

Antenas Dual-Band MIMO de Microfita para Aplicações em Faixas de Frequências 5G

Madson Franklin do Nascimento, Kaio Márcio da Costa Bandeira, Cristhianne de Fátima Linhares de Vasconcelos e Valdemir Praxedes da Silva Neto.

Resumo— Este artigo apresenta o desenvolvimento e análise de novas geometrias de antenas Dual-Band MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) de microfita, compactas, ressoando em 2.3 GHz e 3.5 GHz para aplicação na nova tecnologia de quinta geração de comunicação sem fio (5G). O software *High Frequency Structure Simulator* (HFSS) foi utilizado na simulação para obtenção dos resultados desejados. Uma caracterização experimental a partir da construção dos protótipos, foi realizada e as medidas obtidas indicam boa concordância entre os resultados experimentais e os resultados obtidos através de simulações.

Palavras-Chave— 5g, Antena de microfita, MIMO, Antena impressa.

Abstract— This article presents the development and analysis of new geometries of Dual-Band MIMO antennas (*Multiple Input Multiple Output*), compact, resonating at 2.3 GHz and 3.5 GHz for application in the new technology of fifth generation wireless communication (5G). The *High Frequency Structure Simulator* (HFSS) software was used in the simulation to obtain the desired results. An experimental characterization based on the construction of prototypes was performed and the measurements obtained show a good agreement between the experimental results and the results obtained through simulations.

Keywords— 5g, Microphone tape antenna, MIMO, Printed antenna.

I. INTRODUÇÃO

A crescente evolução dos sistemas de comunicação sem fio e móveis, impulsionada por propostas como a Quinta Geração de Comunicações Móveis (5G) e da Internet das Coisas (IoT) [1], tem despertado o interesse no desenvolvimento de dispositivos e tecnologias que atendam seus requisitos. A tecnologia de sistema MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output - MIMO*) tem sido considerada uma necessidade básica de padrões de comunicação sem fio emergentes e futuros, incluindo IEEE 802.11n (Wi-Fi), IEEE 802.11ac (Wi-Fi), HSPA+(3G), WiMAX (4G) e evolução a longo prazo do sistema 5G [5]. A tecnologia MIMO aprimora basicamente o desempenho dos sistemas de comunicação sem fio, melhorando a velocidade de transmissão, a capacidade do canal e a taxa de bits. O sistema MIMO utiliza propagação de caminhos múltiplos empregando múltiplas antenas para transmissão e recepção [6]. Com o intuito de aumentar a capacidade de transmissão dos sistemas de comunicações sem fio, a tecnologia explora a propagação de ondas em múltiplos percurso do canal entre as antenas receptoras

e transmissoras [2]. Em vista de um número maior de antenas, maior será a possibilidade de caminhos para o sinal e melhor será o desempenho do sistema em relação à taxa de transmissão e credibilidade.

No que se refere a implementação da tecnologia 5G no Brasil, conforme Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), as faixas frequência de 2,3 GHz e 3,5 GHz estão em processo de validação. Segundo a decisão, a tecnologia de rede condizente a 2,3 GHz irá contemplar a faixa de frequências entre 2300 MHz e 2400 MHz, enquanto a de 3,5 GHz irá contemplar as frequências entre 3300 MHz e 3600 MHz. A faixa frequência de 2,3 GHz é a mais usada pelos sistemas internacionais de telecomunicações (*International Mobile Telecommunications - IMT*) e a frequência de 3,5 GHz é tida como a porta de entrada para as redes 5G de altíssimas velocidades [9].

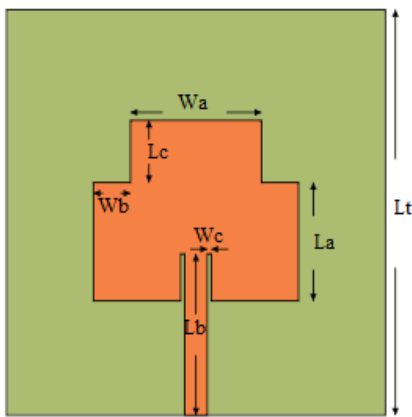
Este trabalho consiste no desenvolvimento, manufatura e análise de um projeto de antenas de microfita do tipo MIMO, operando em banda dupla nas faixas de 2.3 GHz e 3.5 GHz, para redes 5G, com modificações no plano de terra para diminuir o efeito de acoplamento entre as antenas do conjunto.

