

Desenvolvimento de antenas impressas em substrato de Fenolite

Daniel Aparecido Pires e Henrique José da Silva

Resumo - Este trabalho apresenta um estudo sobre antenas impressas do tipo *microstrip* ou microlinha, construídas sobre um substrato convencional de Fenolite, também muito usado em eletrônica. As antenas são projetadas para operar a 2,4 GHz. Mostra-se um projeto evolutivo de um elemento radiante para um agregado de dois elementos radiantes. Em primeiro lugar, projeta-se uma antena de configuração retangular com o intuito de determinar e validar, através de medida e correção da simulação, o valor da constante dielétrica para 2,4GHz. Seguidamente projeta-se e simula-se a estrutura de adaptação de impedâncias para um agregado de dois elementos radiantes. Os dois elementos tem dimensões ligeiramente diferentes, para que se obtenha uma maior largura de banda de frequência de trabalho. Com essa técnica e numa primeira fase, verifica-se um aumento de largura de banda de 3MHz para 32MHz.

Palavras-Chave - Antenas impressas, antenas microlinha, agregado de antenas, constante dielétrica, largura de banda.

Abstract - This work presents a study of a microstrip type printed antennas, built on a conventional Phenolite substrate, also widely used in electronics. The antennas are projected to operate at 2.4 GHz. The work shows an evolutionary project of a single radiant element for an array of two radiating elements. Firstly, a rectangular configuration single antenna is designed with the purpose of determine and validate, through the measurements and the correction of simulation, the value of the dielectric constant of the substrate at 2,4GHz. Next, an impedance matching structure is designed and simulated to apply to the two element array. The two radiating elements will have slightly different dimensions, in order to obtain a higher working frequency bandwidth. With this technique, and considering one first attempt, simulated results showed an increase in bandwidth from 3MHz to 32MHz.

Keywords - Printed antennas, microstrip antenna, antenna array, dielectric constant, antenna bandwidth.

I. INTRODUÇÃO

É evidente a importância das antenas nos dias de hoje, pois só com elas é possível uma tão grande variedade de sistemas e serviços de radiocomunicações.

Devido aos avanços tecnológicos dos equipamentos eletrônicos na área das telecomunicações, cada vez menores, mais sofisticados e de mais baixo consumo, funcionando em frequências cada vez mais altas, a indústria busca antenas

eficientes que apresentem baixo coeficiente de perdas e grande largura de banda, visando aplicações nas mais diferentes áreas.

Estes dispositivos são valorizados devido à contínua exigência de miniaturização dos sistemas eletrônicos [1].

Conclui-se, portanto, que os elementos irradiadores necessitam de aperfeiçoamentos para se adaptarem as exigências das novas tecnologias, utilizando técnicas de otimização, para se integrarem aos dispositivos de comunicação, de pequenas dimensões [2].

As antenas são utilizadas em diversas aplicações desde satélites, comunicações terrestre fixas e móveis, até processos de detecção e identificação - RFID, dentre outras.

Existem diferentes tipos de antenas para frequências acima de 1 GHz. Porém as antenas impressas apresentam nas bandas das micro-ondas e ondas milimétricas, diversas vantagens como: pequenas dimensões, facilidade de construção, possibilitam a integração de componentes eletrônicos e podem ser adaptadas a superfícies planas ou curvas [3].

Problemas como o acoplamento da linha de transmissão ao elemento irradiador, largura da faixa de frequência de trabalho, diagrama de irradiação desejado, ganho exigido pelo projeto e polarização a ser utilizada, devidos à variedade de aplicações, justifica largamente o estudo e desenvolvimento das antenas impressas, melhorando suas características e descobrindo novas possibilidades.

No intuito de reduzir os custos associados aos substratos apropriados para antenas impressas, utiliza-se neste trabalho um substrato convencional utilizado também em eletrônica de baixa frequência. Geralmente estes substratos estão apenas caracterizados para frequências até no máximo 500MHz e por essa razão procura-se neste trabalho determinar o valor da constante dielétrica do substrato, através de ajustes da frequência de ressonância obtida por simulação e a frequência de ressonância medida.

Para melhoria da largura de faixa de frequência explora-se a técnica de diferentes frequências de ressonância em antenas constituídas por dois ou mais elementos de radiação.

II. EQUAÇÕES DAS ANTENAS IMPRESSAS

Para desenvolver o projeto de uma antena impressa existe toda uma sequência de equações às quais se deve dar atenção conforme pode ser observado em [3]. No entanto a utilização de softwares de simulação facilita o projeto da antena,

podendo ser utilizadas equações mais simples para que se obtenha uma primeira estimativa das dimensões da antena.

