

# PROJETO DE UM FILTRO DE MICROFITA COM DEFORMAÇÃO CIRCULAR

Rodrigo César Fonseca da Silva<sup>1</sup>  
Pedro Carlos de Assis Júnior<sup>2</sup>  
Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira<sup>3</sup>  
Raimundo Albenes Pereira de Oliveira<sup>4</sup>  
Tales Augusto Carvalho de Barros<sup>5</sup>

## RESUMO

A proposta deste artigo é apresentar os resultados numéricos e experimentais completos do projeto de um filtro de microfita com substrato retangular e sem deformações no plano terra. O *design* superior apresenta deformações circulares. Neste estudo, foi realizada uma varredura com as frequências variando de 0,0 GHz a 13,0 GHz, com o intuito de obter como resultado as bandas de frequências permitidas e proibidas, através da observação do coeficiente de transmissão (parâmetro  $S_{12}$ ). O filtro idealizado para este trabalho foi excitado pela técnica de linha de microfita e posteriormente analisado no simulador de onda completa *Ansoft Design<sup>TM</sup>*. O comportamento em frequência foi estudado com algumas simulações computacionais, o que viabilizou uma futura validação dos resultados por meio de protótipos construídos. Os resultados simulados são comparados aos medidos no analisador de rede vetorial. Apresentamos as devidas discussões a respeito das bandas de frequências permitidas e proibidas.

Palavras-chave: Filtro de Microfita. Deformações Circulares. Bandas de Frequência.

---

<sup>1, 2</sup> Doutor em Física. Atualmente é professor adjunto da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Elétrica. Atualmente é professor adjunto da Universidade Estadual da Paraíba.

<sup>4</sup> Mestrando em Ensino de Física pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

<sup>5</sup> Graduando em Física pela Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

# 1 INTRODUÇÃO

É bem sabido que os filtros de microfita modernos apresentam uma característica fundamental para o desenvolvimento tecnológico, e isto está intimamente relacionado ao seu espectro eletromagnético. Além disso, os filtros se caracterizam por vários fatores bastante favoráveis para pesquisa, o que demonstra o grande potencial desta tecnologia. Podemos citar: o baixo custo do material, dimensões e peso reduzidos, facilidade de fabricação (BALANIS, 1997). É notável a parcela referente à comunicação sem fio nos setores da telecomunicação como, por exemplo, o WiFi. Tecnologia desde 3G a 5G expandem-se em larga escala pelo mundo buscando soluções e melhorando serviços que abrangem desde os setores comerciais, aparelhos domésticos e também a área militar. Nesse sentido, os filtros podem ser utilizados em sistemas de transmissão de dados que estão em crescente avanço em todo planeta.

Microfita é a denominação dada a uma estrutura composta por uma cavidade preenchida por um dielétrico, limitada por um plano terra e uma fita metálica. A distância relativa entre as microfita tem como objetivo atenuar determinadas frequências do espectro do sinal de entrada ao mesmo tempo em que permite a passagem de outras, pois, em muitos casos, apenas uma determinada faixa de frequências é de real interesse. Assim, foram criados os filtros de altas frequências, que são dispositivos passivos, que têm como finalidade eliminar, separar ou selecionar sinais com bandas de frequências diferentes. Assim, os filtros de microfita desempenham um papel importantíssimo nos dispositivos de rede sem fio e telefonia celular, que tem estimulado, cada vez mais, a busca de processos de miniaturização desses dispositivos de modo geral (SHARMA, 2007).