II. ANTENA CONFIGURAÇÃO

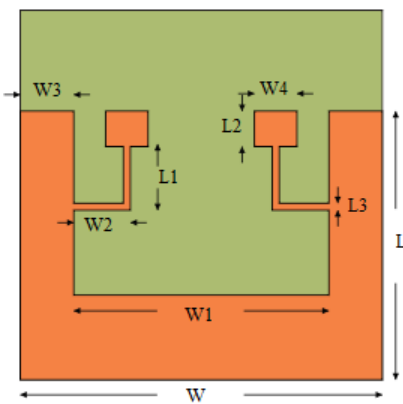
A configuração da antena padrão proposta é impressa em um substrato FR4 de 51,1 mm × 57,2 mm com espessura de 1,6 mm, constante dielétrica relativa de 4,4 e uma tangente de perda de 0,02. O projeto do *patch* (Fig. 1(a)) foi idealizado para ser utilizado nas faixas de frequências de 2,3 GHz e 3,5 GHz da tecnologia 5G do Brasil, dessa forma, o patch possui um formato com dois elementos retangulares unidos, em que cada um é responsável por sua respectiva banda de atuação.

O plano de terra (Fig 1(b)) possui um U-slot aberto e dois L-strips, cuja função é otimizar o formato do diagrama de radiação, contribuir para o casamento de impedância da antena, como também possibilitar encadeamento como antena MIMO.

Técnica de *inset-fed* foi utilizada na antena para obter um melhor casamento de impedância da linha com o elemento radiante, garantindo que todos os canais das frequências de interesse fossem contemplados. Os valores dos parâmetros utilizados na Fig.1 estão descritos na Tabela I.



(a)



(b)

Fig. 1. Geometria da antenna padrão para o sistema MIMO.

TABELA I

Valores dos parâmetros da antenna base			
Parâmetros	Valor (mm)	Parâmetros	Valor (mm)
W	51,1	L3	1
L	37,9	Lt	57,2
W1	36	La	15,2
W2	8	Lb	20,7
W3	7,5	Lc	8
W4	5	Wa	17,6
L1	9	Wb	5
L2	5	Wc	0,5

Estudos paramétricos foram realizados nos parâmetros dos slots U e L, conforme Fig. 1(b), para melhorar o S11 e o ganho da antenna com o auxílio das ferramentas do HFSS.

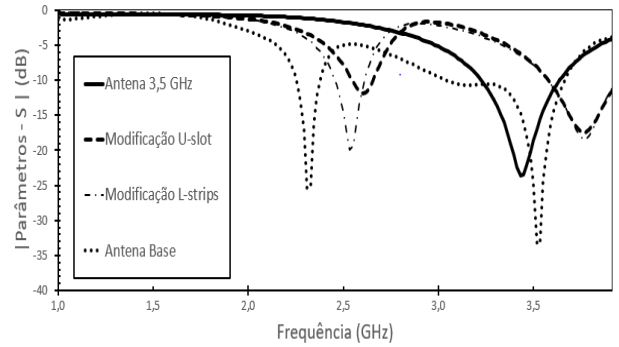
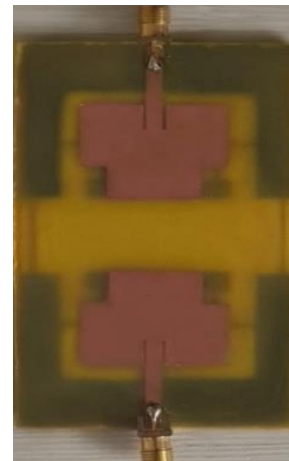
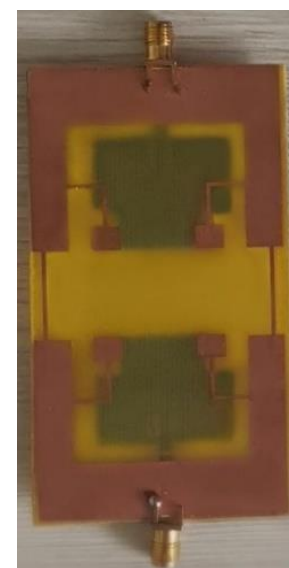


Fig. 2 Estudo paramétrico da antenna projetada.

Com a antenna padrão devidamente projetadas e simuladas, foi realizado o projeto de duas antenas MIMO com 2 elementos (Fig. 3) e 4 elementos (Fig. 4), operando nas respectivas faixas frequências de 2.3 GHz e 3.5 GHz. As antenas são interligadas através de conexões no plano de terra por meio de fitas de 1mm de largura e com comprimento igual a $(L_t - L)$, como pode ser observado na Fig. 3(b) e Fig 4(b), tornando adequado o agrupamento das antenas para o tipo MIMO.