Sabe-se que, enquanto que a largura do elemento impresso tem influência fundamental na impedância de entrada da antena, o comprimento do elemento determina a frequência de ressonância.

Sendo assim, importa considerar a equação (1) que permite a estimativa da dimensão da antena para a frequência de ressonância desejada f_0 .

$$L = \frac{3 \times 10^8}{2f_0 \sqrt{\epsilon_r \epsilon_{ref}}} \tag{1}$$

Nesta equação ‘L’ representa o comprimento do elemento, e ϵ_r representa a constante dielétrica relativa do substrato utilizado. Esta constante dielétrica será substituída pela constante dielétrica eficaz ϵ_{ref} que leva em consideração o efeito de franjamento [3] nas bordas do elemento impresso.

III. ANTENA DE UM SÓ ELEMENTO

Uma antena com configuração quadrada apresentará um diagrama de radiação simétrico nos planos E e H, mas a impedância na borda da antena estará longe da impedância característica de 50Ω . Se a antena tiver uma configuração muito retangular, ou seja, a largura muito maior que o comprimento, consegue-se a impedância desejada, mas o diagrama ficará muito assimétrico nos dois planos. Uma outra possibilidade e considerando que a antena terá alimentação por linha de transmissão, é abrir uma cavidade na borda da antena para que a linha de alimentação chegue mais no interior do elemento radiante, a um ponto de impedância desejada. No contexto destas considerações, projeta-se então o primeiro protótipo de antena impressa com um só elemento radiante.

O primeiro protótipo da antena impressa projetada, tem geometria ligeiramente retangular, como ilustra a Figura 1. O substrato utilizado foi o Fenolite também conhecido como FR-2, com constante dielétrica 4,5 e 1,5 mm de espessura. Com base na equação (1) estimou-se o comprimento do elemento radiante para a frequência de 2,4GHz e já em processo de simulação, tendo-se utilizado o software *Sonnet Lite*, obteve-se a dimensão de 29mm. Considerando a necessidade de obter uma impedância de entrada de 50Ω , foi aberta uma cavidade de 8,7 mm de profundidade para obter a impedância desejada. A linha de alimentação foi calculada através do software *LINE CALC*, resultando em uma linha de 3mm de largura.

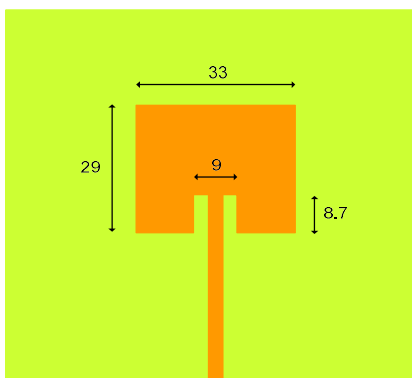


Fig. 1. Elemento irradiador e suas dimensões.

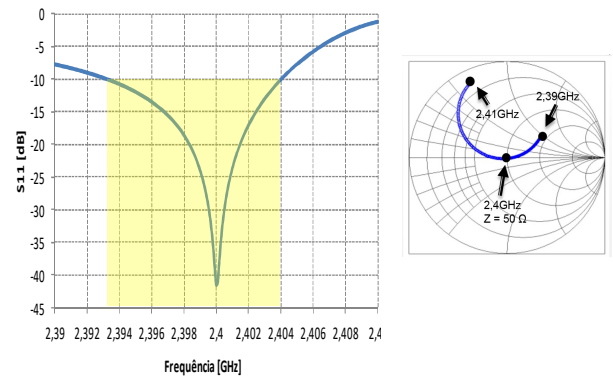


Fig. 2. Resultados obtidos por simulação para o parâmetro S11.

Para realizar a primeira fase das medidas e considerando o fato de não estar disponível em laboratório um sintetizador de radiofrequência para 2,4GHz, foi integrado na antena emissora um circuito ativo para conversão de frequência. O circuito possui um oscilador cuja frequência medida é de 1954,35MHz. O sintetizador de RF é um HP8657A com frequência ajustada para 445,65MHz. No circuito de conversão de frequência o misturador converte então para a frequência de 2400MHz. A figura 3 apresenta imagens da antena e imagens do circuito.