Nesse âmbito, as linhas de microfita que apresentam estruturas periódicas, aberturas, fendas ou defeitos no plano terra, têm despertado bastante interesse dos pesquisadores devido as suas propriedades. Diversas estruturas com aberturas no plano terra foram estudadas, tais como: *photonic band gap* (PBG), *ground plane aperture* (GPA) e *defected ground structure* (DGS), partem do princípio que os filtros de microfita estão associados aos casamentos de impedância e das novas técnicas desenvolvidas que permitem o estudo das modelagens de projetos por meio de novos arranjos e geometrias, delimitando a frequência central e sua largura de banda. Ampliou-se, em todo o mundo, a busca e análise de comportamentos diversos dos filtros, agindo sejam como elementos passivos ou como linhas de transmissão. Dentro desse tema, é possível citar: filtros planares, como resposta de banda passante dupla que utiliza ressoadores com

impedâncias degrau (SIR – *Stepped Impedance Resonator*); multicamadas de filtros de microfita, com linhas acopladas; estudos de filtros de microfita com linhas acopladas paralelas em banda lagar; projeto de filtro de microfita tríplex, com forte carga de acoplamento; filtro de microfita baseado num ressoador indutivo de  $\frac{1}{4}$  do comprimento de onda (PARK, 1999).

Este artigo visa à realização de uma discussão em cima dos resultados numéricos obtidos a partir de um filtro de microfita retangular projetado com deformação circular, que apresenta uma superfície seletiva em frequência e ausência de deformações do tipo DGS (*defect ground structure*) no plano terra, com o objetivo de impulsionar novas pesquisas e estudos na grande área do eletromagnetismo aplicado. Não nos concentraremos nos resultados que estão relacionados com a radiação do sinal transmitido, que não possui a característica de seleção de frequências, por se tratar de um parâmetro de comparação entre modelos de filtros e não influir de forma significativa na modelagem em geral.

Na próxima seção, será abordado o desenvolvimento teórico a respeito dos filtros em geral e as deformações DGS. Em seguida, apresentaremos a simulação do filtro no simulador de onda completa, *Ansoft Design<sup>TM</sup>*, na análise precisa do comportamento eletromagnético do dispositivo simulado por meio do método dos momentos (MOM). Finalizamos o trabalho com uma comparação entre os resultados teóricos dos dois modelos simulados e as conclusões desse artigo.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: PROJETO DO FILTRO**

Em linhas gerais, os filtros podem ser definidos como uma rede de duas portas com elementos de armazenamento de energia tais como indutores, capacitores e linhas de transmissão (PARK, 1999). Estes dispositivos transmitem sinais requeridos na banda de passagem e rejeitam ou atenuam na banda de rejeição (AHN, 2001). Estas características podem ser obtidas por meio de diferentes combinações de capacitores e indutores. Os blocos de capacitores DC bloqueiam baixas frequências, enquanto permite a passagem de frequências mais altas. Por outro lado, indutores basicamente desempenham um papel oposto ao do capacitor, bloqueando as frequências mais altas e possibilitando que baixas frequências passem por eles.

As funções de transferência  $T(s)$ , do ponto de vista prático, são utilizadas na análise de sistemas, tais como filtros com entrada e saída únicas, geralmente nas áreas de comunicação, processamento de sinais e controle. Essas funções se referem a

sistemas lineares, invariantes no tempo (LTI). Sabe-se que sistemas reais, geralmente, são não lineares, mas muitos, quando operam dentro dos parâmetros nominais têm um comportamento suficientemente linear para que a teoria LTI seja uma representação aceitável do comportamento do dispositivo. Para um sinal de entrada contínuo no tempo,  $x(t)$ , e um sinal de saída também contínuo no tempo,  $y(t)$ , a função de transferência é um mapeamento linear da Transformada de Laplace de entrada,  $X(s) = L\{x(t)\}$ , na Transformada de Laplace de saída,  $Y(s) = L\{y(t)\}$ , tal que:  $Y(s)=T(s)X(s)$ . Essas operações ocorrem em um bloco fechado conforme a representação gráfica mostrada na Figura 1.



Figura 1 - Esquema Básico de um filtro seletivo em frequência.

Em que,  $s$  é uma variável complexa. Com todas estas especificações, os filtros têm muitas exigências rigorosas para atender e cumprir os requisitos de sua implementação, tais como: seletividade de frequência, tamanho, peso, confiabilidade e desempenho em vários ambientes (PARR, 1993).

