

Análise experimental do efeito de diversas configurações de “*inset feed*” na alimentação de antenas planares dos tipos retangular, circular e triangular

Jefferson Costa e Silva

jefferson@ifpb.edu.br. Instituto Federal da Paraíba – IFPB Campus João Pessoa. Av. 1º de Maio, 720, Jaguaribe. João Pessoa-PB.

RESUMO

Este artigo trata da análise experimental de antenas planares, com geometria do *patch* dos tipos retangular, circular e triangular, com alimentação por linha de microfita e técnica de casamento de impedância através de reentrâncias (*inset feed*) assimétricas no *patch* radiante, de modo a se verificar a resposta em frequência dessas antenas para diversas configurações de assimetria. A partir desse objetivo, foram realizadas diversas medições para a verificação do efeito desse tipo de alimentação no casamento de impedância das antenas simuladas.

Palavras-chave: Antena de microfita. Alimentação de antenas. *Inset feed*. Medições. Casamento de impedância.

ABSTRACT

This article deals with the experimental analysis of planar antennas with rectangular, circular and triangular geometry patch types, fed by microstrip line and impedance matching technique through asymmetric inset feed in order to verify its effects, in the antenna frequency response to various configurations of asymmetry. With this aim, several measurements were performed in order to verify the effect of this type of feeding in impedance matching of the simulated antennas.

Keywords: *Microstrip antennas. Feed antennas. Inset feed. Measurements. Impedance matching.*

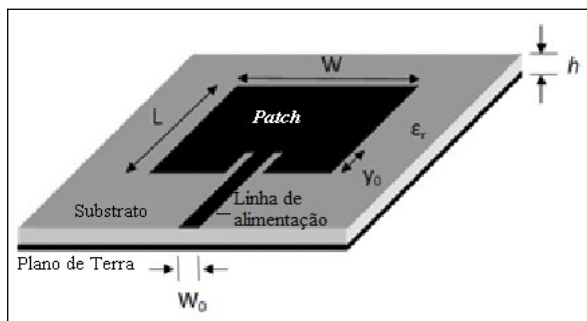
1 Introdução

Devido ao avanço das tecnologias na área de telecomunicações, aliado à construção cada vez mais sofisticada de circuitos integrados de micro-ondas, observa-se um aumento no número de estudos envolvendo antenas planares de microfita. As primeiras publicações a respeito desse tipo de antenas ocorreram na década de 50 com Deschamps (1953) nos Estados Unidos. No entanto, pesquisas envolvendo antenas impressas ganharam força a partir da década de 70, com o trabalho de Byron (OLIVEIRA, 2008).

As antenas de microfita são constituídas basicamente por duas placas condutoras paralelas separadas por uma camada dielétrica, conforme pode ser visto na Figura 1. O condutor superior é denominado elemento irradiante (ou *patch*) e o inferior é o plano de terra (OLIVEIRA, 2008).

O elemento irradiante, *a priori*, pode assumir qualquer forma geométrica. Contudo, em termos de análise e previsão do desempenho, normalmente são utilizadas as formas geométricas convencionais, tais como: as retangulares, circulares, triangulares e, mais recentemente, as formas fractais (NEVES, 2002).

Figura 1 – Antena planar retangular alimentada por uma linha de microfita.



As antenas de microfita apresentam particularidades geométricas e propriedades elétricas que podem ser interpretadas como vantagens ou desvantagens, dependendo das aplicações a que se destinam. O modelamento da antena de microfita está relacionado às características da estrutura, tais como o tipo de substrato, dimensões e geometria do *patch* (VASCONCELOS, 2006).

Os mecanismos de alimentação desempenham um importante papel no projeto de antenas de microfita. Estas podem ser alimentadas, dentre outras, tanto por cabo coaxial quanto por linha de microfita. A alimentação por cabo coaxial tem como principal

vantagem a possibilidade de controle do casamento de impedância, enquanto que a da alimentação por linha de microfita é a facilidade de fabricação. Em ambos os casos, a posição do cabo ou do comprimento da fenda de inserção da linha de alimentação (*inset feed*, mostrado na Figura 1) determina a impedância de entrada (RAMESH, 2003).

O desempenho de uma antena pode ser verificado a partir de alguns parâmetros, como diagrama de radiação, diretividade e perda de retorno. O casamento de impedância com a linha de alimentação influencia diretamente nesses parâmetros. Embora vários métodos já tenham sido propostos, esse é um campo de pesquisa amplo e não concluído, pois o processo de construção de antenas envolve uma etapa experimental.

