

# Técnicas de Processamento de Sinais e Telecomunicações

**Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)**

**Henrique Ajuz Holzmann**

(Organizador)

# Técnicas de Processamento de Sinais e Telecomunicações

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Karine de Lima  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
T255	Técnicas de processamento de sinais e telecomunicações [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-449-8 DOI 10.22533/at.ed.498190807  1. Tecnologia da informação. 2. Telecomunicações. I. Holzmann, Henrique Ajuz.  CDD 338.47
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra Técnicas de Processamento de Sinais e Telecomunicações está organizada de maneira a atender a temas atuais sobre a área de telecom e processamento de sinais de maneira sucinta e otimizada, sendo dividido em 17 capítulos sequenciais.

A transmissão de dados juntamente com suas vertentes representa um dos principais pilares para o progresso econômico de uma nação e para o atendimento de inúmeras necessidades da humanidade, estando presente nos mais diversos setores. Desenvolve-la de maneira eficiente é uma busca constante de grandes empresas e pesquisadores, buscando otimizar e agilizar o processo de troca de informações.

Produzir conhecimento nestas áreas é de extrema importância, a fim de gerar desenvolvimento e ampliar possibilidades nos mais diversos campos. Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre temas referentes a comunicação e processamento de sinais em diferentes níveis de profundidade em pesquisas, envolvendo aspectos técnicos, científicos e humanos é trazido nesta obra.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANTENA DE MICROFITA RETANGULAR PARA APLICAÇÃO EM 2,5 GHZ UTILIZANDO SUBSTRATO METAMATERIAL	
Almir Souza e Silva Neto Bruno Pontes Alves da Silva Matheus Mesquita Correa Humberto César Chaves Fernandes Ronilson Mendes Fonseca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4981908071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>7</b>
BANDWIDTH ENHANCEMENT OF AN ULTRA WIDE BAND PLANAR INVERTED F-ANTENNA	
Pedro Paulo Ferreira do Nascimento Glauco Fontgalland Raymundo de Amorim Júnior Tagleorge Marques Silveira Rodrigo César Fonseca da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4981908072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>14</b>
COMPORTAMENTO DE MODELOS DE DIFRAÇÃO SOBRE MÚLTIPLOS GUMES DE FACA EM VHF E UHF	
Lorenço Santos Vasconcelos Gilberto Arantes Carrijo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4981908073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>27</b>
ON-CHIP KOCH FRACTAL ANTENNA ARRAY FOR 60 GHZ ISM BAND APPLICATION	
Paulo Fernandes da Silva Júnior Ewaldo Eder Carvalho Santana Mauro Sérgio Pinto Filho Almir Souza e Silva Neto Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira Paulo Henrique da Fonseca Silva Alexandre Jean René Serres Raimundo Carlos Silvério Freire	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4981908074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>36</b>
PROJETO E ANÁLISE DE UM ARRANJO LINEAR DE ANTENAS UTILIZANDO A CURVA FRACTAL DE KOCH	
Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira Pedro Carlos de Assis Júnior Marcelo da Silva Vieira Rodrigo César Fonseca da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4981908075</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>48</b>
FINDING REPEATER PLACEMENT FOR P2P WIRELESS LINKS WITH NLOS IN EXTREMELY MOUNTAINOUS REGIONS	
Alvaro Javier Ortega	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4981908076</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>60</b>
NOVA ARQUITETURA DE DEMODULADOR $\pi/3$ -BPSK PARA OS SATÉLITES DO SISTEMA BRASILEIRO DE COLETA DE DADOS	
Flavia Vasconcelos Maia	
Antonio Macilio Pereira de Lucena	
Francisco de Assis Tavares Ferreira da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4981908077</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>73</b>
PROPOSTA DE UM NOVO ALGORITMO QOS-AWARE PARA O ESCALONAMENTO <i>DOWNLINK</i> LTE-A EM CENÁRIOS DE TRÁFEGO MISTO: UMA COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO	
Júnio Moreira	
Éderson Rosa da Silva	
Paulo Roberto Guardieiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4981908078</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>85</b>
SERVIÇO DE L2VPN EM REDES DE <i>BACKBONE</i> IP: ESTUDO DE CASO DA REDECOMEP-RIO	
Pedro Henrique Diniz da Silva	
Natália Castro Fernandes	
Nilton Alves Jr.	
Márcio Portes de Albuquerque	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4981908079</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>101</b>
SISTEMA DISTRIBUÍDO PARA DETECÇÃO DE AMEAÇAS EM REDES UTILIZANDO <i>DEEP LEARNING</i>	
Fábio César Schuartz	
Mauro Sérgio Pereira Fonseca	
Anelise Munaretto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.49819080710</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>113</b>
UM MÓDULO DE DEFESA PARA ATAQUES DDOS NA CAMADA DE APLICAÇÃO USANDO ESTRATÉGIAS SELETIVAS	
Túlio Albuquerque Pascoal	
João Henrique Gonçalves Corrêa	
Vivek Nigam	
Iguatemi Eduardo da Fonseca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.49819080711</b>	