Estruturas eletromagnéticas com lacunas na banda de condução (*Gap Band*), tais como estruturas com gap fotônico (PBG), são estruturas periódicas que possuem defeitos no plano terra. As PBGs foram inicialmente pesquisadas nas frequências ópticas e pode ser aplicada a vasta gama de frequências como lasers, antenas e outros dispositivos. Apesar disso, as PBGs são de difícil utilização em componentes de micro-ondas e ondas milimétricas. Isso se deve, principalmente, às dificuldades na modelagem e à preocupação com a radiação a partir dos defeitos periódicos.

Uma estrutura com deformações no plano terra (DGS) é semelhante às estruturas fotônicas com gap, e se apresentam na forma de defeitos metálicos no plano terra. O conceito de DGS foi introduzido no final da década de 90 (PARK, 1999), e tem como principal vantagem às dimensões da área do circuito, que é relativamente pequena quando comparada com uma PBG. Além disso, alguns elementos DGS podem atingir parâmetros similares a uma PBG periódica, podendo mostrar efeitos de ondas lentas. Outra vantagem é que o encadeamento de células unitárias pode atingir as bandas de

rejeição mais profundas, a depender do número de células. Sendo assim, as deformações DGS podem fornecer alta seletividade à frequência de corte e excelente desempenho em termos de sinais espúrios na banda de rejeição e ondulações na banda de passagem, podendo também ser utilizadas para suprimir harmônicos.

### 3 RESULTADOS SIMULADOS E EXPERIMENTAIS

A linha de transmissão com DGS, quando em comparação com linhas convencionais, tem uma maior impedância e o fator de onda lento e com estas propriedades as dimensões dos circuitos podem ser reduzidas. Dentre as várias utilizações temos os osciladores de micro-ondas, acopladores de micro-ondas (para aumentar o acoplamento), filtros de micro-ondas, amplificadores de micro-ondas, projeto de filtros e antenas de microfita para diferentes aplicações, tais como o dimensionamento, a redução da polarização cruzada e supressões de harmônicas (AHN, 2001).

Neste artigo fizemos uso do *Software* comercial *Ansoft Design<sup>TM</sup>* para estabelecer, dessa forma, as relações entre as frequências de ressonância e os parâmetros geométricos investigados, sem nos aprofundar nos métodos numéricos que fazem parte de sua base programadora e que implementam a simulação, neste caso, o método dos momentos. O tempo de resposta e o erro percentual desse simulador são razoavelmente pequenos permitindo que seja utilizado para simular diversos modelos de filtros, facilitando a obtenção das dimensões geométricas desejadas. Fizemos várias simulações computacionais, onde as dimensões do dispositivo variavam, até a determinação da estrutura que deverá compor o protótipo do filtro de microfita proposto neste artigo.

A configuração escolhida para o filtro, denominada de Filtro Circular (ver Figura 2a), é totalmente uniforme, isto é, não apresenta nenhum defeito gravado na placa que possa alterar a simetria do plano terra, o que não perturba a atual distribuição de corrente ou altera o aumento da indutância e capacitância da linha. A atual distribuição de corrente depende da forma e das dimensões dos defeitos. A propriedade do gap depende de muitos parâmetros de projeto, tais como a forma da estrutura, espaçamento e o número de redes. Na parte superior do filtro temos uma separação entre as superfícies circulares de aproximadamente 1,5 mm.

O processo de construção do protótipo foi realizado a partir do corte da placa de fibra de vidro (FR-4), própria para circuitos eletrônicos, considerando as dimensões desejadas dispostas na Tabela 1. A permissividade elétrica da placa é de 4,4 e sua

espessura é 1,5 mm. Um resumo da metodologia no processo de construção pode ser visualizado na Figura 3.

