

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^a Dr^a 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^a Dr^a 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^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a 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^a Dr^a 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.^a Dr.^a 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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
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
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
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

CAPÍTULO 1	1
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	
DOI 10.22533/at.ed.4981908071	
CAPÍTULO 2	7
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	
DOI 10.22533/at.ed.4981908072	
CAPÍTULO 3	14
COMPORTAMENTO DE MODELOS DE DIFRAÇÃO SOBRE MÚLTIPLOS GUMES DE FACA EM VHF E UHF	
Lorenço Santos Vasconcelos Gilberto Arantes Carrijo	
DOI 10.22533/at.ed.4981908073	
CAPÍTULO 4	27
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	
DOI 10.22533/at.ed.4981908074	
CAPÍTULO 5	36
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	
DOI 10.22533/at.ed.4981908075	

CAPÍTULO 6	48
FINDING REPEATER PLACEMENT FOR P2P WIRELESS LINKS WITH NLOS IN EXTREMELY MOUNTAINOUS REGIONS	
Alvaro Javier Ortega	
DOI 10.22533/at.ed.4981908076	
CAPÍTULO 7	60
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	
DOI 10.22533/at.ed.4981908077	
CAPÍTULO 8	73
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	
DOI 10.22533/at.ed.4981908078	
CAPÍTULO 9	85
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	
DOI 10.22533/at.ed.4981908079	
CAPÍTULO 10	101
SISTEMA DISTRIBUÍDO PARA DETECÇÃO DE AMEAÇAS EM REDES UTILIZANDO <i>DEEP LEARNING</i>	
Fábio César Schuartz	
Mauro Sérgio Pereira Fonseca	
Anelise Munaretto	
DOI 10.22533/at.ed.49819080710	
CAPÍTULO 11	113
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	
DOI 10.22533/at.ed.49819080711	

CAPÍTULO 12	125
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	
DOI 10.22533/at.ed.49819080712	
CAPÍTULO 13	135
REPRESENTAÇÃO ESPARSA UTILIZANDO WAVELETS E VARIAÇÃO TOTAL APLICADOS AO PROCESSAMENTO DE SINAIS DE DESCARGAS PARCIAIS	
Paulo Vitor do Carmo Batista	
Hilton de Oliveira Mota	
DOI 10.22533/at.ed.49819080713	
CAPÍTULO 14	152
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	
DOI 10.22533/at.ed.49819080714	
CAPÍTULO 15	167
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	
DOI 10.22533/at.ed.49819080715	
CAPÍTULO 16	179
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	
DOI 10.22533/at.ed.49819080716	
CAPÍTULO 17	194
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	
DOI 10.22533/at.ed.49819080717	
SOBRE O ORGANIZADOR	207

PROJETO E ANÁLISE DE UM ARRANJO LINEAR DE ANTENAS UTILIZANDO A CURVA FRACTAL DE KOCH

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

Universidade Estadual da Paraíba
Departamento de Computação
João Pessoa - PB

Pedro Carlos de Assis Júnior

Universidade Estadual da Paraíba
Departamento de Física
Patos - PB

Marcelo da Silva Vieira

Universidade Estadual da Paraíba
Departamento de Física
Patos - PB

Rodrigo César Fonseca da Silva

Universidade Estadual da Paraíba
Departamento de Física
Patos - PB

RESUMO: A busca por dispositivos leve, compactos, de baixo custo e sem perda de desempenho vem impulsionando as pesquisas na área de antenas planares, principalmente devido as inúmeras aplicações presentes nos dias de hoje, tais como, internet das coisas e aplicações sem fio de uma maneira geral. A maioria dessas aplicações utilizam altas frequências, principalmente na faixa de 2,44 GHz e 5,80 GHz. Nesse contexto, uma antena é um dispositivo capaz de captar e transmitir ondas eletromagnéticas pelo espaço livre.

A geometria fractal aplicado em projetos de antenas nos permite obter dispositivos com dimensões reduzidas e comportamento multibanda. O projeto do arranjo de antenas proposto foi auxiliado pelo *Ansoft Designer™* que implementa o método dos momentos em uma série de análises numéricas. Posteriormente a fase inicial de projeto e simulação, o arranjo de antenas fractal foi construído e alimentado pela técnica de linha transmissão em microfita (TLM). Em um segundo momento, o arranjo proposto teve seus parâmetros de espalhamento (perda de retorno e coeficiente de onda estacionária) medidos com um analisador de redes vetorial modelo N5230A. Uma discussão a respeito dos resultados simulados e medidos foram apresentados e discutidos, apresentando uma boa concordância entre eles visando aplicações na faixa de frequência das micro-ondas, mais precisamente na banda de frequência ISM (*Industrial Scientific and Medical*).

PALAVRAS-CHAVE: Arranjo de Antenas, Fractal de Koch, Miniaturização, Micro-ondas.