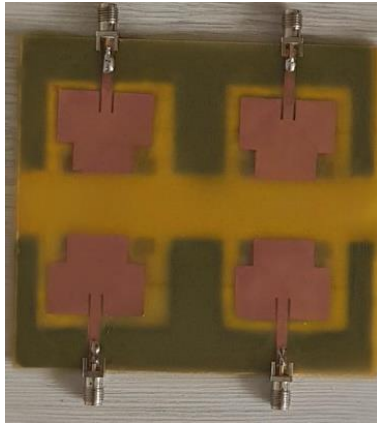


(a)

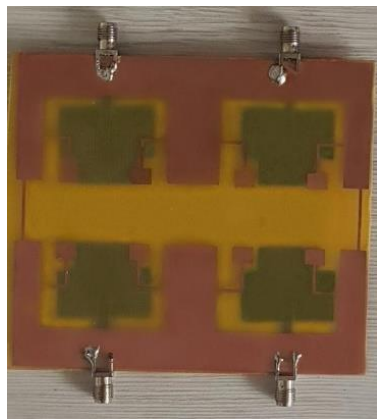


(b)

Fig.3 Protótipo de antenna MIMO com 2 elementos (a) Vista frontal da antenna MIMO de 2 elementos. (b) Vista posterior da antenna MIMO de 2 elementos.



(a)



(b)

Fig.4 Protótipo de antena MIMO com 4 elementos (a) Vista frontal da antena MIMO de 4 elementos. (b) Vista posterior da antena MIMO de 4 elementos.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados das medições dos protótipos das antenas MIMO construídas foram realizadas com um analisador de rede do modelo E5071C – ENA *Series da Agilent Technologies*. Foi possível obter os parâmetros de espalhamento e padrões de radiação das antenas MIMO projetadas e realizar a comparação com os resultados simulados.

Fig. 5 mostra o coeficiente de reflexão simulado e medido da antena padrão projetada. A antena padrão apresentou um resultado concordante com o simulado, apresentando perdas de retorno medido igual a -17,28 dB na frequência de 2,3 GHz e -20,32 dB na frequência de 3,5 GHz. É possível observar que houve uma melhora no S11 e aumento da largura de banda na frequência de 3,5 GHz, esses deslocamentos podem ser explicados pelo fato de o simulador considerar um ambiente ideal nas simulações.

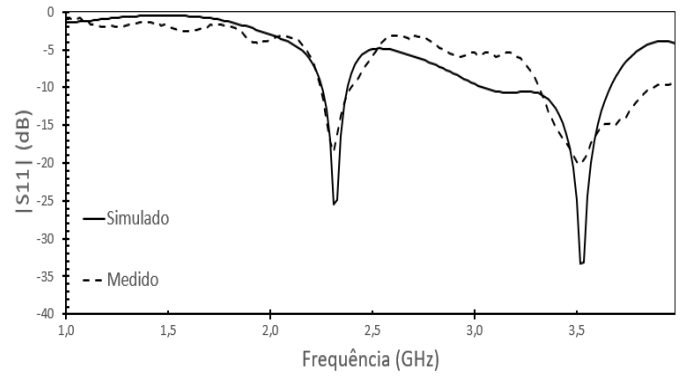


Fig.5 Coeficiente de reflexão S11 simulado e medido da antena base.

As Fig. 6 e 7, mostram o coeficiente de reflexão simulado e medido da antena MIMO de 2 e 4 elementos, respectivamente, utilizando a mesma condição para as medições da perda de retorno da antena padrão. Verifica-se da fig. 6 e fig. 7 que o resultado simulado e o resultado medido são congruentes, havendo uma diminuição da perda de retorno medida na frequência 2,3 GHz. Além disso é possível notar variações da largura de banda na frequência de 3,5 GHz quando comparado aos valores obtidos nas simulações, contudo, em ambas as bandas de operação, é mantido a largura de banda necessária para a tecnologia proposta. Esses fatores divergentes são gerados devido as perdas ôhmicas devido as conexões mecânicas entre o conector e a linha de alimentação e erros inerentes às medições práticas.