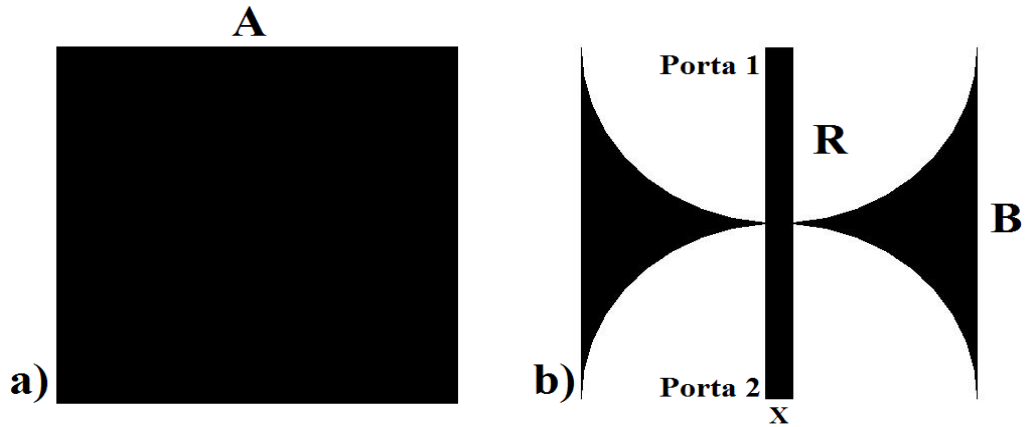


Figura 2 - (a) Filtro Circular: Superfície Inferior - Filtro de Microfita Retangular com Deformações Circulares, excitados pelas portas 1 e 2 instaladas na linha de alimentação X. (b) Plano Superior do Filtro: Deformações Circulares de raio R.

A Figura 3(a) mostra o procedimento de corte, enquanto que na Figura 3(b) apresentamos o protótipo construído, enfatizando as suas dimensões reduzidas.



Figura 3 – Metodologia empregada na construção do filtro de microfita: (a) corte da placa de fibra de vidro e (b) antena construída após a fase de corrosão em solução de perclorato de ferro.

A técnica utilizada no desenvolvimento do protótipo foi à corrosão da parte metálica da placa em uma solução de perclorato de ferro e na sequência, introduzimos os conectores SMA de 50  $\Omega$  de impedância na linha de alimentação, para que fosse possível submeter o filtro à medição no analisador de rede vetorial.

Tabela 1 – Dimensões do filtro de microfita proposto

Parâmetros	Valores
A	22,0 mm
B	23,0 mm
R	11,0 mm
X	3,0 mm

A Figura 4 mostra o filtro circular devidamente ligado ao analisador de rede vetorial. As portas 1 e 2, transmissão e recepção respectivamente, são submetidas as uma varredura de frequência na faixa compreendida entre 0 GHz a 14,0 GHz.

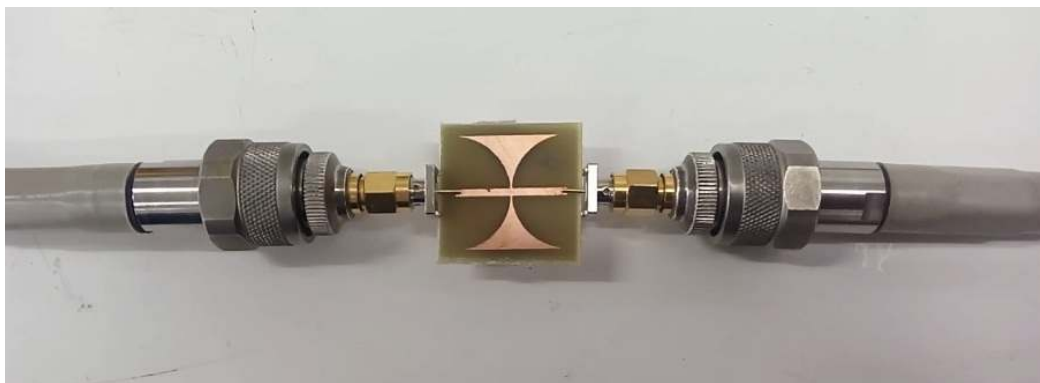


Figura 4 – Filtro construído ligado ao conector SMA de 50  $\Omega$  e aos cabos coaxiais.