ABSTRACT: The search for devices lightweight, compact, low-cost, performance-lossless has been boosting research in the area of planar antennas, mainly due to the numerous applications present today, such as internet of things and wireless applications in a way general. Most of these applications use high

frequencies, mainly in the range of 2.44 GHz and 5.80 GHz. In this context, an antenna is a device capable of capturing and transmitting electromagnetic waves through the free space. The fractal geometry applied in antenna designs allows us to obtain devices with reduced dimensions and multiband behavior. The proposed antenna array design was aided by Ansoft Designer™ that implements the moments method in a series of numerical analyzes. After the initial phase of design and simulation, the array of fractal antennas was constructed and fed by the technique of transmission line in microstrip (TLM). In a second moment, the proposed array had its scattering parameters (return loss and voltage standing wave ratio) measured with a vector network analyzer model N5230A. A discussion about the simulated and measured results was presented and discussed, showing good agreement among them for applications in the microwave frequency range, more precisely in the ISM (Industrial Scientific and Medical) frequency band.

KEYWORDS: Antenna array, Koch fractal, Miniaturization, Microwave.

1 | INTRODUÇÃO

Uma antena sempre foi um requisito primordial em todos os tipos de sistema de comunicação, seja na transmissão ou recepção dos sinais elétricos (BALANIS, 1997). Com o advento das tecnologias nos diversos serviços e setores de telecomunicações e seu crescimento considerável nas últimas duas décadas, principalmente no uso das tecnologias de comunicação sem fio, exemplo das tecnologias de terceira (3G), quarta (4G) e mais recentemente quinta geração, o chamado 5G (ainda em fase experimental na maior parte do mundo), passou-se a investir cada vez mais em dispositivos compactos, leves, com um custo acessível e sem perda de desempenho. Nesse contexto, as antenas planares surge como uma solução interessante para aplicações em altas frequências, em virtude de suas características atrativas, requisitos fundamentais aos dispositivos modernos. A utilização da geometria fractal aliado a projetos de antenas vem suprir parte dos requisitos primordiais nos sistemas de comunicação sem fio moderno, em virtude de sua geometria proporcionar um comportamento multibanda para a antena, além de ser possível reduzir as dimensões da antena em virtude do aumento de seu comprimento elétrico proporcionado pela utilização de um fractal em seu projeto (MANDELBROT, 1983). Normalmente, antenas planares como é o caso de uma antena de microfita, apresenta baixo valor de diretividade para uma comunicação a longas distâncias. Diante desse fato, a junção de dois ou mais elementos irradiantes (patches), formando uma grande rede de alimentação denominada arranjos de antenas, surge como uma solução plausível e eficiente em projeto de antenas, com o intuito de maximizar as características de radiação do disposto proposto (ALAM, et al., 2009).

A seção II descreve o processo de geração da curva fractal de Koch de nível 2. Na seção III é descrito o projeto do arranjo proposto. Os resultados simulados e experimentais são apresentados na Seção IV. A seção V apresenta as conclusões desse artigo.

2 | GEOMETRIA FRACTAL – GERAÇÃO DA CURVA DE KOCH

A geometria fractal remete a uma figura, estrutura ou mesmo uma forma irregular, capaz de ser subdividida indefinidamente, na qual uma parte dessa subdivisão é uma réplica idêntica ao todo (MANDELBROT, 1983). O termo e por consequência a geometria fractal foi inicialmente proposta pelo matemático e pesquisador Benoit Mandelbrot na década de 1970, onde sua principal contribuição foi o estudo e descrição de um vasto grupo de formas complexas que possuem auto similaridade em sua estrutura geométrica, e cujas dimensões são fracionárias (MANDELBROT, 1983). Os percussores no estudo e implementação da geometria fractal em projeto de antenas foram Puente (1998) e Cohen (1997). A principal motivação para a implementação dessa geometria em projeto de dispositivos de micro-ondas se dá por duas características intrínsecas dessa geometria, são elas: i) a propriedade de auto similaridade, o qual é responsável pelo comportamento multibanda da antena, e ii) a propriedade de preenchimento do espaço, o qual é responsável pelo aumento do comprimento elétrico da antena e por consequência, consegue-se uma redução considerável nas dimensões do dispositivo.

Aliado a isso, diferentes curvas fractais podem ser obtidas por diferentes técnicas, dentre as quais se destaca o método IFS (*Iterative Function System*) para geração de curvas fractais. Nesse artigo em especial optamos por utiliza essa técnica por motivos de simplicidade na geração das curvas. A transformação usada, $q_i: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$, para a obtenção da curva de Koch de nível 2 por meio do método IFS é dada pela Equação (1), (MANDELBROT, 1991). A Figura 1 ilustra os passos envolvidos no processo de construção da curva fractal de Koch de nível 2 a partir dos lados de um quadrado (forma inicial da curva).

$$q_i(x, y) = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} \cos\theta_i & -\text{sen}\theta_i \\ \text{sen}\theta_i & \cos\theta_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_i \\ f_i \end{pmatrix} \quad (1)$$