Este trabalho trata da análise experimental de antenas planares, com geometria do *patch* dos tipos retangular, circular e triangular, com alimentação por linha de microfita e técnica de casamento de impedância através de reentrâncias (*inset feed*) assimétricas no *patch* radiante, de modo a se verificar a resposta em frequência dessas antenas para diversas configurações de assimetria.

Ramesh (2003) propõe um modelo matemático para a técnica de alimentação por linha de microfita com a utilização de reentrâncias ou "*inset feed*". O modelo apresentado, para uma antena de microfita com geometria retangular, considera a largura da linha de alimentação da antena igual a largura das reentrâncias, e apresenta uma equação matemática utilizada para o cálculo do comprimento das mesmas.

Asrokin et al (2006) utiliza as equações sugeridas por Ramesh (2003) e faz aproximações para construção de uma antena de microfita com geometria do *patch* triangular. Nesse caso, o modelo utilizado por Asrokin et al altera, de forma experimental, a largura das reentrâncias e apresenta os resultados obtidos.

A partir de observações presentes na literatura, como as anteriormente citadas, pretende-se verificar, através de medições, o que ocorre com as antenas de microfita com as geometrias de *patch* mais utilizadas e com alimentação através de linha de microfita ao se alterar o comprimento e a largura das reentrâncias utilizadas por esse método de alimentação. Busca-se fazer uma variação da largura e da profundidade das mesmas, bem como uma observação do casamento de impedância das antenas quando essas reentrâncias não forem simétricas.

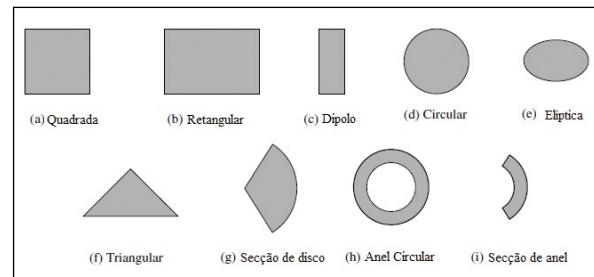
2 Antenas de microfita

As antenas de microfita receberam considerável atenção a partir da década de 1970, embora a ideia de uma estrutura desse tipo possua registros desde 1953, incluindo uma patente de 1955. Essas antenas consistem em um *patch* metálico de pequena espessura $t \ll \lambda_0$ (onde λ_0 é o comprimento de onda no espaço livre), posicionado a uma pequena distância h (onde $h \ll \lambda_0$, usualmente $0,003 \lambda_0 \leq h \leq 0,05 \lambda_0$), acima de um plano de terra, conforme pode ser visto na Figura 1. O *patch* irradiante é geralmente projetado de modo que sua irradiação máxima seja normal a ela (*broadside*). Ists é alcançado com uma escolha adequada do tipo de excitação. A irradiação *end-fire* também pode ser obtida através de uma escolha criteriosa do modo ressonante. Em geral, no caso de um *patch* retangular, seu comprimento L é tal que $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$. O elemento irradiante e o plano de terra são separados por uma camada dielétrica (BALANIS, 2009).

Diferentes materiais podem ser usados como substrato no projeto de antenas de microfita. Em geral, a constante dielétrica desses materiais tem valores de $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$. Os substratos mais adequados para antenas de bom desempenho são espessos e têm constante dielétrica de valor baixo, pois permitem maior eficiência, maior largura de banda e campos mais desprendidos, facilitando a radiação no espaço. Mas essas propriedades têm a desvantagem de produzirem elementos de maiores dimensões. Substratos mais finos, com altos valores de constante dielétrica, são desejáveis para circuitos de micro-ondas, que exigem campos mais confinados, de modo a minimizar a radiação e acoplamentos indesejáveis, além de reduzir as dimensões das estruturas; entretanto, devido às maiores perdas, esses substratos são menos eficientes e resultam em larguras de banda relativamente menores. Como as antenas de microfita são geralmente integradas com outros circuitos de micro-ondas, um equilíbrio deve ser encontrado entre um bom desempenho da antena e um bom projeto do circuito (BALANIS, 2009).

Os elementos irradiantes e as linhas de alimentação são, em geral, fotogravados na placa metálica, sobre o substrato dielétrico. O formato do *patch* irradiante pode ser quadrado, retangular, fita estreita, circular, elíptica, triangular ou de qualquer outra forma, como mostrado na Figura 2 (BALANIS, 2009).