<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>125</b>
AN EMPIRICAL RATE BALANCED ALIEN XTALK MITIGATION METHOD FOR G.FAST SYSTEMS	
Diego de Azevedo Gomes	
Cláudio de Castro Coutinho Filho	
João Victor Costa Carmona	
Evaldo Gonçalves Pelaes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.49819080712</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>135</b>
REPRESENTAÇÃO ESPARSA UTILIZANDO WAVELETS E VARIAÇÃO TOTAL APLICADOS AO PROCESSAMENTO DE SINAIS DE DESCARGAS PARCIAIS	
Paulo Vitor do Carmo Batista	
Hilton de Oliveira Mota	
<b>DOI 10.22533/at.ed.49819080713</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>152</b>
REDUÇÃO DE DIMENSÕES USANDO TRANSFORMADA DE KARHUNEN-LOÈVE EM SISTEMAS MIMO MASSIVO DISTRIBUÍDO COM <i>FRONTHAUL</i> LIMITADO	
Ricardo de Souza Cerqueira	
André Noll Barreto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.49819080714</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>167</b>
WSN COVERAGE IMPROVEMENT WITH ROF IN BUS TOPOLOGY FOR SMART CITIES	
Raphael Montali da Assumpção	
Indayara Bertoldi Martins	
Frank Herman Behrens	
Omar Carvalho Branquinho	
Fabiano Fruett	
<b>DOI 10.22533/at.ed.49819080715</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>179</b>
MODELO ELETROMAGNÉTICO DE UM ARRANJO PLANAR DE NANODIPOLOS SOBRE PLANO DE OURO ATRAVÉS DA FUNÇÃO DE GREEN 3D	
André Felipe Souza da Cruz	
Nadson Welkson Pereira de Souza	
Karlo Queiroz da Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.49819080716</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>194</b>
AVALIAÇÃO DE FADIGA MUSCULAR LOCALIZADA EM SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS UTILIZANDO TAXA DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL NO TEMPO	
Jean Kevyn Correia Pessoa	
Pedro Henrique Melgaço de Oliveira Martins	
Thiago Raposo Milhomem de Carvalho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.49819080717</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>207</b>

## ANTENA DE MICROFITA RETANGULAR PARA APLICAÇÃO EM 2,5 GHz UTILIZANDO SUBSTRATO METAMATERIAL

### **Almir Souza e Silva Neto**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Departamento de Engenharia Elétrica.

São Luís – MA

### **Bruno Pontes Alves da Silva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Departamento de Engenharia Elétrica.

São Luís – MA

### **Matheus Mesquita Correa**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Departamento de Engenharia Elétrica.

São Luís – MA

### **Humberto César Chaves Fernandes**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN),

Departamento de Engenharia Elétrica.