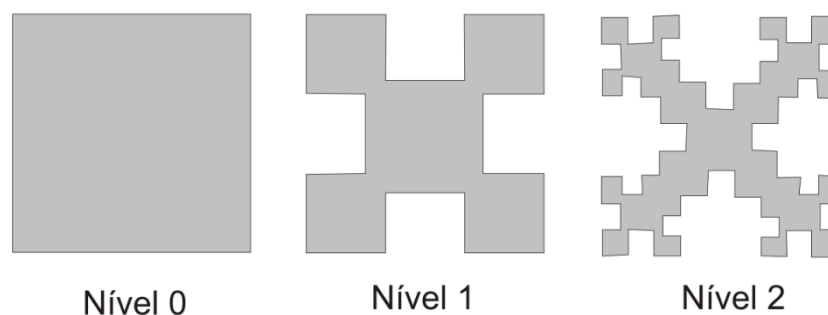


Figura 1 - Diferentes níveis da curva de Koch

3 | ESTRUTURA DO ARRANJO DE ANTENAS DE NÍVEL 2 PROPOSTO

As dimensões do arranjo de antenas proposto foram calculadas por meio de modelos matemáticos aproximados por meio das Equações (2) – (5). Em seguida, estas dimensões iniciais foram otimizadas pelo simulador *Ansoft Designer™* para análise precisa do comportamento eletromagnético das antenas (ANSYS Inc.). A estrutura projetada denominada de AKR2 foi baseada na curva fractal de Koch de nível 2 e foi excitada por linha de microfita, conforme mostra a Figura 2, para uma frequência de ressonância (F_r) em 2,44 GHz, com aplicação direta na banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*).

$$W = \frac{c}{2F_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} \quad (2)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[1 + \frac{12h}{W} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{reff}+0,3)\left(\frac{W}{h}+0,264\right)}{(\epsilon_{reff}-0,258)\left(\frac{W}{h}+0,813\right)} \quad (4)$$

$$L = \frac{c}{2F_r\sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta L \quad (5)$$

Em que, c é a velocidade da luz, W e L são as dimensões do patch irradiante e ΔL é um ajuste para compensar o efeito de borda (ALAM, et al., 2009). O cálculo do *inset-fed* (y_0) foi calculado por meio da Equação (6) (RAMESH, et al. 2003).