Figura 2 – Formas típicas de elementos de plaquetas de microfita.



Os *patches* quadrados, retangulares, dipolos e circulares são os mais comuns, devido à facilidade de análise e fabricação, assim como às suas características de radiação mais atraentes, especialmente com baixa polarização cruzada. Os tipos de polarizações linear e circular podem ser obtidos com um único elemento ou com um conjunto de antenas de microfita, formando um arranjo. Esses, com alimentação simples ou múltipla, podem também ser usados para alcançar diretividade mais elevada (BALANIS, 2009).

3 Métodos de alimentação

Diversas configurações podem ser usadas para alimentar antenas de microfita. As quatro mais populares são linha de microfita, sonda coaxial, acoplamento por abertura e acoplamento por proximidade. Neste trabalho, o objetivo é a análise da alimentação por linha de microfita com utilização de fendas. Por este motivo, essa configuração será detalhada.

3.1 Alimentação por linha de microfita

O método mais simples para alimentar uma antena planar é conectar uma linha de microfita à extremidade do elemento irradiador, com ambos os elementos localizados no mesmo substrato, conforme mostrado na Figura 3 (RAMESH, 2003). Essa linha de alimentação é de fácil fabricação e de modelagem bastante simples (BALANIS, 2009).

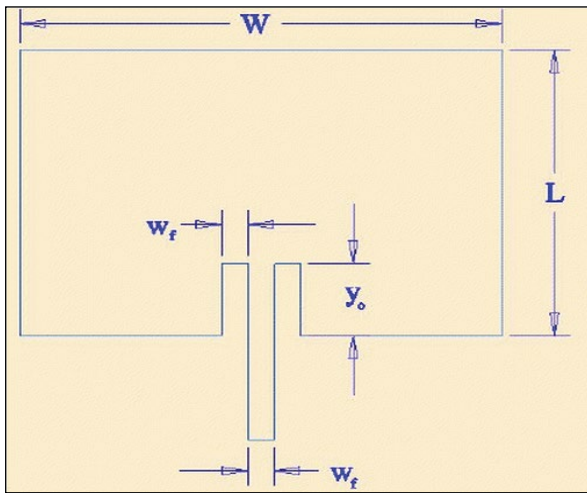
Frente à necessidade de antenas com dimensões reduzidas, a utilização dessa técnica de alimentação pode ser prejudicada, pois a superfície da antena aumenta devido às dimensões da linha de alimentação. Devido à alta impedância na extremidade do elemento irradiador, alcançar o casamento de impedância não é trivial. Para tentar reduzir o custo dessa tarefa, variações desse método são utilizadas, tais como a implementação de um circuito casador externo com

transformador de $\lambda/4$ ou o método com a utilização de “inset feed”. Neste último caso, a linha de microfita penetra no elemento irradiador, como mostrado na Figura 3, em busca de um ponto de melhor casamento de impedância entre a linha e o elemento irradiador (BARRA, 2007).

A Figura 3 mostra a utilização do método “inset feed” numa antena de microfita. Considera-se a constante dielétrica do substrato, sua espessura, o comprimento e largura do *patch*, a largura da linha de alimentação e o comprimento da reentrância, denotados por ϵ_r , h , L , W , w_f e y_0 , respectivamente.

A impedância de entrada da alimentação da antena depende principalmente do comprimento da reentrância y_0 em relação ao comprimento do elemento irradiador. Variações no comprimento da linha não produzem qualquer mudança na frequência de ressonância, mas as variações no comprimento e na largura da reentrância produzem alterações neste parâmetro.

Figura 3 – Configuração de alimentação por linha de microfita via método “inset feed”.



O comprimento da reentrância é obtido através da Equação 1.

$$y_0 = 10^{-4} \left\{ \frac{0,001699\epsilon_r^7 + 0,1376\epsilon_r^6 - 6,1783\epsilon_r^5 + 93,187\epsilon_r^4 - 682,69\epsilon_r^3 + 2561,9\epsilon_r^2 - 4043\epsilon_r + 6697}{2} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

4 Materiais e métodos

Neste trabalho foi construído um conjunto de antenas de microfita, com diferentes configurações de fendas de inserções, de modo a gerar um universo

de amostras a serem analisadas. Para isso, foram utilizados laminados com substrato em Fibra de Vidro (FR4), com constante dielétrica $\epsilon_r = 4,4$ e espessura $h = 1,5$ mm. A caracterização experimental das antenas foi realizada no Laboratório do Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado, GTEMA, IFPB, tendo sido utilizado um analisador de redes vetorial Agilent, N5230A

5 Resultados

Os resultados do projeto serão apresentados divididos em três grupos de antenas: i) antenas tipo *patch* retangular, ii) antenas tipo *patch* circular e iii) antenas tipo *patch* triangular.