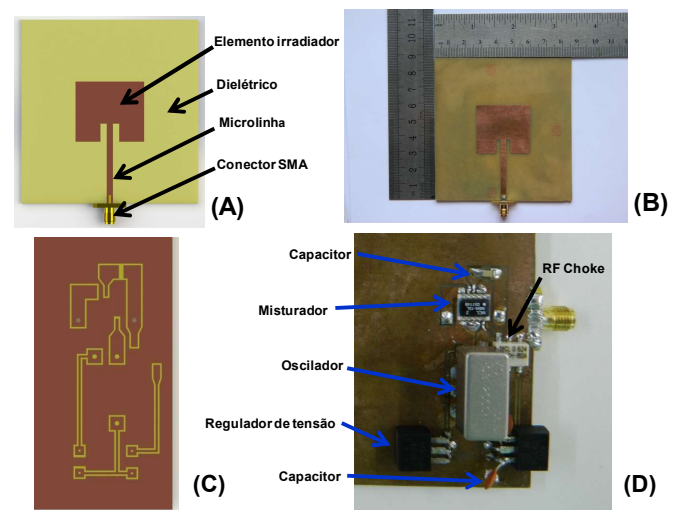


Fig. 3. (A) e (B) antena passiva. (C) e (D) layout e circuito de conversão de frequência.

O gráfico da figura 4 apresenta os resultados medido (tracejado) e simulado (contínuo) para o parâmetro S11. Pode-se observar que existe um significativo desvio de frequência de ressonância, com um valor próximo de 2.6 GHz. Este desvio só pode ser explicado pelo valor da constante dielétrica relativa que para a Fenolite e para 2,4GHz não será de 4,5 que é o valor encontrado para caracterizar este substrato em baixa frequência. Para 2,4GHz conclui-se que o valor seja mais baixo o que faz aumentar o comprimento de onda e consequentemente a antena construída ficou com uma dimensão menor que o projetado e por isso o deslocamento, para cima, da frequência de ressonância.

Na figura 4, o resultado da simulação está concordante com a medida porque o valor da constante dielétrica foi ajustado para 3,8. Com este resultado foi atingido o objetivo de determinar e validar o valor da constante dielétrica da Fenolite, para a frequência de trabalho.

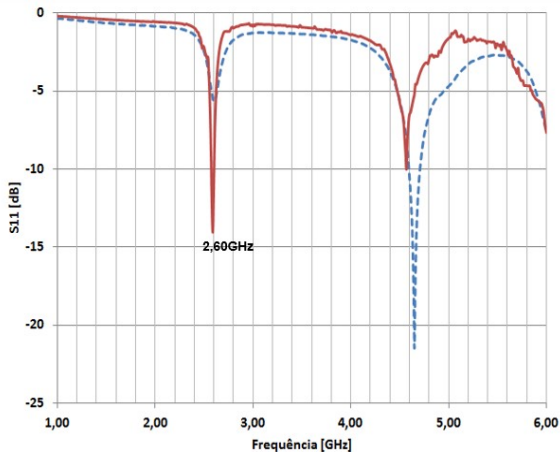


Fig. 4. Gráfico do parâmetro S11 medido e simulado.

Na Figura 5, mostra-se o diagrama de radiação da antena com seu lobo principal e o lobo para trás, com uma amplitude relativa significativa, apenas 10dB abaixo do lobo principal. A abertura de feixe é de aproximadamente 90°. Os resultados simulados foram feitos através do software *Sonnet Lite* e os resultados medidos foram obtidos no laboratório do Departamento de Engenharia Elétrica da USP de São Carlos.

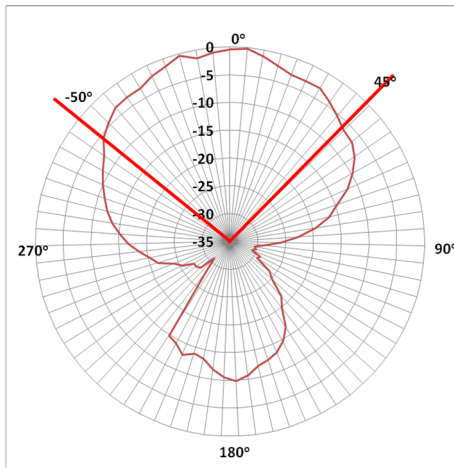


Fig. 5. Diagrama de radiação medido.

IV. ANTENA DE DOIS ELEMENTOS

Determinado o valor da constante dielétrica para 2,4GHz, passou-se ao projeto de uma antena com dois elementos radiantes. Para desenvolvimento de uma antena com dois elementos ou mais é muito importante que a estrutura da linha de alimentação esteja bem dimensionada apresentando o melhor casamento de impedância.

