

# Desenvolvimento de uma Antena MuPaR Reconfigurável para Sistemas B5G

1<sup>st</sup> M. C. Twardowski

dept. Wireles And Optical (WOCA.)

Instituto Nacional de Telecomunicações(INATEL.)

Santa Rita do Sapuca, Brazil miguel.corales@get.inatel.br

2<sup>nd</sup> Arismar Cerque S. Jr.

dept. Wireles And Optical (WOCA.)

Instituto Nacional de Telecomunicações(INATEL.)

Santa Rita do Sapuca, Brazil arismar@inatel.br

3<sup>rd</sup> Igor Feliciano

dept.Engineering Simulation (ESSS.)

Florianópolis Brazil igorfc@esss.com

**Abstract**—Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma antena ESPAR (Electronically Steerable Parasitic Array Radiator) em configuração de matriz 1:4, simulada para operar na frequência de 3,5GHz. A estrutura foi implementada utilizando o substrato Rogers 3003 com espessura de 0,51mm, escolhido por sua baixa constante dielétrica e perdas reduzidas. A antena foi simulada no software Ansys High Frequency Structure Simulator (HFSS), com foco na otimização do coeficiente de reflexão ( $S_{11}$ ) e da diretividade, considerando as propriedades eletromagnéticas do substrato e a geometria dos elementos parasitas. A capacidade de varredura de feixe foi viabilizada pelo uso do módulo MuPaR (Módulo Reconfigurável de Unidade Parasitária), que permite a reconfiguração dinâmica dos estados da antena. A antena foi simulada experimentalmente, apresentando excelente concordância com os resultados simulados. Os coeficientes de reflexão ( $S_{11}$ ) permaneceram abaixo de  $-35\text{dB}$  em todos os estados, com largura de banda de até 277MHz e ganho variando de 8,7dBi a 11dBi, dependendo da configuração parasitária ativada. Essa variação de ganho, aliada ao beamforming reconfigurável, permite o controle dinâmico da direção de radiação, aumentando a eficiência espectral e reduzindo o consumo de energia. Essas características tornam a antena proposta uma solução promissora para sistemas de comunicação de próxima geração (5G e 6G), dispositivos IoT, cidades inteligentes e veículos autônomos.

**Index Terms**—Banda de 3,5GHz, 6G, antena ESPAR, HFSS, MuPaR, antenas reconfiguráveis, telecomunicações.

## I. INTRODUÇÃO

A demanda crescente por comunicações sem fio mais eficientes e de maior capacidade tem impulsionado o desenvolvimento de soluções capazes de fornecer cobertura direcional, maior eficiência espectral e mitigação de interferências. Tecnologias como *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* e formação de feixe (beamforming) são fundamentais para redes móveis de quinta e sexta geração (5G/6G), além de aplicações em Internet das Coisas (IoT) e redes inteligentes.

No entanto, a implementação de formação de feixe por meio de arranjos tradicionais com múltiplos canais RF gera aumento significativo em custo, consumo de energia e complexidade. Uma alternativa viável e de baixo custo é a utilização de antenas ESPAR (*Electronically Steerable Parasitic Array Radiator*), que permitem a formação de feixe utilizando apenas

um elemento ativo e elementos parasitas controlados eletronicamente.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e simulação, utilizando o software Ansys HFSS, de uma antena ESPAR operando em 3,5GHz. A estrutura proposta utiliza um monopolo impresso como elemento ativo e dois elementos parasitas laterais, controlados por meio do conceito do módulo MuPaR (*Reconfigurable Parasitic Unit Module*). A proposta visa oferecer uma solução compacta e eficiente para controle de feixe, utilizando apenas uma porta de alimentação.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção II descreve o projeto da antena e os métodos de simulação; a Seção III apresenta os resultados obtidos e suas análises; por fim, a Seção IV traz as conclusões e propostas para trabalhos futuros.

## II. PROJETO DA ANTENA ESPAR

A antena foi simulada para operar na frequência de 3,5GHz utilizando o software Ansys HFSS, sobre substrato Rogers 3003 com espessura de 0,51mm e constante dielétrica  $\epsilon_r = 3,0$ . O substrato utilizado possui dimensões físicas de 58,76mm  $\times$  53,76mm. A estrutura é composta por um monopolo impresso ativo, com 45mm de altura, e dois elementos parasitas do mesmo tipo, posicionados à esquerda e à direita do monopolo. O monopolo é alimentado por linha de microfita de 50  $\Omega$ , e seu casamento de impedância foi otimizado com a inclusão de pequenos circuitos de compensação capacitiva do tipo *shunt*, posicionados entre a linha de alimentação e o plano de terra. Esses elementos foram ajustados empiricamente no ambiente de simulação para minimizar o coeficiente de reflexão  $S_{11}$  na frequência de operação. Os elementos parasitas são controlados, na prática, via módulo MuPaR, mas foram modelados na simulação utilizando portas lumped no HFSS, representando os estados *ON* (curto) e *OFF* (aberto). Também foram utilizados elementos RAM Pad (RLC) para simular os indutores de isolamento DC-RF e vias metálicas (VIA) para representar os pontos de aterramento dos parasitas. O espaçamento entre o monopolo e cada parasita foi definido como 17,48mm, valor que proporciona forte

acoplamento eletromagnético, permitindo influência efetiva dos parasitas sobre o padrão de radiação, sem comprometer o casamento de impedância da antena. Essa configuração forma uma matriz ESPAR 1:2, capaz de gerar três padrões distintos: um padrão omnidirecional (todos os parasitas desligados) e dois padrões direcionais, obtidos pela ativação individual de cada parasita. A ativação dos parasitas gera uma melhora de aproximadamente 2,3dB no ganho em relação ao estado omnidirecional, validando a eficiência do controle parasitário na formação de feixe.