5.1 Antena tipo *patch* retangular

Esta é a antena mais simples, das três simuladas. Para o projeto da antena tipo *patch* retangular (Figura 4.a), foram especificados os valores de ϵ_r , f_r e h para, em seguida, determinar os valores das dimensões W e L . Dessa forma, foram estabelecidos os valores de $\epsilon_r = 4,4$, $f_r = 2,45$ GHz e $h = 1,5$ mm. Essa frequência foi escolhida por ser muito utilizada pelas redes de comunicações de dados sem fio WLANs.

Os cálculos das dimensões da antena, bem como das reentrâncias de alimentação, foram realizados com o objetivo de se obter o melhor casamento de impedância possível. Dessa forma, a antena foi inicialmente simulada no software Ansoft Designer 3.5 e depois construída e medida, conforme mostrado na Figura 4.b. Os resultados simulado e medido são mostrados na Figura 5. A frequência de ressonância simulada foi de 2,45 GHz e a medida foi de 2,5388 GHz, apresentando um erro de 3,62%.

A partir dos resultados obtidos, pode-se verificar uma boa concordância entre os valores simulados e medidos.

5.2 Antena tipo *patch* circular

A geometria utilizada para a antena de microfita com *patch* circular é mostrada na Figura 6. Para a obtenção do resultado numericamente esperado, foram simuladas diversas antenas através do software comercial Ansoft Designer 3.5 (Figuras 7 – 10), sendo analisado o comportamento da variação dos *insets* com simetria e também sem simetria. Com isso, foram levantados os melhores resultados, de acordo com o tamanho do *inset* e o modo pelo qual ocorreu a reentrância, e foram confeccionadas duas antenas

de microfita com *patch* tipo circular (Figura 11): uma com os *insets* simétricos e outra com os *insets* assimétricos. Em ambas foram utilizados laminados com substrato de fibra de vidro, FR-4 ($\epsilon_r = 4,4$), de espessura $h = 1,5$ mm, $a = 18$ mm (raio do *patch*), $W_0 = 2$ mm, $y_{01} = y_{02} = 12$ mm (antena simétrica) e $y_{01} = 14$ mm, $y_{02} = 10$ mm (antena assimétrica).

Figura 4 – Antena tipo *patch* retangular: (a) antena simulada, (b) antena confeccionada.

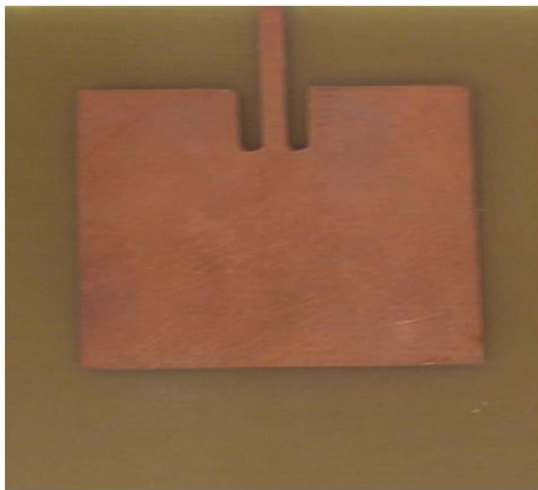
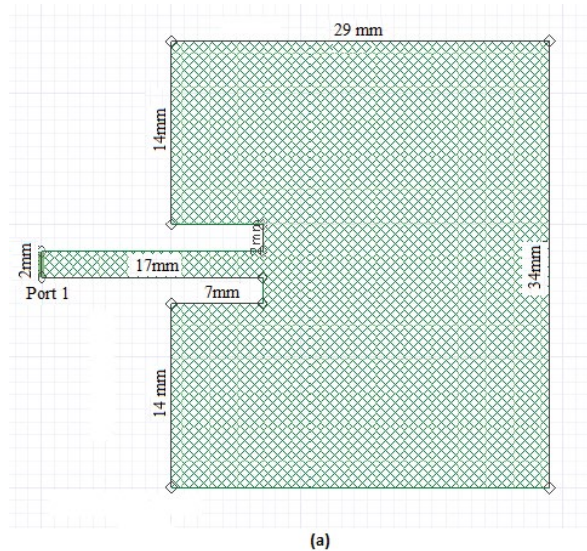


Figura 5 – Antena tipo *patch* retangular: (a) resultado simulado, (b) resultado experimental.

