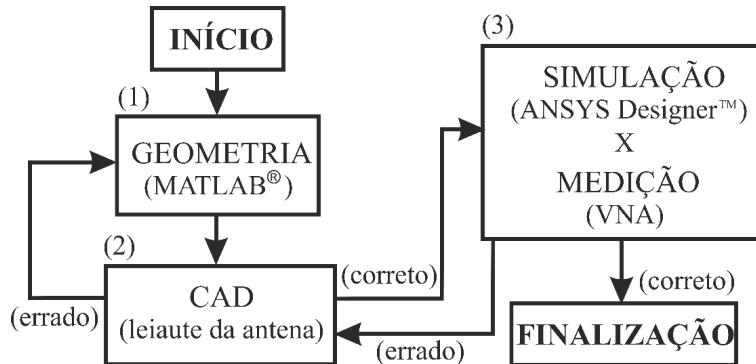


Figura 3 – Fluxograma de construção da antena Mouth bioinspirada.

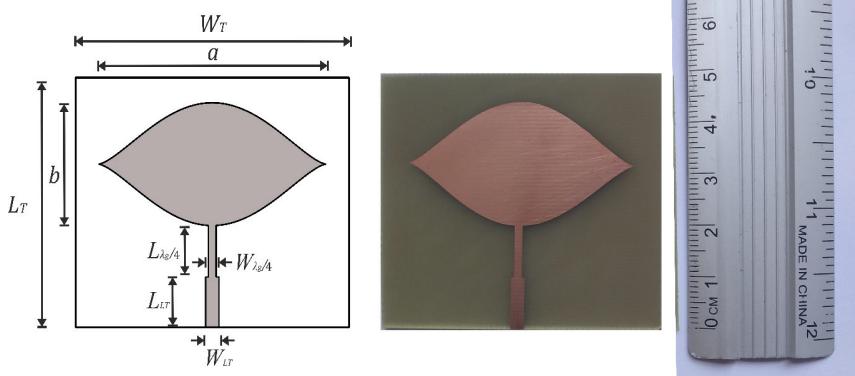


Figura 4 – Estrutura da antena Mouth bioinspirada proposta.

As dimensões em milímetros da antena Mouth bioinspirada proposta são mostradas na Tabela 1.

W_T	a	$W_{\lambda/4}$	W_{LT}	L_T	b	L_{LT}	$L_{\lambda/4}$
59,30	49,36	1,70	2,87	49,38	24,35	10,23	10,0

Tabela 1 – Dimensões (mm) da antena Mouth proposta.

A etapa final do procedimento metodológico empregado no projeto e construção da antena Mouth bioinspirada consiste na etapa de medição de seus parâmetros eletromagnéticos (Parâmetros S) que foi realizado no analisador de rede vetorial na faixa de frequência entre 2 – 10 GHz. A faixa de frequência de 3,50 GHz obtida para o modo fundamental se torna interessante por ter aplicações em dispositivos que fazem uso da tecnologia de 5^a geração, mais conhecido como 5G.

RESULTADOS SIMULADOS E MEDIDOS PARA A ANTENA MOUTH

O parâmetro de espalhamento S11 é um resultado que mostra a quantidade de energia que passa da linha de alimentação em microfita para o elemento irradiante (patch irradiante). Esse parâmetro é dado por: (BALANIS, 1997).

$$RL = -20\log |S11| \quad (2)$$

Onde RL é a perda de retorno obtida por meio da medição do coeficiente de reflexão na porta transmissora do analisador de rede vetorial. O primeiro resultado do projeto consiste na medida da relação entre as potências incidentes e refletidas no conector do arranjo de antenas. O resultado da Figura 5 mostra uma comparação entre os resultados numérico e medido obtidos para a antena proposta.

Desse resultado é possível observar um comportamento multi banda, com duas fortes regiões de ressonâncias para a antena Mouth. Uma boa concordância entre os resultados simulado e medido foram alcançados, onde o resultado medido apresentou duas ressonâncias em 3,50 GHz e 6,50 GHz, respectivamente.