A Figura 5 mostra a resposta do coeficiente de transmissão simulado em dB (Decibéis) para o filtro circular. A frequência de varredura iniciou em 0 GHz e finalizou em 10,5 GHz. Observamos duas regiões ressonantes localizadas para valores menores que -10 dB, induzindo um comportamento característico de multibanda (CHEN, 2003), ou seja este filtro apresenta duas bandas de rejeição, sendo a primeira banda proibida entre as frequências de corte 1,5 GHz e 3,5 GHz, com pico em 2,2 GHz. Nessa banda de frequência temos vários sistemas operantes, tais como: sistemas de comunicação sem fio que operem na banda ISM (*industrial, scientific and medical*) de 2,40 GHz, comunicações por satélites, etc.

Para as frequências entre 4,0 GHz e 7,0 GHz aproximadamente, observamos regiões que permitem a passagem de sinais, configurando a banda de passagem ou banda permitida. Em um contexto geral, esse filtro apresenta bandas de frequências

proibidas e permitidas, destacando-se em particular a frequência de 2,45 GHz, que corresponde a um valor de frequência dentro da banda proibida, pois é nessa frequência que temos diversas aplicações (IEEE 802.11b/g/n).

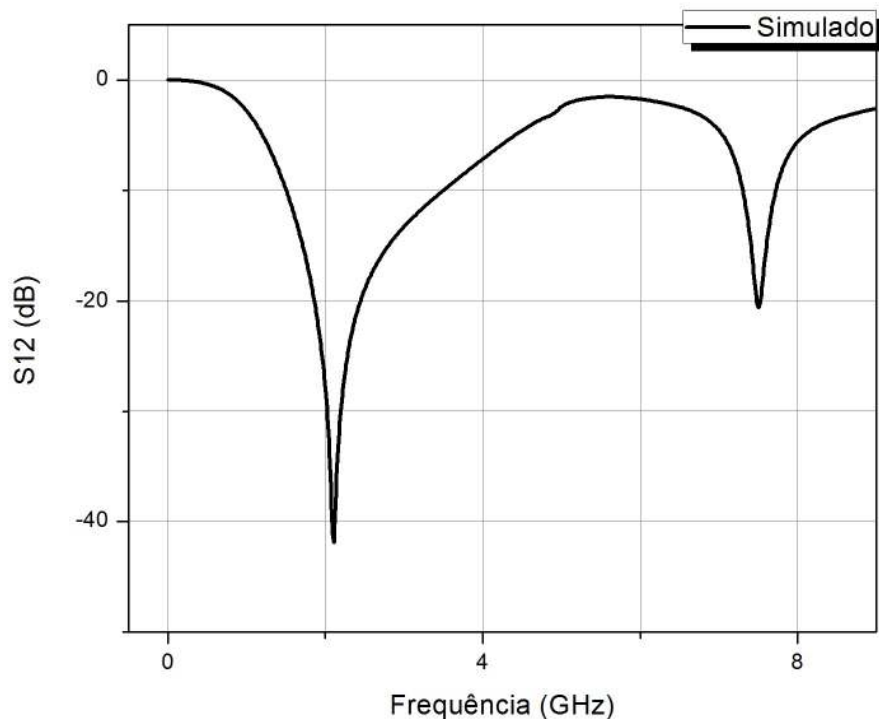


Figura 5 - Curva Simulada do coeficiente de transmissão ( $S_{12}$ ).

As dimensões consideradas nesse filtro circular apresenta comportamento simulado que bloqueia a frequência 2,45 GHz, na qual opera os satélites de comunicação. Buscamos construir um protótipo que apresente uma boa concordância com o resultado simulado. Esse filtro apresenta deformações no plano inferior, diferentemente de outros filtros que deformam o plano terra.