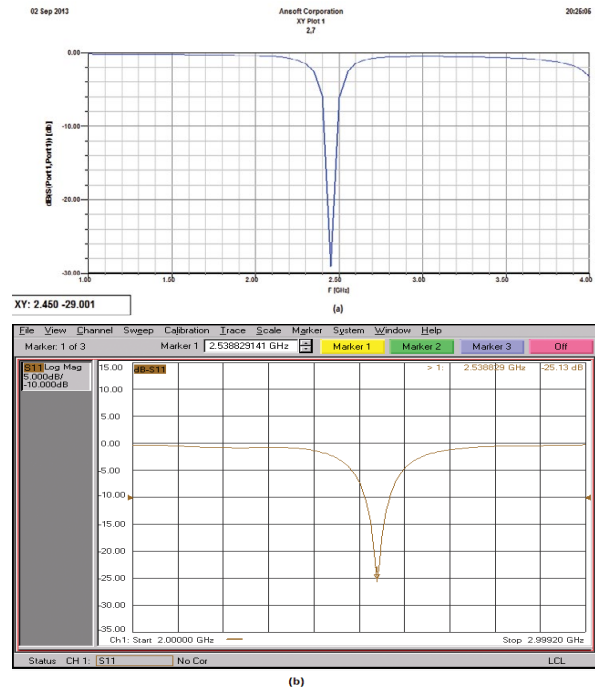


Figura 6 – Geometria da antena de microfita com *patch* circular, incluindo os *insets* de ajuste para casamento de impedância.

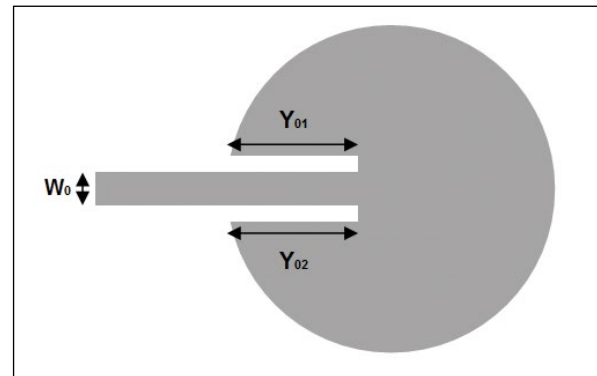


Figura 7 – Resultados simulados para antena de microfita com *patch* circular e alimentação com *insets* simétricos.

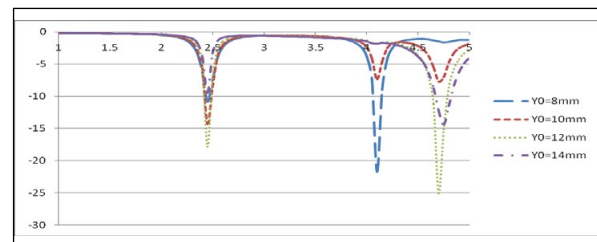


Figura 8 – Resultados simulados para antena de microfita com *patch* circular e alimentação com *insets* assimétricos e com $y_{01} = 10$ mm.

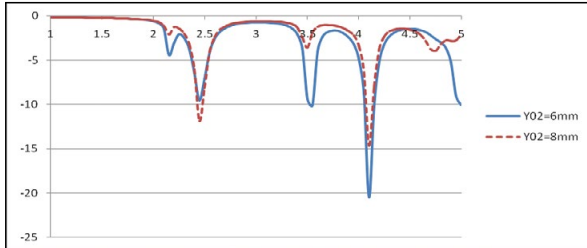


Figura 9 – Antena de microfita com *patch* circular e alimentação com *insets* assimétricos e com $y_{01} = 12$ mm.