As faixas de frequência das ressonâncias apresentaram as seguintes larguras de bandas: BW1 = 180 MHz para a primeira ressonância e BW2 = 200 MHz. Os resultados simulados e medido apresentaram uma boa concordância entre si, com baixas perdas de retorno (valores abaixo de -10 dB), o que caracteriza um bom casamento de impedância para a estrutura analisada.

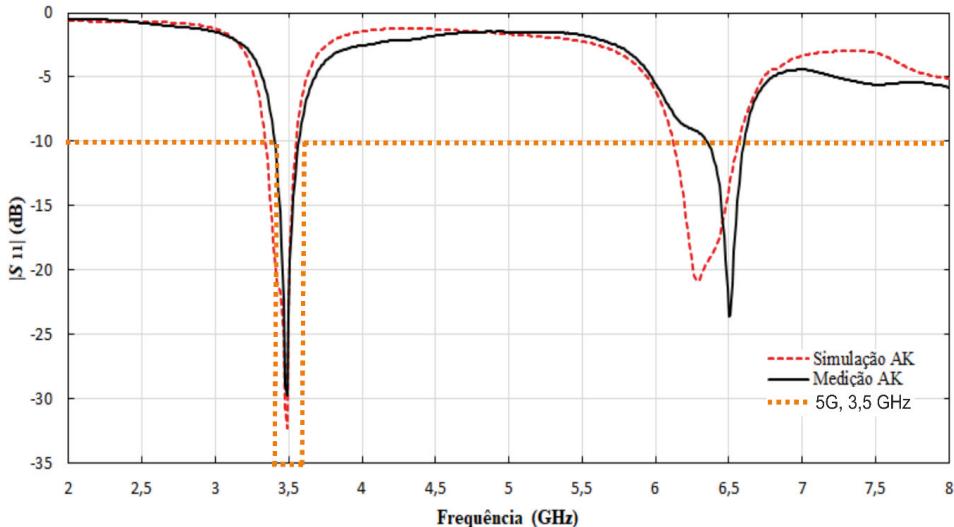


Figura 5 – Resultado de perda de retorno medido e simulado para a antena proposta.

O diagrama de radiação 2D e 3D para a antena proposta são mostrados da Figura 6, onde é possível observar um diagrama sem deformações e com características diretivas. No diagrama 2D, podemos observar larguras de feixes de meia potência de 122,05 graus. Por sua vez, o diagrama de irradiação 3D nos mostra que a antena apresentou um ganho direutivo de 5,11 dB na região de máxima radiação na zona de campo distante.

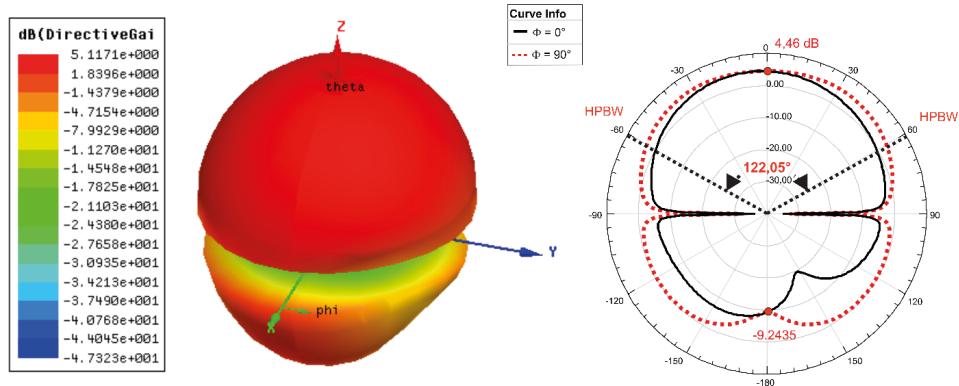


Figura 6 – Diagrama de radiação 3D e 2D para a antena Mouth proposta.