A Figura 6 representa o modelo da estrutura de alimentação projetada. Neste modelo utiliza-se um transformador de impedâncias, de $\lambda/4$ que transforma a impedância de 50Ω de cada elemento para a impedância de 100Ω, para que a união de duas linhas de 100Ω em paralelo resulte na impedância de 50Ω na entrada da estrutura.

Finalmente um segmento de linha de 50Ω de impedância característica fará a ligação até um conector do tipo SMA.

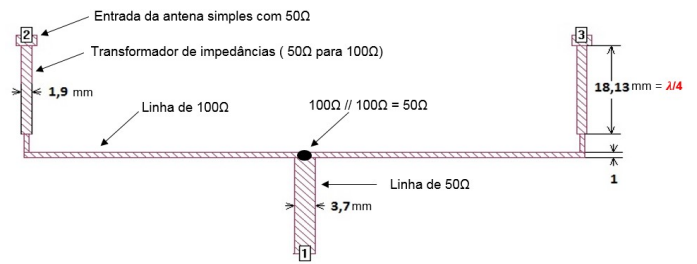


Fig. 6. Estrutura de alimentação dos elementos irradiadores.

Para chegar à estrutura final foi necessário analisar a impedância de cada linha. A muito conhecida equação (2) permite calcular a impedância característica do transformador de um quarto de comprimento de onda que resultou numa impedância característica $Z_0 = 70,7 \Omega$.

$$Z_0 = \sqrt{Z1 \times Z2} \tag{2}$$

O transformador de impedância tem 1,9mm de largura e foi calculado através do software *LINE CALC*. O comprimento de ($\lambda/4$) resultou em 18,13mm e todas as dimensões foram ajustada no software *Sonnet Lite*.

Na Figura 7 podemos observar na carta de Smith o resultado da impedância característica do transformador de $\lambda/4$, que é próximo de 70,7Ω.

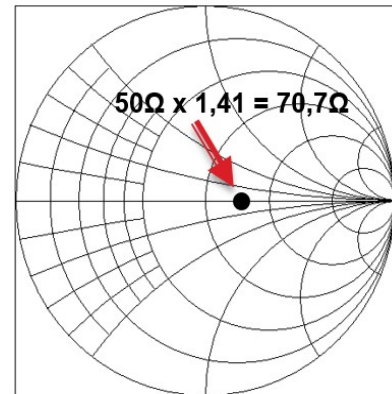


Fig. 7. Carta de Smith com resultado do transformador de $\lambda/4$.

Na Figura 8 mostra-se na carta de Smith o resultado para a linha de 50 Ω, cuja largura deverá ser de 3,7mm para obter a impedância desejada.

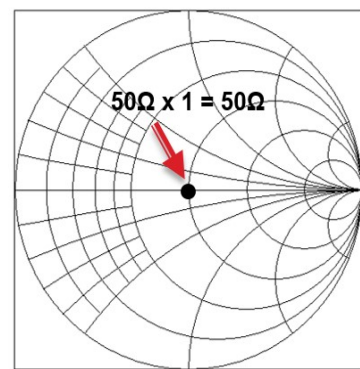


Fig. 8. Carta de Smith mostrando a impedância da linha de 50 Ω.

Já a Figura 9 mostra na carta de Smith o resultado para a impedância da linha de 100 Ω. O resultado ficou muito próximo da impedância desejada.

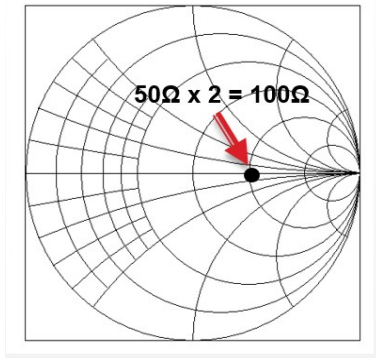


Fig. 9. Carta de Smith mostrando a impedância da linha de 100 Ω.

Quando se projeta uma antena com dois elementos de radiação aumenta-se o ganho já que a antena se torna mais diretiva. No entanto, se cada um dos elementos for calculado para diferentes frequências de ressonância, ainda que próximas, por exemplo, uma para 2.394 GHz e outra para 2.406GHz, consegue-se obter também uma maior largura de faixa de frequências de trabalho. Trata-se da mesma técnica explorada nas antenas (agregados) YAGI, muito conhecidas na linguagem mais popular por, “espinhas de peixe”.