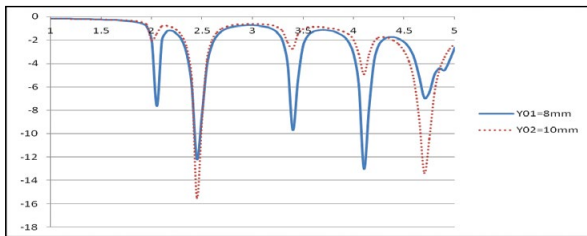


Figura 10 – Antena de microfita com *patch* circular e alimentação com *insets* assimétricos e com $y_{01} = 14$ mm.

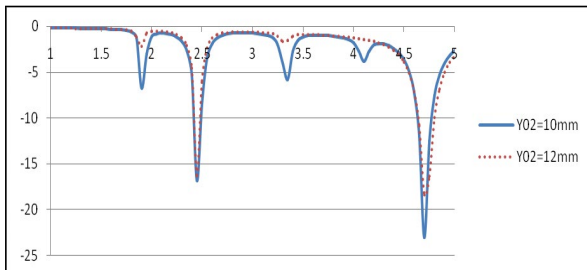
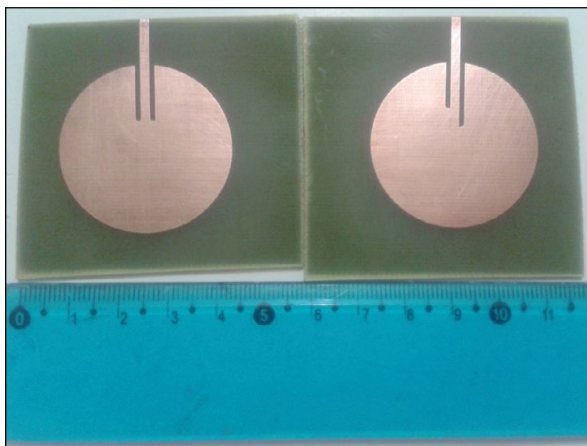


Figura 11 – Antenas de microfita com *patch* circular confeccionadas.



Os resultados experimentais a partir das antenas confeccionadas são mostrados nas Figuras 12 e 13. Estes resultados foram comparados com resultados simulados, obtidos através do Método dos Momentos, usando o programa comercial Ansoft Designer 3.5. Nas Figuras 14 e 15 são apresentados os resultados obtidos numericamente e experimentalmente.

Figura 12 – Resultado medido para a Antena 01, *insets* simétricos, $|S_{11}|$ (dB) x frequência (GHz).

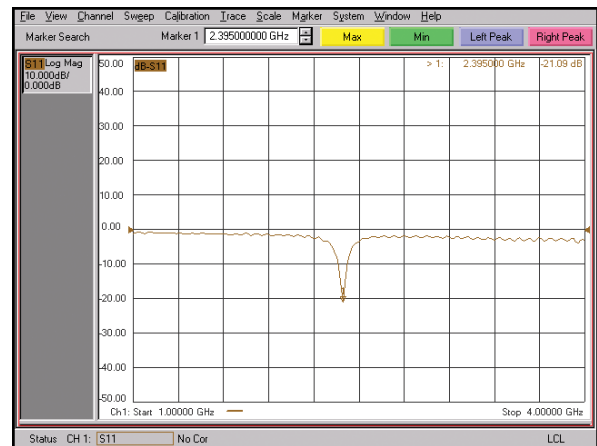


Figura 13 – Resultado medido para a Antena 02, *insets* assimétricos, $|S_{11}|$ (dB) x frequência (GHz).

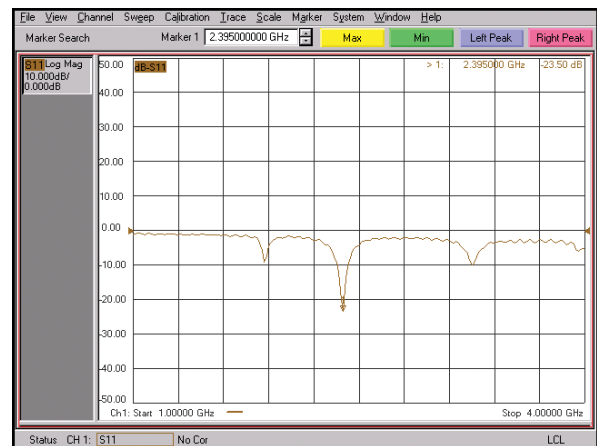


Figura 14 – Antena 01 – *insets* simétricos $y_{01} = y_{02} = 12$ mm, $|S_{11}|$ (dB) x frequência (GHz).