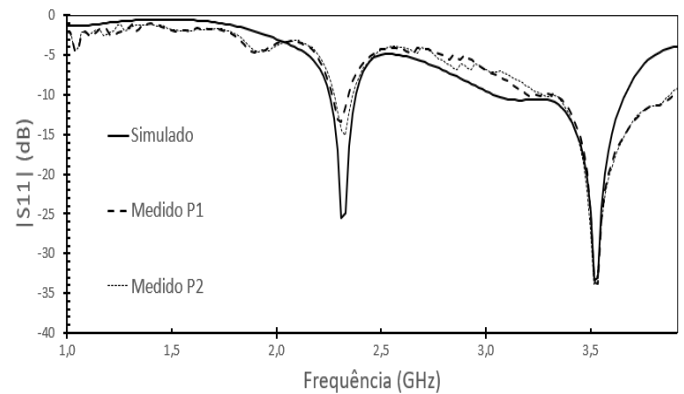


Fig. 6 Coeficiente de reflexão S11 simulado e medido da antena MIMO dois elementos.

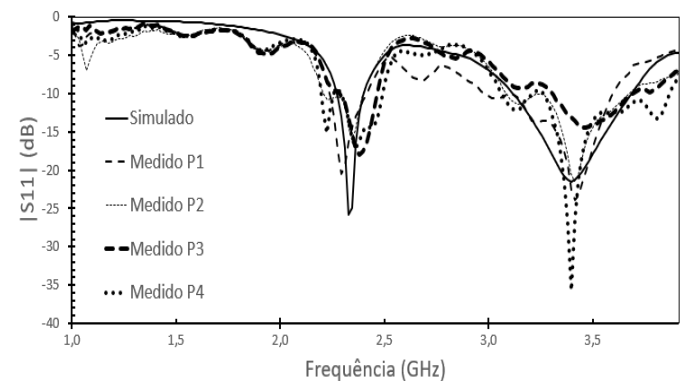


Fig.7 Coeficiente de reflexão S11 simulado e medido da antena MIMO com quatro elementos.

Os coeficientes de transmissão entre os elementos da antena MIMO foram medidos e simulados, obtendo-se para ambas configurações os gráficos das antenas MIMO de 2 e 4 elementos, conforme as Fig. 8 e 9, respectivamente.

Os valores de S_{21} para a antena MIMO de 2 elementos e 4 elementos pode ser observada na Fig. 8 e Fig. 9, na qual é possível notar que a transmissão entre elementos da antena é mais baixa nos resultados práticos em relação aos simulados, tendo assim um ECC, o que é mais adequado para antenas MIMO.

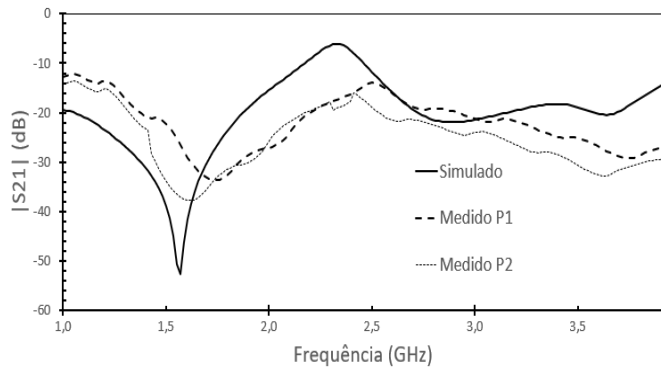


Fig.8 Coeficiente de transmissão S_{21} simulado e medido da antena MIMO dois elementos.

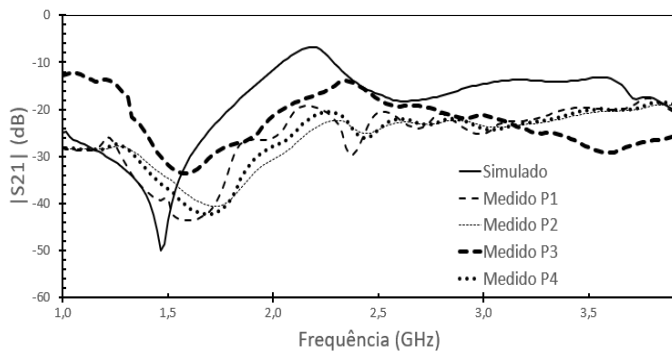


Fig.9 Coeficiente de transmissão S_{21} simulado e medido da antena MIMO quatro elementos.