A excitação do filtro circular ocorre pela porta 1, ficando a porta 2 para a recepção do sinal, conforme mostra a Figura 6 (imagem 3D do filtro projetado). A corrente então se distribui sobre toda a região metálica superior e inferior do filtro. Assim, as duas superfícies serão excitadas simultaneamente. No entanto, cada superfície perceberá uma permissividade diferente no meio de propagação, o que acarretará velocidades de propagação diferentes para cada superfície. Podemos então concluir que: velocidades diferentes levam a comprimentos de ondas diferentes e consequentemente a frequências de ressonância diferentes. Por isso, o filtro ressoa bloqueando determinadas frequências e outras não.

A Figura 7 mostra uma imagem capturada do analisador de rede vetorial, onde foi feita a caracterização experimental do filtro projetado.



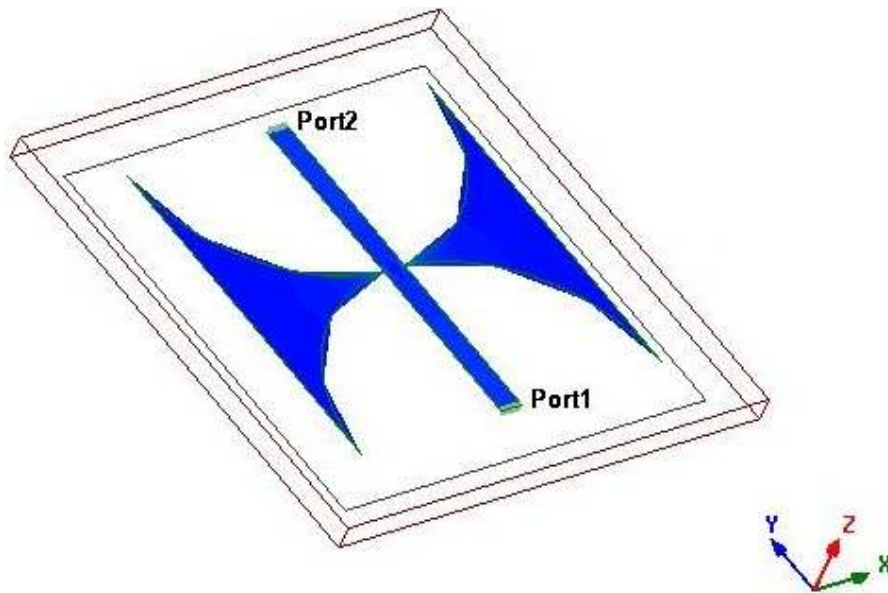


Figura 6 - Circular - distribuição de corrente.

Um resultado comparativo entre medição e simulação é mostrado na Figura 8, em que é possível observar uma boa concordância entre os resultados apresentados. Esse filtro circular apresentou duas bandas proibidas, sendo a primeira com frequências de corte entre 1,5 GHz e 3,5 GHz e a segunda com frequências de corte 7,0 GHz e 7,7 GHz. As demais regiões fora das frequências de corte são bandas passantes.