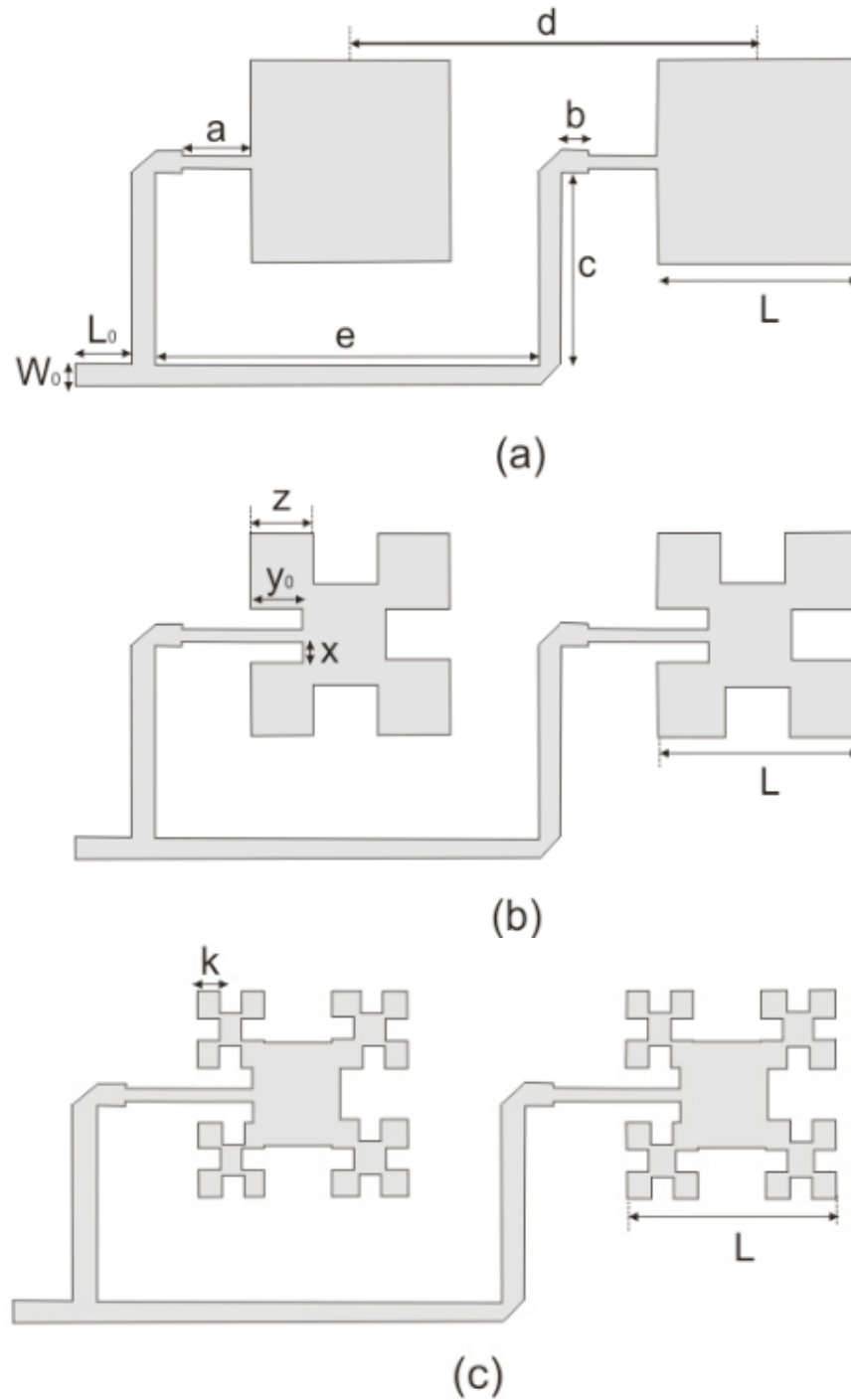


Figura 2 - Arranjos de antenas fractal: a) AKQ0 [8], b) AKQ1 [8] e c) AKR2

$$\frac{y_0}{10^{-4}} = \frac{L}{2} \left(\begin{array}{l} 0,001699\varepsilon_r^7 + 0,13761\varepsilon_r^6 - 6,1783\varepsilon_r^5 + 93,187\varepsilon_r^4 - \\ -682,69\varepsilon_r^3 + 2561,9\varepsilon_r^2 - 4043\varepsilon_r + 6697 \end{array} \right) \quad (6)$$

Uma excitação da antena foi realizada pela técnica de linha de transmissão em microfita, usando um conector SMA de 50Ω [1]. O comprimento da linha de alimentação (L_0) foi considerado $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda na frequência de operação de 2,44 GHz. Um protótipo de arranjo foi construído, simulado e medido (ver Figura 3), onde foi utilizada uma placa de circuito impresso de fibra de vidro (FR4), com as seguintes características: espessura ($h = 1,5 \text{ mm}$), permissividade elétrica ($\varepsilon_r = 4,4$) e tangente

de perda ($\tan\delta = 0,02$).

Para a construção do arranjo de nível 2, partiu-se inicialmente de dois projetos executados anteriormente, onde na ocasião foram projetados dois arranjos de antenas, um de nível 0 e o outro de nível I, denominados respectivamente de AKQ0 e AKQ1, conforme mostrado em (RODRIGUES, et al., 2016). A distância (d) entre os centros dos dois elementos radiantes foi de 59,0 mm o que corresponde a aproximadamente 0,5 do comprimento de onda guiado (λ_g), essa distância mínima entre eles tem por finalidade evitar o acoplamento mútuo (RODRIGUES, et al., 2016). As dimensões do arranjo da figura 3 estão mostradas na Tabela 1.

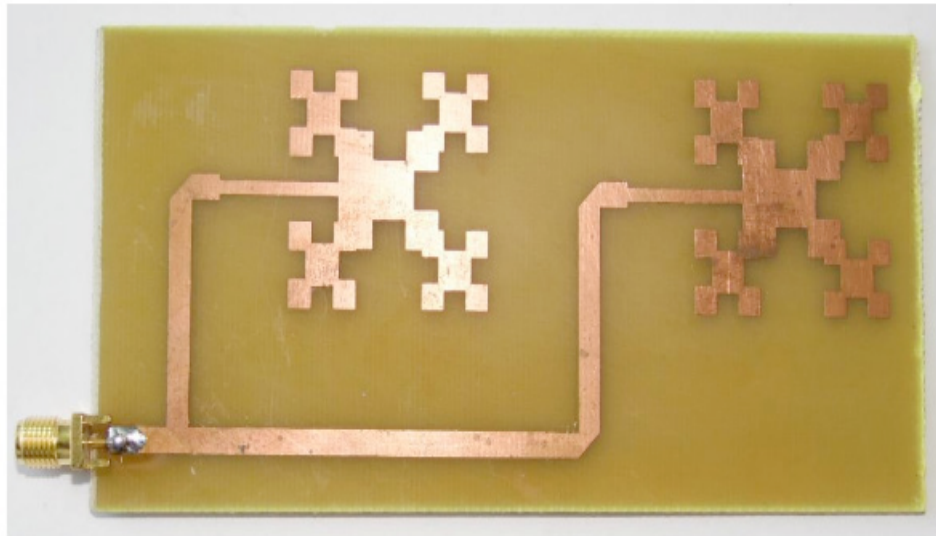


Figura 3 - Arranjos de antenas fractal nível 2 (AKR2) construído

Baseado no projeto inicial do arranjo proposto e por meio do cálculo do fator de compressão (CF), dado na Equação (7), as dimensões do arranjo AKR2 (ver Tabela 1) foram redimensionada com a finalidade de projetar um novo arranjo de antenas patch fractal de nível 2 com dimensões reduzidas, denominado AKR2 miniaturizado (AKR2 mini) para 2,44 GHz, pois com o aumento do comprimento elétrico da estrutura, conseguimos uma redução nas dimensões do arranjo.