As características de radiação da antena MIMO de 2 e 4 elementos proposta em suas frequências de operação para o plano E e H são apresentadas na Fig. 10 (a - b) e Fig. 11 (a - b), respectivamente. Pode-se observar que as antenas propostas estão radiando na direção de borda larga. O ganho nas duas frequências ressonantes, 2,3 GHz e 3,5 GHz, para ambas geometrias foi tabulado consecutivamente nas (Tabela II e Tabela III) juntamente com o valor de seus coeficientes de reflexão e acoplamento.

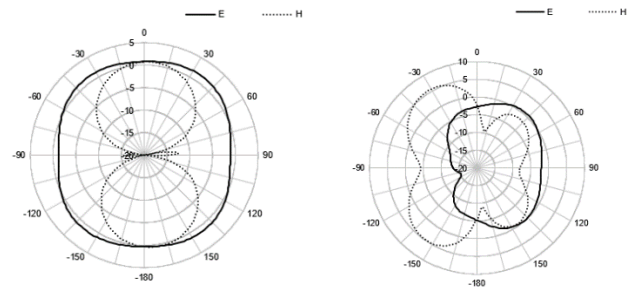


Fig.10 Diagrama de radiação antena MIMO dois elementos

(a) 2.3 GHz e (b) 3.5 GHz.

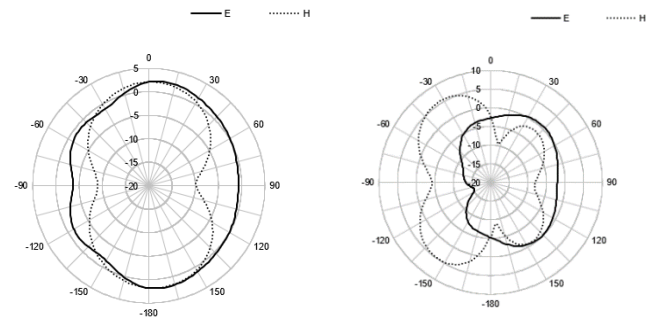


Fig.11 Diagrama de radiação antena MIMO quatro elementos

(a) 2.3 GHz e (b) 3.5 GHz.

TABELA II – Parâmetros Operacionais para Antena com 02 Elementos.

Fr (GHz)	Ganho (dB)	S_{11} (dB)	S_{21} (dB)
2,3	1,6	25,12	6,21
3,5	5,72	33,27	18,50

TABELA III - Parâmetros Operacionais para Antena com 04 Elementos.

Fr (GHz)	Ganho (dB)	S_{11} (dB)	S_{21} (dB)
2,3	2,42	22,41	6,75
3,5	6,02	23,45	13,69

Uma consideração importante no sistema MIMO é implementar a diversidade de antenas receptoras. O desempenho da diversidade de antenas consiste em encontrar o coeficiente de correlação de envelope (*envelope correlation coefficient* - ECC) entre os dois sistemas de antenas. O ECC é uma medida do isolamento e correlação entre os padrões de radiação dos pares de antenas receptoras MIMO. Portanto, é obrigatório obter um baixo coeficiente de correlação de envelope (ECC).

O valor máximo aceitável do coeficiente de correlação do envelope é 0,5 para um bom desempenho da diversidade [2]. Para avaliar o desempenho da diversidade das antenas MIMO de 2 e 4 elementos projetadas, o coeficiente de correlação do envelope foi calculado para os resultados medidos e simulados, conforme Fig. 12 e 13, respectivamente. Isso mostra que a configuração MIMO proposta tem o valor de ECC bem abaixo

de 0,05 em toda a faixa de frequência. Os resultados simulados concordam bem com os resultados medidos.

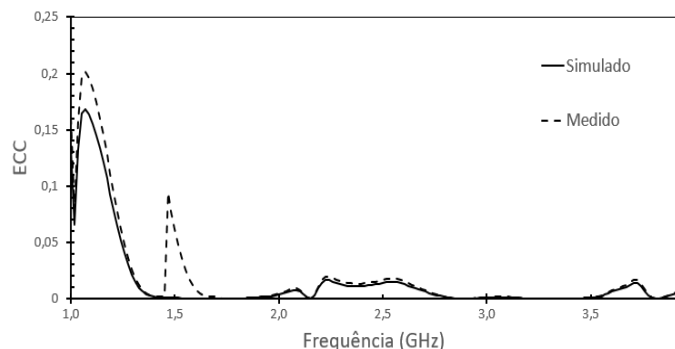


Fig.12 coeficientes de correlação do envelope antena MIMO 2 elementos.