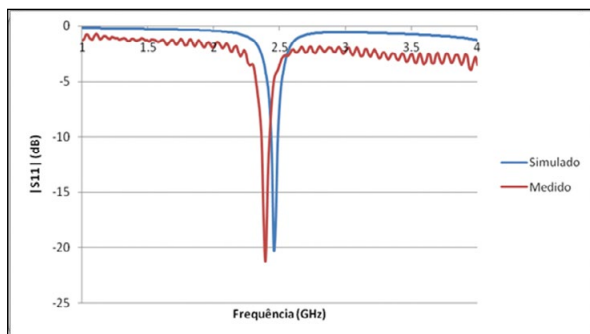
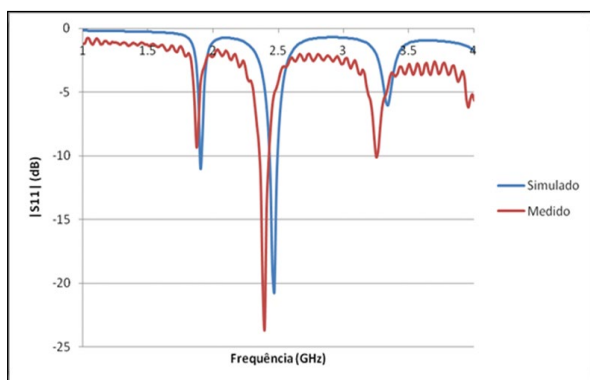


Figura 15 – Antena 02 - *insets* assimétricos $y_{01} = 14$ mm e $y_{02} = 10$ mm, $|S_{11}|$ (dB) x frequência (GHz).



A Tabela 1 mostra uma comparação entre os valores simulados e medidos da frequência de ressonância para as antenas 01 e 02, bem como o erro percentual. Pode-se observar uma boa concordância dos dados quando comparados os resultados experimentais e numéricos.

Tabela 1 – Frequência de ressonância das antenas tipo *patch* circular em microfita.

	Freq. (GHz) (MoM)	Freq. (GHz) (Med)	Dif. Máx. (%)
ANT01	2,45	2,395	2,2
ANT02	2,45	2,395	2,2

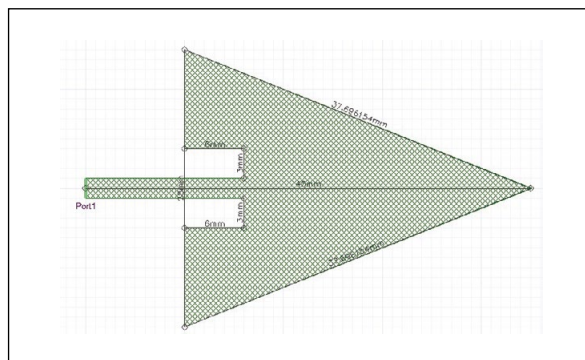
Com a variação dos *insets* de forma assimétrica foi possível melhorar ainda mais o casamento de impedância e também a perda de retorno da antena. A variação dos *insets* foi feita pela análise da distribuição dos campos na antena e como essa distribuição está associada aos modos de ressonância.

5.3 Antena tipo *patch* triangular

O *patch* triangular usado neste trabalho também foi projetado para a frequência de 2,45 GHz e possui as seguintes dimensões, $L_0 = 16$ mm, $L = 35$ mm, $w_0 = 2$ mm, $W = 28$ mm, $y_0 = 6$ mm e $x_0 = 3$ mm, estando descritas na Figura 16.

Para se chegar nesses resultados foi utilizado o método empírico de fabricação, já que não se teve acesso às fórmulas de projeto para este tipo de antena. Dessa forma, a antena foi projetada inicialmente sem as reentrâncias de casamento de impedância, para a frequência de 2,45GHz, apenas alterando a largura W e o comprimento L . Em seguida, foram introduzidos os *insets* e, a partir daí, foram variados seus valores de profundidade (y_0) e largura (x_0) até que se atingisse a melhor situação de casamento de impedância possível. Com isso, foram realizadas diversas simulações diferentes de largura e comprimento dessas reentrâncias.

Figura 16 – Dimensões da antena de microfita com *patch* triangular simulada e medida.