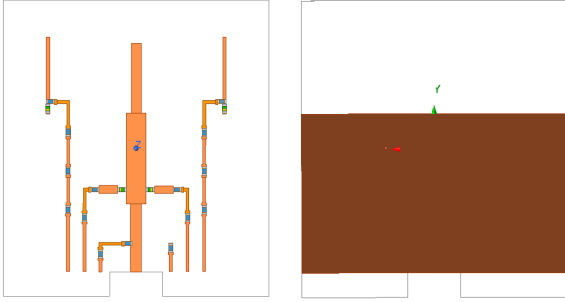


Fig. 1: Modelo da antena top e bottom.

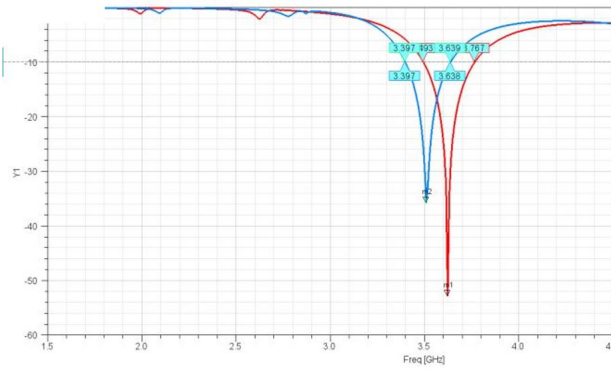


Fig. 2: Coeficiente de reflexão  $S_{11}$  simulado para os diferentes estados da antena.

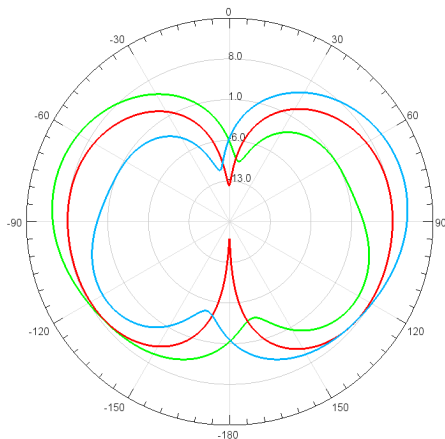


Fig. 3: Padrões de radiação simulados nos diferentes estados.

### III. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou o projeto e simulação de uma antena ESPAR reconfigurável, operando na frequência de 3,5 GHz, com controle parasitário por meio do conceito do módulo MuPaR. Todo o desenvolvimento foi realizado em ambiente de simulação no Ansys HFSS, utilizando portas lumped para representar os estados ON e OFF dos elementos parasitas, além de elementos RAM Pad (RLC) para simular os indutores de isolamento e vias metálicas (VIA) para os pontos de aterramento. A antena proposta demonstrou excelente desempenho para formação de feixe com arquitetura compacta, baixo custo e simplicidade estrutural, utilizando apenas uma porta de alimentação ativa. Foram obtidos ganho de até 11 dBi nos estados direcionais e uma largura de banda de aproximadamente 2,3 dB em relação ao estado omnidirecional. Em comparação aos arrays faseados tradicionais, a solução baseada em ESPAR permite redução significativa na quantidade de portas RF, consumo de energia e complexidade de hardware, mantendo boa eficiência espectral e flexibilidade para controle de feixe. O uso do conceito MuPaR associado a técnicas de simulação com portas lumped mostrou-se eficaz para validar o comportamento da antena de forma precisa, antecipando o desempenho esperado para a versão física do sistema. A antena desenvolvida possui grande potencial para aplicações em redes 5G, sensores inteligentes, sistemas de comunicação IoT, comunicação direta via satélite (NTN) e dispositivos móveis que exigem direcionamento de feixe com baixo consumo e footprint reduzido. Além disso, a solução pode ser expandida futuramente para suportar varredura angular mais ampla, operação em múltiplas bandas e integração com circuitos de controle digitais. Como continuidade deste trabalho, estão previstos a fabricação e a validação experimental do protótipo, a implementação do módulo MuPaR físico, além da análise do desempenho em ambientes com mobilidade, presença de multipercurso e integração com sistemas MIMO compactos.

### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente apoiado pela RNP, com recursos do MCTIC, sob o contrato nº 01245.020548/2021-07, no âmbito do projeto Brasil 6G, realizado pelo Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel). Os autores também agradecem o apoio financeiro do CNPq, CAPES, FINEP, FAPEMIG e FAPESP (contratos #2021/06569-1 e #2022/09319-9).

### REFERENCES

- [1] A. A. Serhan et al., "High-Gain, Wideband, and Superdirective Electronically Beam-Switchable Antenna," IEEE Access, vol. 9, 2021.
- [2] I. D. Saadeh, "2x2 ESPAR Antenna for IoT," in IEEE APS, 2021.
- [3] M. Czelen et al., "Miniaturized ESPAR for IoT," IEEE Access, 2021.
- [4] M. Czelen et al., "Dielectric Overlay Effects on ESPAR Antennas," in IEEE APS, 2020.
- [5] J. Carr, "Design with PIN Diodes," Microwave & RF, vol. 52, 2013.
- [6] H. Wheeler, "Fundamental Limitations of Small Antennas," Proc. IRE, 1947.