Natal - RN

### **Ronilson Mendes Fonseca**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Departamento de Engenharia Elétrica.

São Luís – MA

**RESUMO:** Este artigo apresenta uma análise de antenas de microfita, utilizando substrato metamaterial, para aplicação na frequência de 2,5 GHz. Foram simuladas quatro antenas

na frequência de 2,5 GHz, sendo três com substrato metamaterial e uma antena padrão. A antena 1 utilizou 14 espiras quadradas, a antena 2 utilizou 27 espiras quadradas, a antena 3, 27 anéis partidos. Através dos resultados simulados observou-se que a antena padrão apresentou uma largura de banda de 20 MHz e perda de retorno de -12,49 dB, enquanto a antena 1 apresentou uma largura de banda de 40 MHz e uma perda de retorno de -16,89 dB. As antenas 2 e 3 apresentaram um deslocamento da frequência desejada, sendo que a antena 3 apresentou uma largura de banda de 60 MHz. Embora a antena com metamaterial seja mais espessa, foi possível obter uma redução de 94 % da área do patch e redução no volume de 79%, quando comparadas a antena padrão para 2,5 GHz.

**PALAVRAS-CHAVE:** Antena, microfita, metamaterial.

**ABSTRACT:** This article presents an analysis of microstrip antennas, using metamaterial substrate, for application in the 2.5 GHz frequency. Four antennas were simulated at the 2.5 GHz frequency, three of them with metamaterial substrate and one standard antenna. The antenna 1 used 14 square turns, the antenna 2 used 27 square turns, the antenna 3, 27 split rings. Through the simulated results it was observed that the standard antenna had a

bandwidth of 20 MHz and a return loss of -12.49 dB, while antenna 1 had a bandwidth of 40 MHz and a return loss of -16, 89 dB. Antennas 2 and 3 showed a desired frequency shift, with antenna 3 having a bandwidth of 60 MHz. Although the antenna with metamaterial was thicker, it was possible to obtain a reduction of 94% of the area of the patch and reduction in the 79% compared to the standard 2.5 GHz antenna.

**KEYWORDS:** Antenna, microstrip, metamaterial.

## 1 | INTRODUÇÃO

A permissividade elétrica ( $\epsilon$ ) e a permeabilidade magnética ( $\mu$ ) são dois parâmetros que podem determinar as propriedades elétricas e magnéticas dos materiais. Estes, em conjunto, determinam o comportamento da onda eletromagnética quando se propaga através do material. Normalmente, a permissividade elétrica ( $\epsilon$ ) e a permeabilidade magnética ( $\mu$ ) são positivas em meios convencionais. A permissividade elétrica ( $\epsilon$ ) pode ser negativa em alguns materiais, porém não é conhecido nenhum material em estado natural com permeabilidade magnética ( $\mu$ ) negativa. Porém, alguns materiais, conhecidos como LHM (Left-Handed Materials) apresentam, simultaneamente, permissividade efetiva ( $\epsilon_{\text{eff}}$ ) e permeabilidade efetiva ( $\mu_{\text{eff}}$ ) com valores negativos, além de possuírem índice de refração ( $n$ ) negativo, no qual resulta na inversão dos fenômenos eletromagnéticos (VESELAGO et al., 1968; SOUSA NETO et al., 2011).

Estes materiais são chamados de metamateriais, onde o prefixo meta refere-se à natureza distinta de suas características eletromagnéticas (SCIENCE,2006; ITOH, 2006). Por causa dessas características excêntricas, os metamateriais estão sendo aplicados em sistemas eletromagnéticos e ópticos. As propriedades desses meios artificiais vão além de sua funcionalidade, uma vez que é permitida a combinação de sinais entre os parâmetros de permissividade e permeabilidade. Esses parâmetros são relacionados ao índice de refração  $n$  dado por (VESELAGO,1968; ITOH, 2006) :

$$n = \pm \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \quad (1)$$

Em que  $\mu_r$  é a permeabilidade relativa e  $\epsilon_r$  é a permissividade relativas relacionadas à permeabilidade no espaço livre dadas por:  $\mu_0 = \mu/\mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$  e a permissividade no espaço livre dadas por:  $\epsilon_0 = \epsilon/\epsilon_r = 8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$ . As combinações de sinais para  $\epsilon$  e  $\mu$  são quatro (+,+), (+,-), (-,+), e (-,-) (VESELAGO et al., 1968; SMITH et al., 2000; SOUSA NETO et al., 2011).

## 2 | ANTENA DESIGN

Uma antena de microfita foi simulada com substrato metamaterial para a frequência de 2,5 GHz sobre um substrato RO3006 da Rogers Corporation, com

constante dielétrica de 6,15 e espessura  $p = 6$  mm.