Parâmetro	Dimensão (AKR2)	Dimensão (AKR2 mini)
L	28,7 mm	21,1 mm
d	59,0 mm	43,3 mm
L_0	8,37 mm	6,15 mm
W_0	3,12 mm	2,29 mm
e	55,9 mm	41,0 mm
b	4,0 mm	2,94 mm
c	27,1 mm	19,9 mm
a	17,4 mm	12,79 mm
k	3,19 mm	2,34 mm

Tabela 1 - Dimensões do arranjo AKR2 e AKR2 mini propostos

As dimensões desse novo arranjo projetado (AKR2 mini) com dimensões

reduzidas também são mostradas na Tabela 1. Baseado na Equação (7) para o cálculo do fator de compressão, nós conseguimos uma redução do tamanho do arranjo AKR2 mini de 26,5% quando comparado ao arranjo AKRQ0 (RODRIGUES, et al., 2016).

$$CF = \left(\frac{F_r(\text{GHz})}{2,45(\text{GHz})} \right) \times 100\% \quad (7)$$

4 | RESULTADOS SIMULADOS E MEDIDOS PARA O ARRANJO PROPOSTO

Um protótipo de arranjo de antenas de microfita utilizando a geometria fractal foi construído, conforme mostrado anteriormente na Figura 3. Os primeiros resultados obtidos foram simulados no software *Ansoft Designer™* que implementa o método dos momentos (MoM) na análise da estrutura projetada.

Com o intuito de validar o modelo do arranjo proposto, a estrutura foi analisada experimentalmente e teve seus mais diversos parâmetros de espalhamento investigado, dentre eles: a Frequência de ressonância (F_r), perda de retorno (RL), Largura de banda (BW), largura de banda percentual (BW%) e coeficiente de onda estacionária (VSWR), obtidos por meio de ensaios de laboratório no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) por um analisador de redes vetorial modelo N5230A.

A perda de retorno (RL) no terminal de entrada da antena é definida como sendo a relação, em dB, entre as potências incidente e refletida nesse terminal, onde a mesma pode ser expressa em termos do coeficiente de reflexão (S11), conforme Equação (8).

$$RL = -20 \log |S_{11}| \quad (8)$$

A Figura 4 ilustra os resultados obtidos para a perda de retorno simulado e medido para o arranjo AKR2. É possível observar uma boa concordância entre os resultados com baixas perdas de retorno ($RL < -13$ dB), o que caracteriza um bom casamento de impedância para essa estrutura. A estrutura apresentou ainda uma frequência de ressonância medida igual a 1,65 GHz e uma estreita largura de banda igual a 25 MHz.

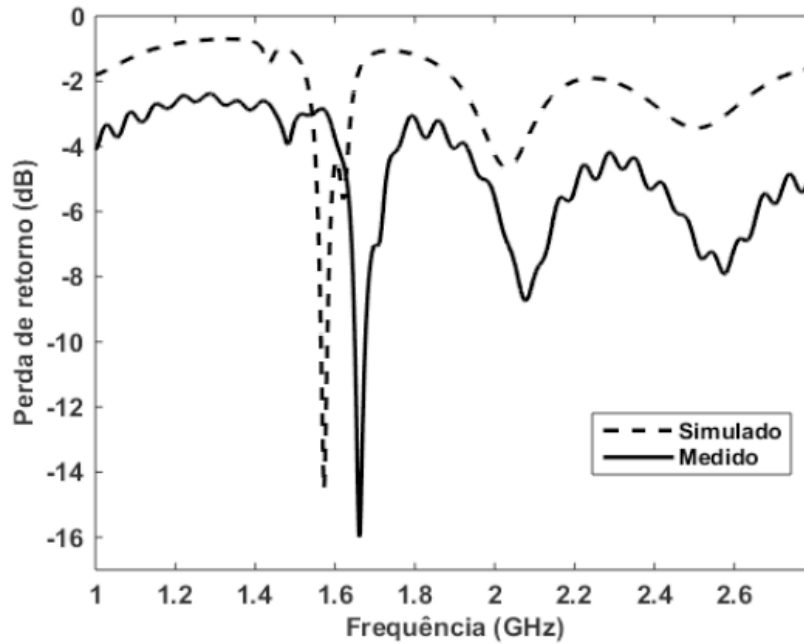


Figura 4 - Resultados de perda de retorno para o arranjo AKR2 proposto

Por sua vez, o coeficiente de onda estacionária é um parâmetro que mede o quanto de energia está voltando na linha de transmissão sob a forma de onda estacionária, e a mesma pode ser dada como sendo a relação entre os coeficientes de reflexão das ondas incidentes e refletidas sobre um terminal, conforme mostra a Equação (9).

$$VSWR = \frac{1+|S_{11}|}{1-|S_{11}|} \quad (9)$$

A Figura 5 ilustra o resultado medido do coeficiente de onda estacionária (VSWR) para o arranjo de antenas AKR2, onde podemos constatar um valor medido de 1,4. Valor este abaixo da condição limite de funcionamento, que corresponde a um VSWR igual a 2.

Uma característica intrínseca da geometria fractal é que a mesma quando aplicada a uma estrutura dessa natureza faz com que ocorra um aumento do comprimento elétrico da estrutura, ocasionado assim uma diminuição na sua frequência inicial de projeto. Dessa forma, se faz necessário reprojeter o arranjo para operar na frequência inicialmente desejada, que é a de 2,45 GHz, para que isso ocorra, foi aplicado um valor percentual de redução, neste caso foi 26,5% em suas dimensões, obtido pelo cálculo do fator de compressão, conforme Equação (7).