Calcularam-se assim os novos comprimentos ressonantes de cada um dos elementos e ajustaram-se igualmente as profundidades das cavidades para obtenção da impedância mais próxima dos 50Ω em cada um dos elementos.

Na figura 10 mostram-se as dimensões do elemento para a frequência de 2,394GHz e o respectivo resultado para S11.

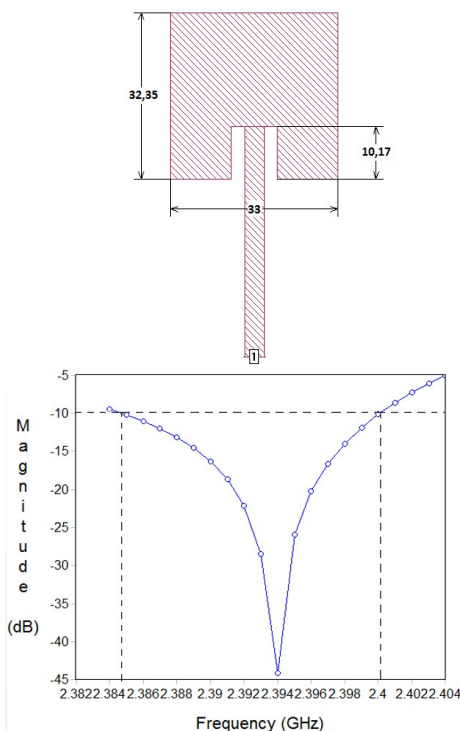


Fig. 10. Dimensões do elemento para 2,394GHz e resultado para S11.

Na figura 11 mostram-se as dimensões do elemento para a frequência de 2,406GHz e o respectivo resultado para S11.

Em ambos os casos o valor de S11 é muito bom com o ponto de ressonância a atingir os -45dB num caso e -35dB no outro caso.

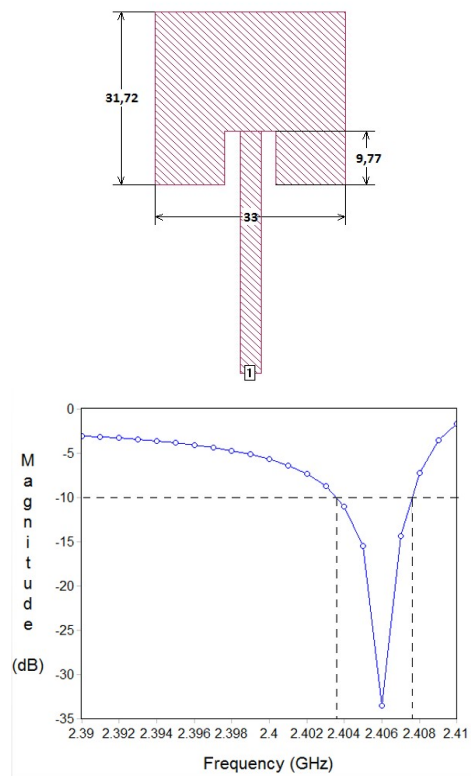


Fig. 11. Dimensões do elemento para 2,406GHz e resultado para S11.

Juntando agora os dois elementos através da estrutura de casamento de impedância vista anteriormente, obtém-se a antena representada na figura 12.

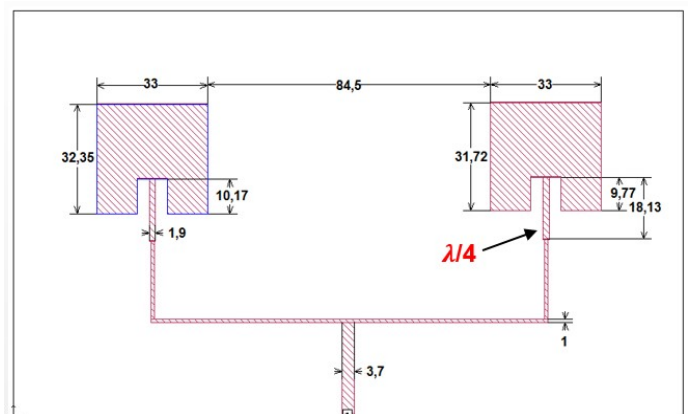


Fig. 12. Estrutura da antena de 2 elementos para diferentes frequências de ressonância.

Como se pode observar na figura 13, o resultado obtido para o parâmetro S11, considerando um valor melhor que -10dB, mostra uma faixa de frequência de aproximadamente 30MHz, entre 2,38GHz e 2,41GHz. Trata-se de uma melhoria significativa quando comparado com os apenas 3MHz obtidos com um só elemento.