A Figura 1 mostra a geometria do patch, o anel partido e a espira quadrada, com as seguintes dimensões:  $r = 2,7$  mm,  $s = 0,4$  mm,  $g = 0,5$ ,  $l = 5$  mm e  $t = 1$  mm. Os modelos tratam-se de ressoadores RLC com frequência ressonante  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ .

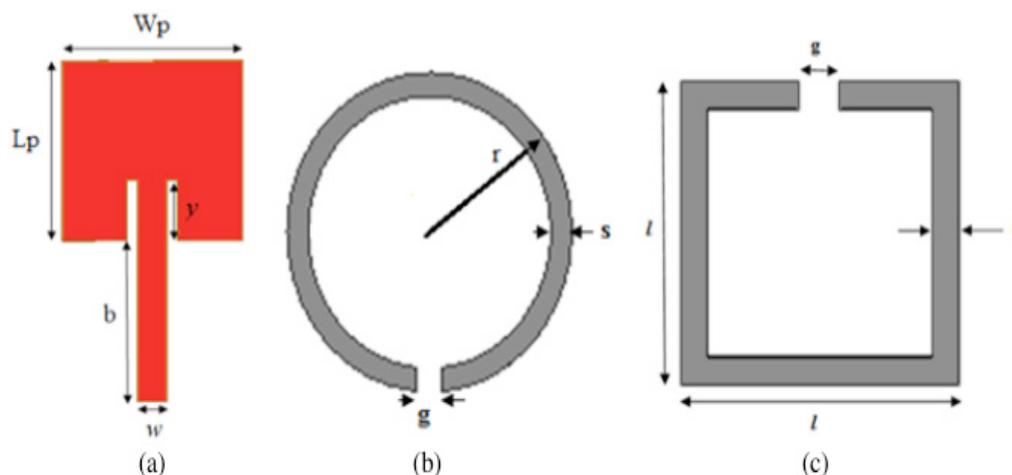


Figura 1. Geometria. a) Patch, b) SRR único e c) Espira quadrada.

Fonte: Elaborado pelo autor

Para efeito de comparação foi simulada uma antena retangular padrão para a frequência de 2,5 GHz utilizando o mesmo substrato RO3006.

A Tabela 1 mostra a comparação entre as dimensões da antena padrão e a antena com substrato metamaterial.

Dimensão (mm)	Antena Padrão	Antena com Metamaterial
W	56,7	12,56
L	75,05	18
p	1,52	6
Wp	31,73	9
Lp	23,95	9
b	23,76	8
w	2,23	1,5
y	8,24	3

Tabela 1 - Comparativo entre as dimensões da antena padrão e a antena com metamaterial.

Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se que a antena com metamaterial possui dimensões reduzidas quando comparadas com a antena padrão. Apesar da antena com metamaterial ser mais espessa houve uma redução de 94 % da área do patch e redução no volume de 79%, quando comparadas a antena padrão para 2,5 GHz, utilizando um substrato RO3006 com constante dielétrica de 6,15 e espessura 1,52 mm. São analisadas quatro

antenas, sendo três antenas com metamaterial e uma sem metamaterial (padrão) para a frequência de 2,5 GHz. A primeira, a antena 1, possui 14 espiras quadradas e a segunda, a antena 2, apresenta 27 espiras quadradas e a terceira, antena 3, com 27 anéis partidos, e a quarta é uma antena padrão para a frequência de 2,5 GHz, conforme mostra a Figura 2.