A Figura 17 mostra a melhor antena projetada e medida, tendo sido utilizado o mesmo tipo de laminado (FR4) das antenas anteriores. As Figuras 18 e 19 mostram os resultados simulados e medidos para esta antena. A frequência de ressonância simulada foi de 2,45 GHz e a medida foi de 2,45856 GHz, apresentando um erro de 0,35%, podendo-se observar uma boa concordância entre eles.

Figura 17 – Antena de microfita com patch triangular confeccionada.



Figura 18 – Resultado simulado para a antena de microfita com patch triangular.

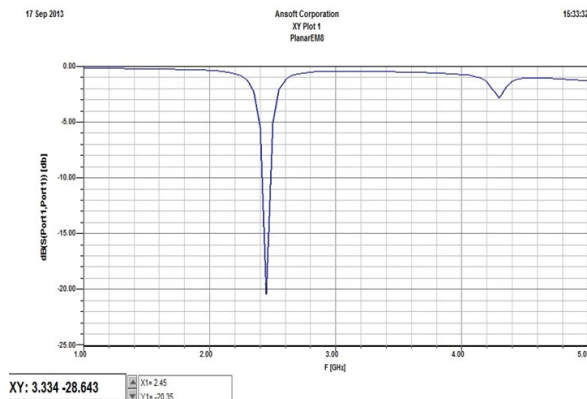
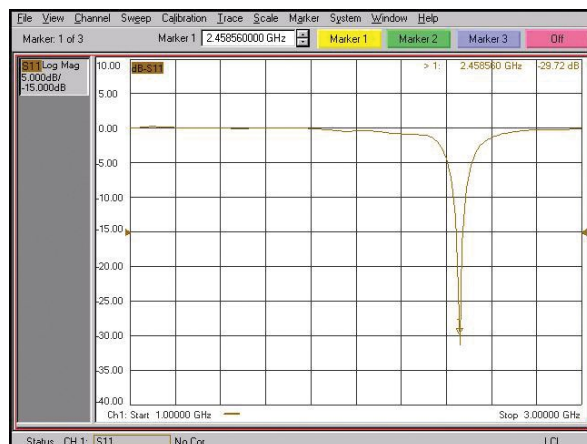


Figura 19 – Resultado medido para a antena de microfita com patch triangular.



6 Conclusões

Neste trabalho foram avaliados diversos comportamentos na resposta em frequência das antenas com alteração do local de inserção do “inset feed”. Com a análise dos resultados obtidos é possível admitir que as antenas de microfita que possuem “inset feed” assimétricos apresentam melhores respostas em frequência (para o parâmetro analisado S11). Assim, existe a confirmação de que o processo de projeto de antenas, apesar de toda literatura auxiliar que já existe, é bastante experimental. Como proposta de continuidade, pode-se avaliar se a situação de melhor casamento de impedância pode ser expressa por expressão matemática.

REFERÊNCIAS

ASROKIN, A.; RAHIM, M. K. A.; JAMALUDDIN, M. H.; AHMAD, M. R. Triangular and Circular Dual Band Microstrip Antenna for WLAN Application. In: International RF and Microwave Conference Proceedings, 2006, Putra Jaya. **Anais...** Malásia: IEEE, 2006. p. 53-57.

BALANIS, C. A. **Antena theory-analysis and design**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, v. 2, 2009.

BARRA, T. V. **Um Ambiente Evolutivo para Apoio ao Projeto de Antenas de Microfita**. 2007. 120 f. Dissertação de Mestrado—Universidade Estadual de Campinas – UEC. Campinas-SP, 2007.

DESCHAMPS, G. A., Microstrip Microwave Antennas. In: III USAF Symposium on Antennas, 1953, Monticello. **Anais...** USA: University of Illinois, 1953. p. 1-21.

NEVES, E. S. **Análise e projetos de antenas de microfita multibanda**. 2002. 140f. Tese de doutorado—Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, São José dos Campos-SP, 2002.

OLIVEIRA, E. E. C. **Antenas de Microfita com Patch Quase Fractal para Aplicações em Redes WPAN/WLAN**. 2008. 117 f. Dissertação de mestrado—Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal-RN, 2008.

RAMESH, M.; KB, Y. Design Formula for Inset Fed Microstrip. **Journal of Microwaves and Optoelectronics**, v. 3, nº. 3, dec. 2003.

VASCONCELOS, C. F. L. **Antenas de microfita com patch em anel e múltiplas camadas dielétricas anisotrópicas uniaxiais**. 2006. 81 f. Dissertação de mestrado—Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal-RN, 2006.