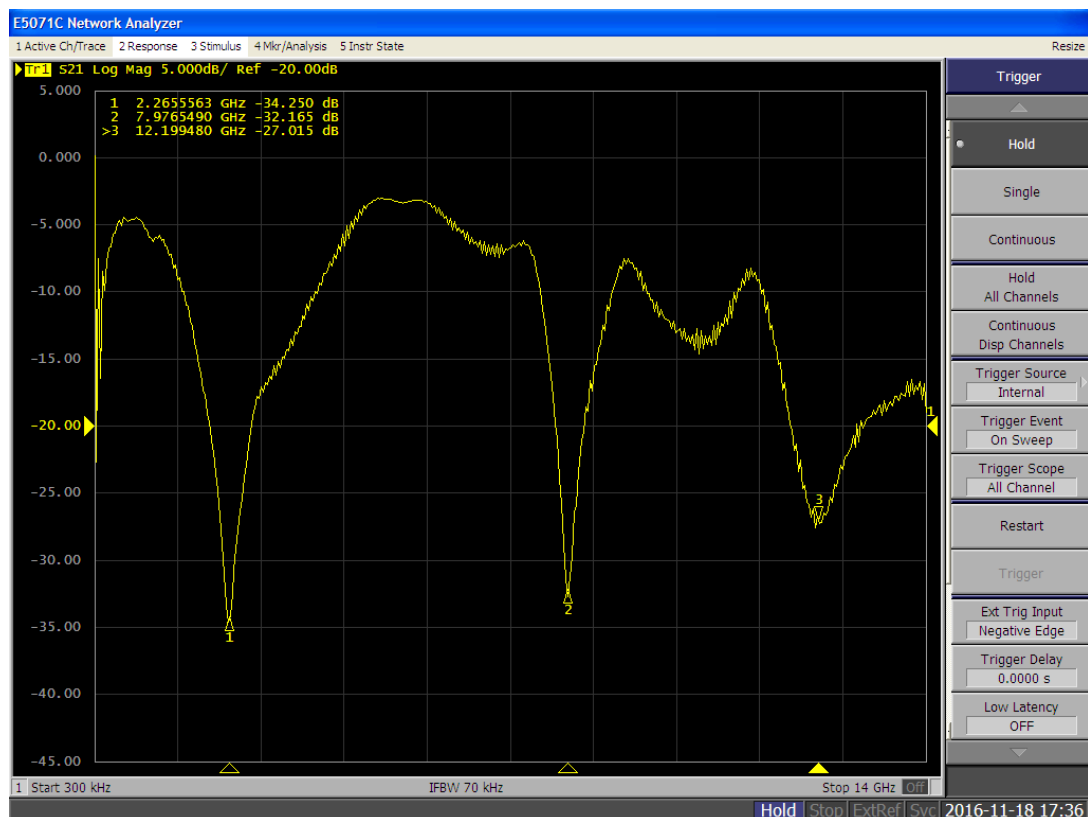


Figura 7 – Resultado experimental do coeficiente de transmissão ( $S_{12}$ ) obtido pelo analisador de rede vetorial.