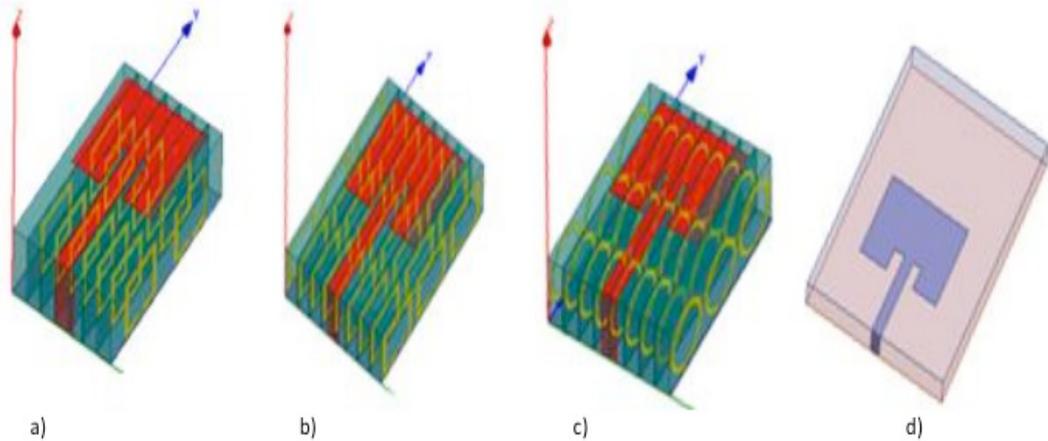


Figura 2. Antenas de microfita com substrato metamaterial. a) Antena 1 e b) Antena 2, c) Antena 3 e d) Antena padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 3 mostra o diagrama de radiação 2D das antenas 1 e a Padrão em 2,5 GHz.

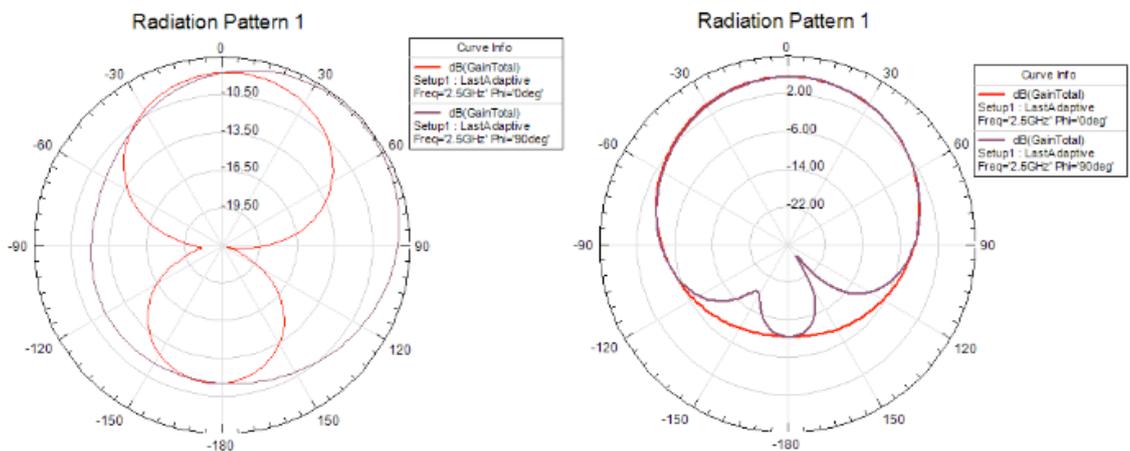


Figura 3. Diagrama de radiação (2D) da Antena 1 e da Antena Padrão em 2,5 GHz.

Fonte: Elaborado pelo autor

A comparação da perda de retorno em função da frequência para as quatro antenas é mostrada na Figura 4.