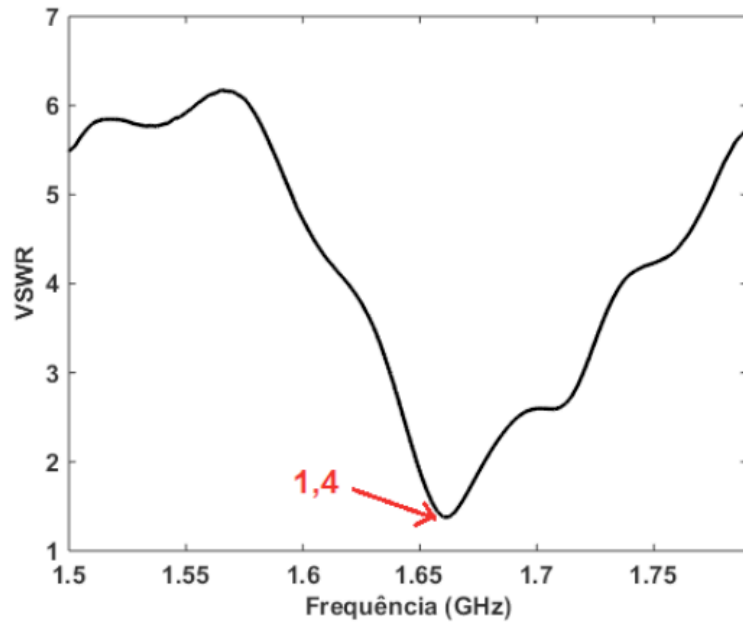


Figura 5 - Resultado experimental do coeficiente de onda estacionária (VSWR) para o arranjo de antenas AKR2

A Figura 6 seguinte ilustra o resultado de perda de retorno para o arranjo reprojeto para a frequência de projeto que é de 2,44 GHz. Uma boa concordância entre os resultados simulado e medido foi alcançada, onde o novo arranjo reprojeto apresentou uma frequência de ressonância medida de 2,45 GHz. Esse arranjo ainda apresentou uma baixa perda de retorno ($RL < -25$ dB) caracterizando um bom casamento de impedância para estrutura, além de apresentar uma largura de banda (BW) de 80 MHz, superior ao primeiro arranjo com 100% de suas dimensões físicas.

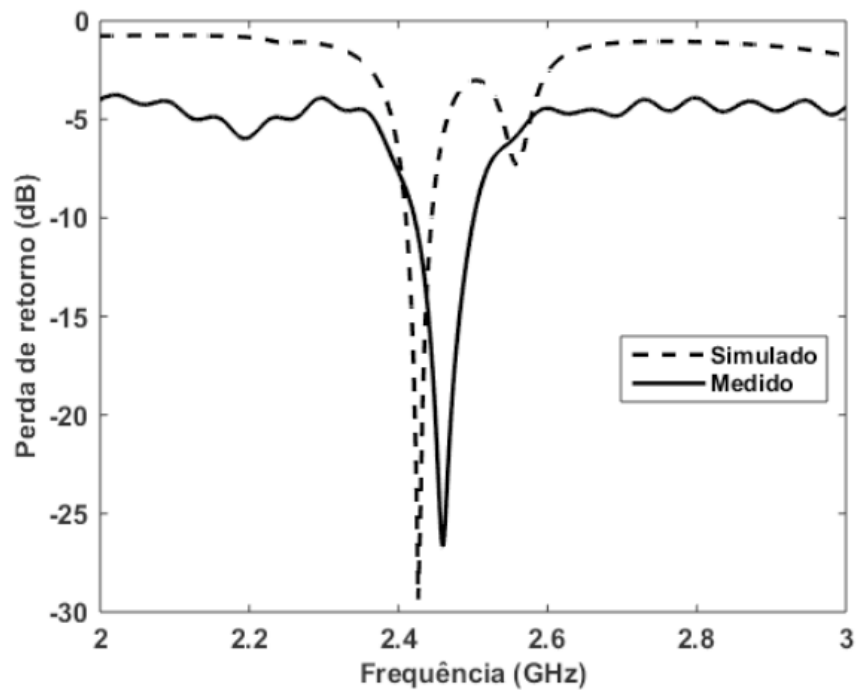


Figura 6 - Resultado de perda de retorno para o arranjo AKR2 mini

O resultado medido da impedância de entrada para o arranjo AKR2 mini é mostrado na Figura 7, onde o valor obtido foi de $43,58 \Omega$. Por sua vez, o resultado medido do coeficiente de onda estacionária para o arranjo miniaturizado AKR2 mini foi 1,1 e pode ser visto na Figura 8.

A Figura 9 ilustra um comparativo dos diagramas de radiação 2D, no Plano H, para os arranjos de antenas AKR2 e AKR2 mini, propostos neste artigo quando comparado ao arranjo AKQ0 convencional (RODRIGUES, et al. 2016).