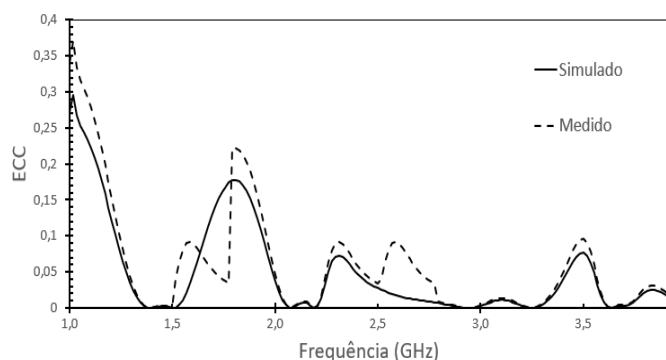


Fig.13 coeficientes de correlação do envelope antena MIMO 4 elementos

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento 3 antenas, sendo uma padrão e duas antenas MIMO de 2 e 4 elementos, operando na frequência de 2,3 GHz e 3,5 GHz, para aplicações em sistemas de comunicações 5G do Brasil. As antenas possuem espessura de 1,6 mm, são leves e de baixo custo. Os elementos de *patch* foram modificados para a atuação em banda dupla, enquanto a modificação do plano de terra com U-slot aberto e L-strips permitiu diminuição na ECC, melhoras no ganho e no casamento de impedância, garantindo a funcionalidade das antenas em todos os canais das bandas de 2,3 GHz e 3,5 GHz propostas. Ambas as antenas MIMO de 2 e 4 elementos apresentaram-se funcionais para o 5G, contudo, a antena MIMO de 2 elementos apresentou menores níveis de distorção no diagrama de radiação. Observou-se concordância entre os resultados medidos e simulados para ambas as configurações MIMO. Os resultados experimentais apresentados, indicam foi obtido as larguras de bandas almejadas para as faixas de frequência que foram utilizadas no projeto, como também os valores dos coeficientes de correlação do envelope (ECC) são satisfatórios.

Para trabalhos futuros, vislumbram-se projetar estruturas com maiores matrizes de antenas capazes de operar em múltiplas bandas para utilização da rede 5G, estudos com novos tipos de dielétricos a serem utilizados na fabricação de antenas MIMO de microfitas e utilizar técnicas de miniaturização.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Pierucci, "The quality of experience perspective toward 5G technology," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 22, no. 4, pp. 10-16, 2015.
- [2] J. Hampton, *Introduction to MIMO communications*. New York: Cambridge University.
- [3] Constantine A Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, John Wiley & Sons, 2016.
- [4] W. Hu, Y.-Z. Yin, X. Yang, K. Song, Z.-Y. Liu and L.-H. Wen A wide open U-slot antenna with a pair of symmetrical L-strips for wlan applications. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 16, 141{149, 2010.
- [5] R. Karimian, H. Oraizi, S. Fakhte, and M. Farahani, Novel F-shaped quad-band printed slot antenna for WLAN and WiMAX MIMO systems, *IEEE Antennas Wireless Propag Lett* 12 (2013), 405–408.
- [6] Wong KL, Lu JY, Chen LY, Li WY, Ban YL. 8-antenna and 16-antenna arrays using the quad-antenna linear array as a building block for the 3.5-GHz LTE MIMO operation in the smartphone. *Microwave Opt Technol Lett* 2016;58 (1):174–81.
- [7] Kumar, A., A. Q. Ansari, B. K. Kanaujia, J. Kishor, and N. Tewari, "Design of triple-band MIMO antenna with one band-notched characteristic," *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 86, 41–53, 2018.
- [8] Sulyman, A. I., A. T. Nassar, M. K. Samimi, G. R. MacCartney, T. S. Rappaport, and A. Alsanie, "Radio propagation path loss models for 5G cellular networks in the 28 GHz and 38 GHz millimeterwave bands," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 52, 78–86, 2014.
- [9] Agência Nacional de Telecomunicações. Aprovada destinação de faixas de frequências de 2,3 GHz e 3,5 GHz. Anatel.gov.br. Publicado: Sexta, 24 de Maio de 2019, 15h32 | Última atualização em Quarta, 29 de Maio de 2019, 17h51 | Disponível em: anatel.gov.br/institucional/noticias-destaque/2278-aprovada-destinacao-de-faixas-de-frequencias-de-2-3-ghz-e-35ghz#:~:text=A%20faixa%20de%202%2C3,quinta%20geração%0de%20telefonia%20móvel.