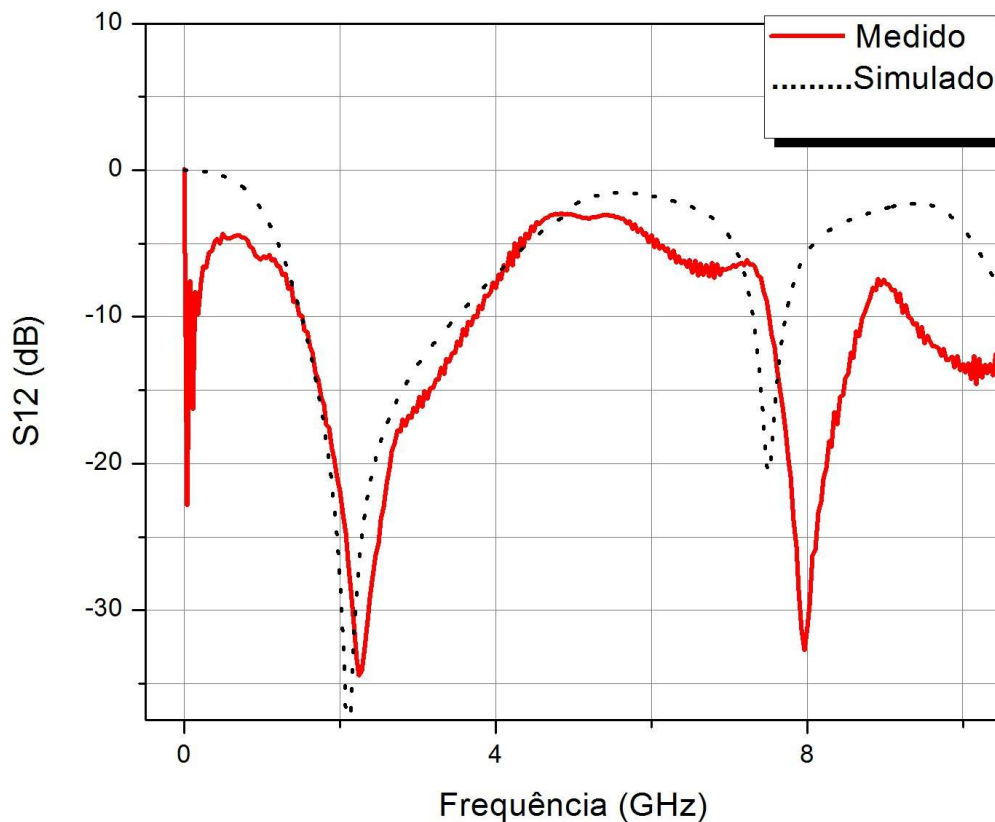


Figura 8 – Resultado comparativo para o coeficiente de transmissão ( $S_{12}$ ) do filtro projetado.

#### 4 CONCLUSÃO

Neste artigo propomos uma configuração de filtro, sem deformação do tipo DGS no plano terra com o objetivo de verificar a operacionalidade de um protótipo de filtro de microfita retangular com deformação circular de raio  $R$ . Após a simulação e uma análise inicial do desempenho, verificou-se que esse modelo é bastante eficiente e viável. Os resultados simulado e experimental foram apresentados e mostraram uma boa concordância entre si. O erro experimental foi aproximadamente 4,5% para o projeto, se encontra dentro do tolerável e pode ser atribuído a pequenas imperfeições apresentadas pela máscara adesiva junto ao processo de construção do mesmo.

A comparação entre os dados simulados e medidos permitiu identificar as regiões de passa banda e rejeita banda do filtro. Observamos no filtro batizado de filtro circular, as bandas permitidas (passagem) e proibidas (rejeição) entre as frequências de 0 MHz à 13 GHz. Podemos considerar que esse filtro com deformações circulares na superfície superior e plano terra inferior totalmente perfeito bloqueia uma grande faixa de frequência de interesse comercial.

Para valores acima de 4,0 GHz o filtro possui características multibanda selecionadas. Em particular para a frequência de 2,45 GHz corresponde a uma região dentro da banda proibida. A frequência 2,45 GHz se encontra dentro da faixa não licenciada, banda ISM (*Instrumentation, Scientific and Medical*) pertencente ao padrão IEEE 802.11b/g/n, onde temos inúmeras aplicações que fazem uso dessa faixa, sendo assim a utilização de um filtro pode ser muito bem empregada para rejeitar certas aplicações nessa faixa de frequência. Podemos citar, por exemplo, a rejeição do sinal nessa frequência em regiões próximas a presídios.

Para trabalhos futuros, pretendemos investigar o comportamento de outros filtros de microfita, mudando sua geometria e propondo novas configurações DGS no plano terra.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores do trabalho agradecem ao CNPq sob o convênio 472098/2013-6, ao Grupo de Eletromagnetismo e Matemática Computacional Aplicada - GEMCA e a Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

## **REFERÊNCIAS**

**BALANIS, C. A. Antenna theory: analysis and desing.** 2 ed Wiley, 1997.

**SHARMA, R., et al. Characteristic Impedance of a Microstrip-Like Interconnect Line in Presence of Ground Plane Aperture.** International Journal of Microware Science and Technology, Vol. 1, pp. 1-5, 2007.

**PARK, J. I., et al. Modeling of a Photonic Bandgap and its Application for the Low-Pass Filter Design.** Asia Pacific Microware Conf. Proc. APMC, Vol. 2, pp. 331-334. 1999.

**PARR, E. A., Logic Designer's Handbook: Circuits and Systems,** (2nd ed.). Newness. pp. 65–66, 1993. ISBN 978-1-4832-9280-9.

**AHN, D., et al, A Design of the Low-Pass Filter Using the Novel Microstrip Defected Ground Structure,** in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 49, No.1, January 2001.

**CHEN, W. N., et al; Microstrip Coupled-Line Bandpass Filter With a Multilayer.**  
Microwaves and Optical Technology Letters, Vol. 39, 2003.

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