A Figura 7 mostra a distribuição de corrente no patch irradiante da antena Mouth proposta. Devido à natureza simétrica da estrutura, a corrente se distribuiu de forma uniforme ao longo de todo o elemento irradiante e evidenciando bem as margens como parte principal no processo de irradiação da energia ao espaço livre.

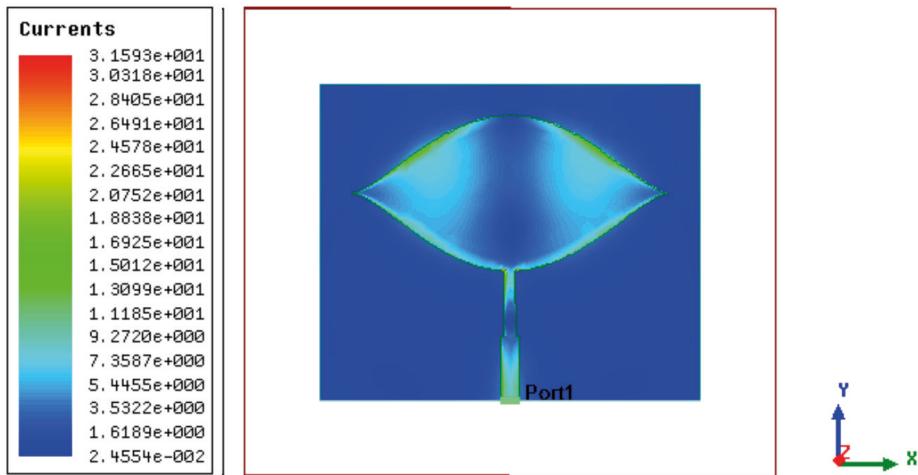


Figura 7 – Distribuição da densidade de corrente de superfície para a antena Mouth proposta.

Outro parâmetro importante na análise de antenas e arranjo de antena de microfita é o coeficiente de onda estacionária (VSWR). Ele consiste na medida da energia que volta a fonte geradora por meio de ondas estacionárias na linha de alimentação, o que muitas vezes acontece entre um descasamento de impedância entre a linha de alimentação e o elemento patch (BALANIS, 1997).

O VSWR é dado pela razão entre os coeficientes de reflexão das ondas incidentes e refletidas no terminal da fonte gerada do sinal de micro-ondas, conforme mostra a equação (3). A Figura 8 mostra o resultado medido do coeficiente de onda estacionária (VSWR) para a antena Mouth.

$$VSWR = \frac{1+|S_{11}|}{1-|S_{11}|} \quad (3)$$

Desse resultado podemos observar um valor de VSWR igual a 1,20 para o resultado medido. Esse valor se encontra abaixo da condição limite para um bom funcionamento da antena, o qual corresponde a um valor de VSWR igual a 2,0. Todos os resultados obtidos para a antena Mouth bioinspirada proposta se encontram resumidos na Tabela 2.