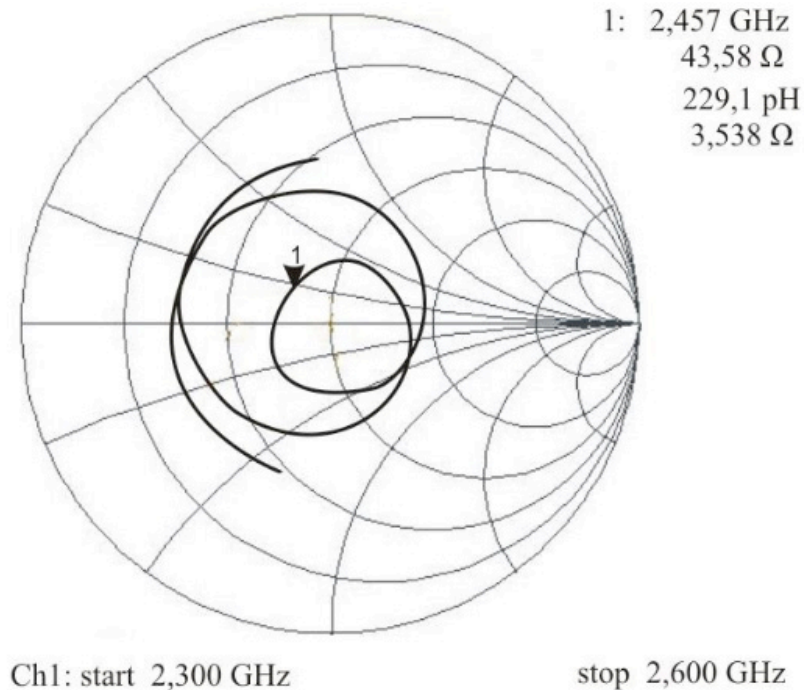


Figura 7 - Impedância de entrada medida na carta de Smith para o arranjo AKR2 mini, na frequência de 2,45 GHz