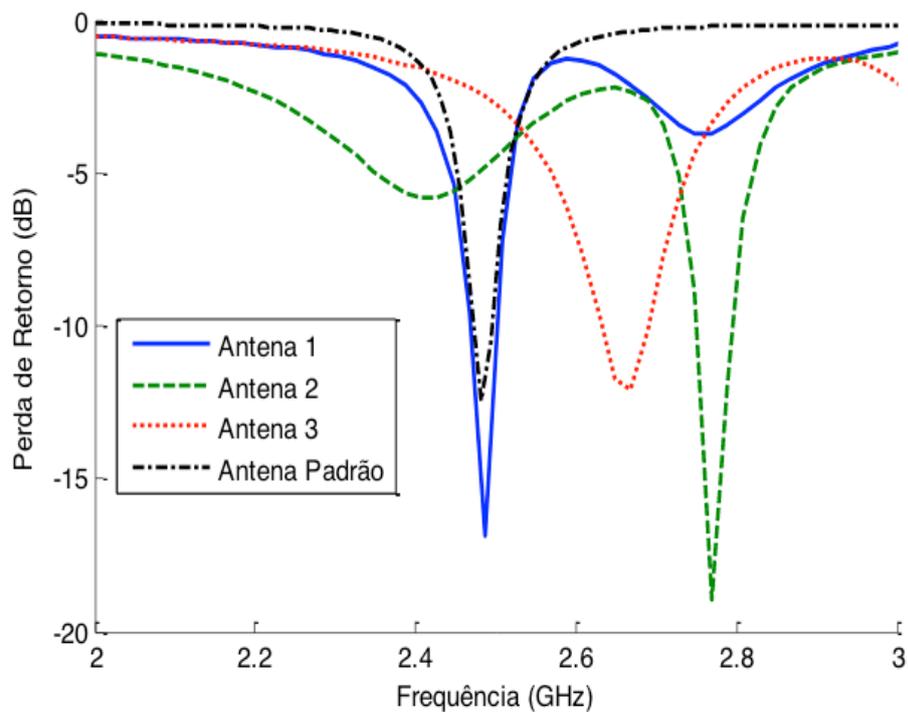


Figura 4. Comparação da perda de retorno entre a Antena 1, Antena 2, Antena 3 e Antena padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 2 mostra um comparativo entre as antenas.

Antena	Frequência de Ressonância (GHz)	Perda de Retorno (dB)	Largura de Banda ( $S_{11} < -10$ dB) (MHz)
Antena 1	2,487	-16,89	40 (2,46 a 2,50 GHz)
Antena 2	2,769	-18,98	40 (2,75 a 2,79 GHz)
Antena 3	2,668	-12,11	60 (2,62 a 2,68 GHz)
Antena Padrão	2,48	-12,49	20 (2,47 a 2,49 GHz)

Tabela 2 - Comparativo de frequência de ressonância, perda de retorno e largura de banda entre as antenas metamateriais.

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com a Figura 4, a antena 1 apresenta uma frequência de ressonância muito próxima da frequência de interesse (2,5GHz) . Para antena 2, com o aumento da quantidade de espiras quadradas há um deslocamento da frequência de ressonância, porém um melhor casamento de impedância. Com a antena 3, observa-se um deslocamento de frequência e um aumento de largura de banda. A antena padrão apresentou uma largura de banda menor que a antena 1 e uma perda de retorno de -12,49 dB, enquanto que a antena 1 apresentou uma perda de retorno de -16,89 dB.

### 3 | CONCLUSÕES

Foram feitas simulações com três antenas utilizando substrato metamaterial para a frequência de 2,5 GHz, sendo que a primeira possui 14 espiras quadradas no substrato, a segunda 27 espiras quadradas e a terceira 27 anéis partidos. A partir da curva de perda de retorno percebe-se um deslocamento da frequência a partir do momento que aumenta a quantidade espiras quadrada e ocorre um aumento de largura de banda para as estruturas em anéis. Embora a antena com metamaterial seja mais espessa, houve uma redução de 94 % da área do patch e redução no volume de 79%, quando comparadas a antena padrão para 2,5 GHz, utilizando um substrato RO3006 com constante dielétrica de 6,15 e espessura 1,52 mm.

### REFERÊNCIAS

ITO, T.; CALOZ, C. **Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications**. New Jersey, USA, John Wiley & Sons, Inc., 2006.

SCIENCE **Breakthrough the year: The runners-up**. Science, v. 314, no. 5807, pp. 1850-1855, 2006.

SMITH, D. R.; PADILHA, W. J.; VIER, D. C.; NEMAT-NASSER, S. C.; SCHULTZ, S. **Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity**. Phys. Rev. Lett., vol. 84, no. 18, pp. 4184-4187, 1 Maio, 2000.

SOUSA NETO, M. P.; FERNANDES, H. C. C. **Full-Wave Analysis of Rectangular Microstrip Antenna on Metamaterial**. In: INTERNATIONAL MICROWAVE AND OPTOELECTRONICS CONFERENCE Proceedings... IMOC 2011, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, 2011.

VESELAGO, V. G. **The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of “ $\epsilon$ ” and “ $\mu$ ”**, Soviet Physucs Uspekhi. v. 10, no. 4, p. 509-514, 1968.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Henrique Ajuz Holzmann** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-449-8



9 788572 474498