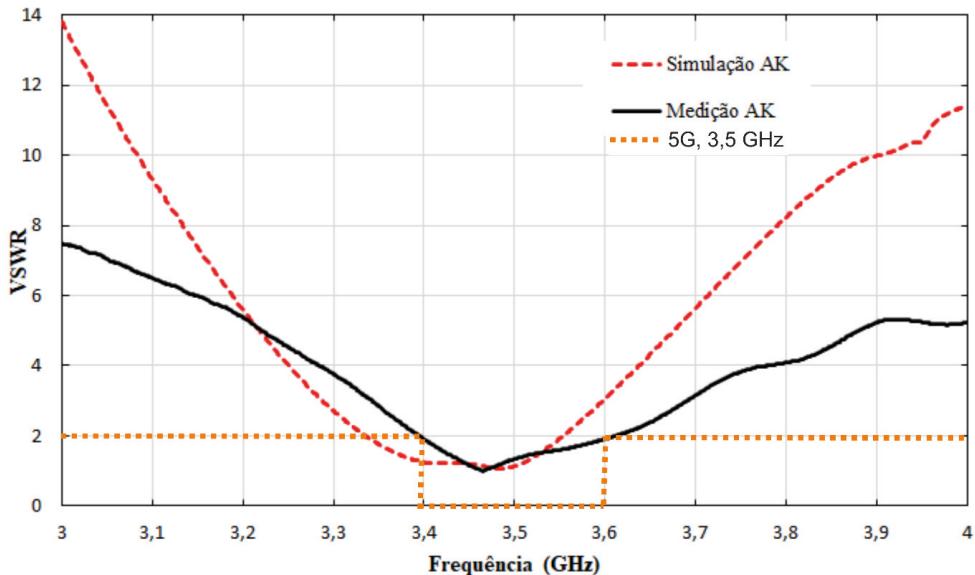


Figura 8 – Resultado da curva de VSWR para a antena Mouth proposta.

Resultados	Antena Mouth	
	Simulado	Medido
Frequência de ressonância (F_r)	3,50 GHz	3,50 GHz
Perda de retorno (RL)	-33,0 dB	-29,0 dB
Largura de banda (BW)	213 MHz	180 MHz
HPBW	122,05°	—
VSWR	1,21	1,20
Ganho	5,11 dB	—

Tabela 2 – Resultados simulados e medidos para a antena Mouth bioinspirada proposta.

CONCLUSÃO

Neste artigo foi proposto uma antena patch de microfita bioinspirada, denominada de antena Mouth, gerada por meio de um algoritmo composto por uma equação polar. A estrutura proposta foi projetada para a faixa das micro-ondas, mais precisamente o projeto apresentou duas faixas de operação sendo a primeira em 3,50 GHz e a outra em 6,50 GHz, onde temos possíveis aplicações em FSS (Serviço Fixo por Satélite), ARNS, Telefonia Celular, dispositivos que operam o 5G.

Para a construção da antena foi feito uso de um material de baixo custo, neste caso foi utilizado o material FR4 fibra de vidro, como permissividade relativa de 4,4 e uma tangente de perdas de 0,02 como uma espessura de 1,5 mm. A estrutura como um todo foi excitada pela técnica de linha de microfita e os resultados mostraram uma ótima concordância entre simulação e medição, com boas características de irradiação e ótima largura de banda, validando assim o projeto da antena bioinspirada proposta.

REFERÊNCIAS

BALANIS, C. A. **Antenna theory-analysis and design**, 2nd ed. USA: John Wiley & Sons, 1997.

KUMAR, G.; RAY, K. P. **Broadband microstrip antennas**, USA: Artech House, 2003.

GARG, R.; BHARTIA, P.; BAHL, I.; ITTIPIBOON, A. **Microstrip Antenna Design Handbook**, Boston, USA: Artech House, Inc., 2001.

Y. J. Sung, C. S. Ahn, and Y.-S. Kim, “**Size reduction and harmonic suppression of rat-race hybrid coupler using defected ground structure**,” IEEE Microwave and Wireless Components Letters, pp. 7-9, 2004.

DARVICH, M; HASSANI, H. R. “**Quad band CPW Antenna for PCS, Bluetooth, WiMAX and WLAN Applications**,” Advanced Electromagnetics Symposium, AES 2012, Paris, France, pp. 265-269, 2012.

Ansoft Designer (part of ANSYS Inc.) [Online]. Available: www.ansoft.com.

ANATEL. **Agência Nacional de Telecomunicações**. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/espectro>. Acesso em: 27 de Dez. 2024.

MORETTI, Isabella. “**Regras da ABNT para TCC: conheça as principais normas**”. 2024. Disponível em: <<https://viacarreira.com/regras-da-abnt-para-tcc-conheca-principais-normas>>. Acesso em: 27 de Dez. 2024.