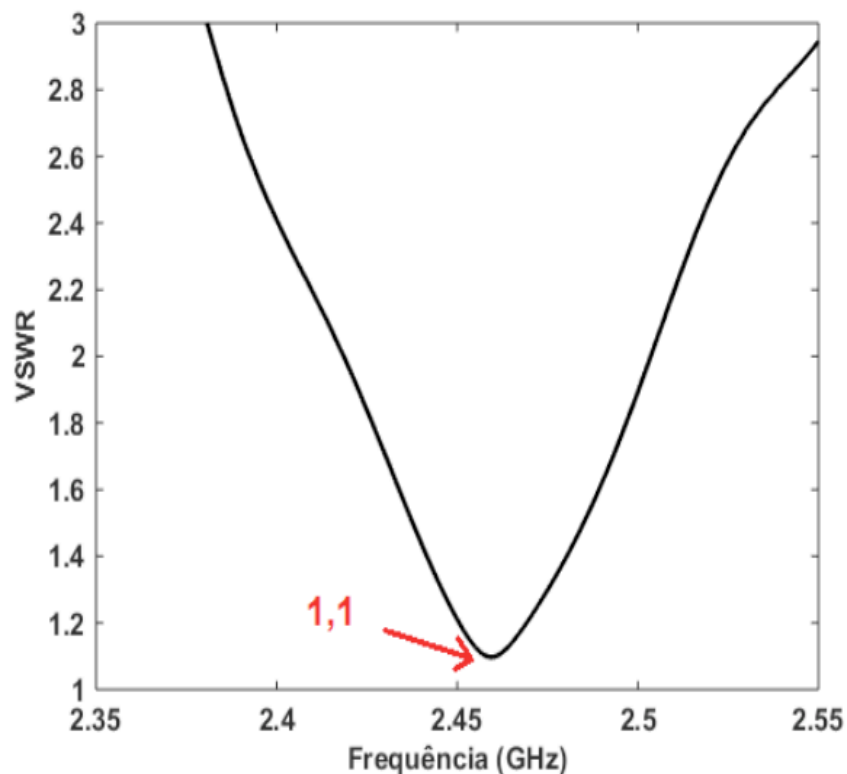


Figura 8 - Resultado de VSWR para o arranjo miniaturizado

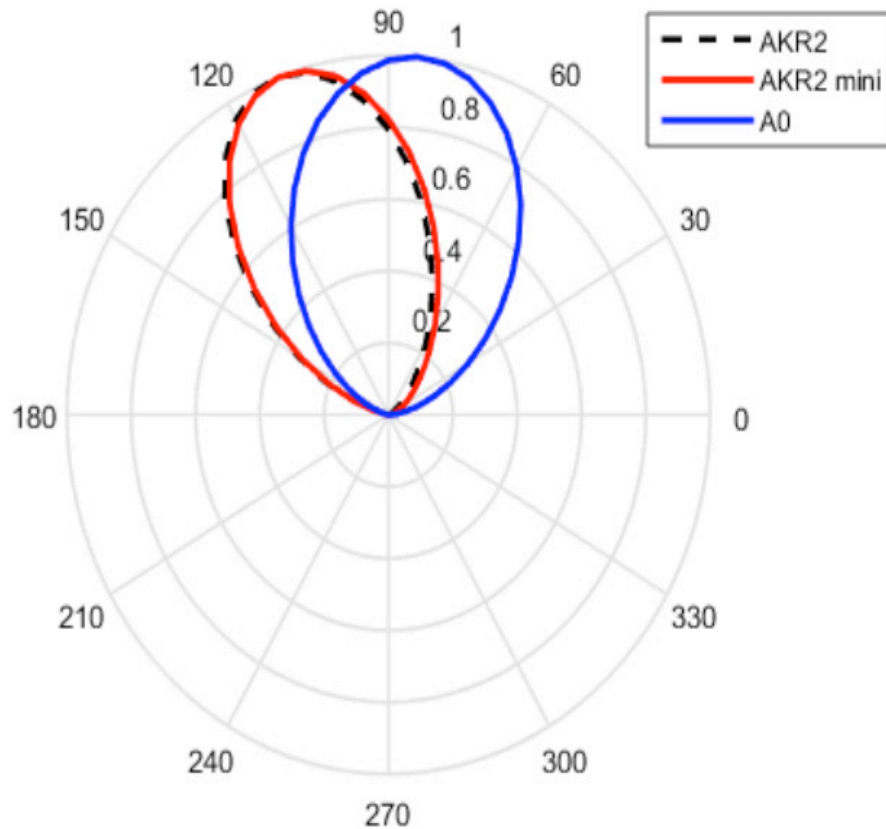


Figura 9 - Resultado simulado dos diagramas de radiação 2D (Plano H) para o arranjo de antenas AKR2, AKR2 mini e AKQ0 (RODRIGUES, et al., 2016)

Desse resultado podemos observar que não houve deformações nos diagramas, onde todos se mostraram bastante diretivos, apenas os diagramas dos arranjos fractais AKR2 e AKR2 mini se mostraram bem semelhantes e com um leve deslocamento para a direita em relação ao diagrama do arranjo AKQ0. Todos os resultados se encontram resumidos na Tabela 2.

Parâmetro	Arranjo AKR2		Arranjo AKR2 mini	
	Simulado	Medido	Simulado	Medido
F_r	1,57 GHz	1,65 GHz	2,44 GHz	2,46 GHz
BW	15 MHz	25 MHz	60 MHz	80 MHz
BW%	0,95%	1,51%	1,43%	3,25%
VSWR	—	1,4	—	1,1
RL (dB)	-14,5	-16,0	-29,5	-26,5

Tabela 2 - Resultados dos arranjos AKR2 e AKR2 mini propostos

5 | CONCLUSÃO

Nesse artigo foi proposto um arranjo de antenas de microfita utilizando a curva fractal de Koch de nível 2, onde o arranjo foi projetado para operar na banda de 2,44 GHz (banda ISM, que corresponde ao intervalo compreendido entre 2,40 – 2,483 GHz). O arranjo proposto apresentou uma redução de 26,5% em relação a um arranjo

retangular com elementos convencionais (AKQ0) propostos em (RODRIGUES, et al., 2016). A estrutura apresentou boas características de radiação na frequência de 2,44 GHz, com baixas perdas de retorno.

Uma boa concordância entre os resultados simulados e medidos foi verificada, validando assim o projeto. O erro estimado entre os resultados simulados e medido para o arranjo ARK2 mini foi de 0,8% e para o arranjo AKR2 foi de 5%, o que pode ser considerável tolerável, devido às limitações no processo de construção dos mesmos, bem com as condições não ideais do setup de medição utilizado.

Um ponto negativo do projeto foi à estreita largura de banda para os arranjos, os quais os autores pretendem contornar em futuros trabalhos nessa linha de pesquisa. Como trabalho futuro, pretende-se investigar e construir novos dispositivos utilizando outras curvas fractais e comparar seus resultados com outros artigos relacionados, verificando sua contribuição em termos de eficiência e capacidade de redução de suas dimensões, além de melhoramento em sua largura de banda. Dessa forma, pretende-se investigar o comportamento desse arranjo, verificando a sua viabilidade e/ou aplicabilidade em sistemas de comunicação sem fio, potencializando assim suas características de radiação, que exijam baixo perfil e sem perda de desempenho.

REFERÊNCIAS

ALAM, M. M.; RAHMAN, Md. M.; GONI, Md. O. **Design and Performance Analysis of Microstrip Array Antenna**, Progress, Electromagnetics Research Symposium Proceedings, pp. 1837-1842, 2009.

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

BALANIS, Constantine. **Antenna theory-analysis and design**, ed. 2, John Wiley & Sons, 1997.

COHEN, N. **Fractal antenna applications in wireless telecommunications**, Proceedings of Electronics Industries Forum of New England, pp. 43-49, 1997.

MANDELBROT, Benoit. *The Fractal Geometry of Nature*, New York: W. H. Freeman, 1983.

MANDELBROT, Benoit. **Objectos Fractais: forma, acaso e dimensão**, Gradiva Publicações, Lisboa, 1991.

PUENTE, C.; ROMEU, J.; POUS, R; CARDAMA, A. **On the Behavior of the Sierpinski Multiband Fractal Antenna**, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 46, pp. 517-524, 1998.

RAMESH, M.; KB, Y. **Design Formula for inset fed Microstrip Patch Antenna**, Journal of Microwaves and Optoelectronics, vol. 3, pp. 5-10, 2003.

RODRIGUES, R. R. M. OLIVEIRA, E. E. C.; OLIVEIRA, M. A.; SILVA, P. H. F.; SILVA, R. C. F. **Projeto e Análise de um Arranjo Pré-Fractal de Antenas Tipo Patch em Microfita**, 17º SBMO - Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e 12º CBMag - Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, Porto Alegre, 2016.

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