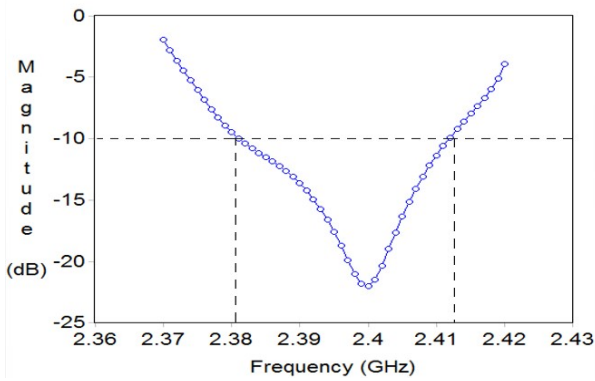


Fig. 13. Largura de faixa da antena com dois elementos

Na figura 14 mostra-se uma alteração da estrutura de casamento de impedância, por uma outra onde cada um dos elementos está ligado diretamente a uma linha de 50Ω. Esta linha está ligada na sua outra extremidade ao transformador de λ/4, minimizando-se assim o comprimento da linha de 100Ω de impedância característica.

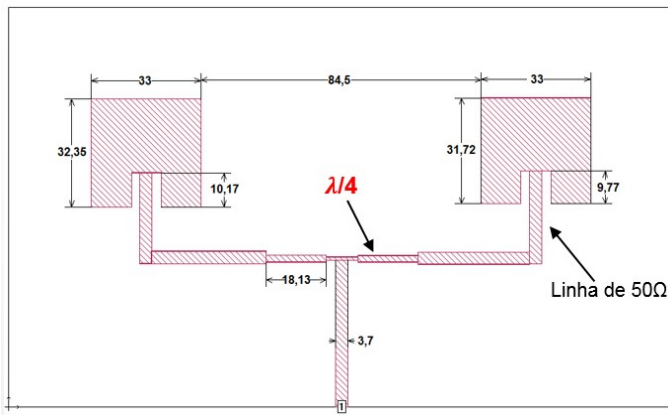


Fig. 14. Antena com dois elementos e uma estrutura de casamento de impedância alterada

Na figura 15 mostra-se o resultado com a nova estrutura de casamento de impedância, verificando-se um aumento de largura de faixa para 34MHz ainda que com um valor de S11 melhor que -10dB mas que não excede os -14dB em toda a faixa de frequência.

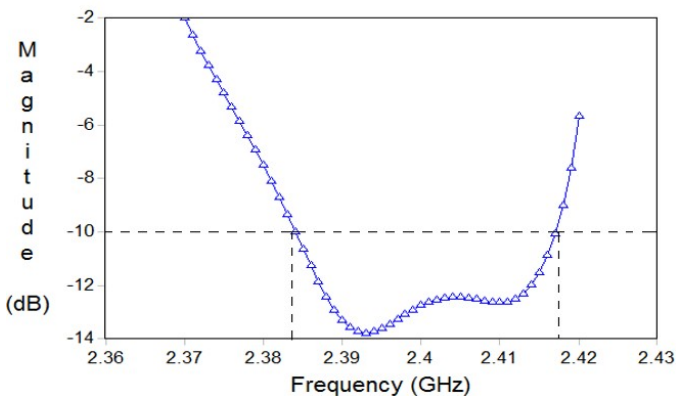


Fig. 15. Largura de banda com nova estrutura de casamento de impedância

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho deu-se início ao estudo e construção de antenas impressas para as quais se utiliza um substrato comercial de baixo custo, muito utilizado também em eletrônica. Se para baixas frequências os substratos estão bem caracterizados, em altas frequências parâmetros com a constante dielétrica relativa mudam significativamente. Com a construção de uma antena com um só elemento foi possível ajustar o valor desta constante de 4,5 para 3,8 na frequência 2,4GHz. No seguimento do trabalho, foi construída uma antena com dois elementos com intuito de se mostrar a possibilidade de aumento da largura de faixa de frequência, sintonizando cada um dos elementos numa frequência diferente. Os resultados obtidos por simulação mostram melhorias significativas, com um aumento de cerca de dez vezes a largura de faixa com um só elemento. Novas simulações, com novas frequências de ressonância deverão ser realizadas para que maiores larguras de banda sejam possíveis. Perspectiva-se também a utilização de outro substrato, igualmente barato, conhecido por FR-4 que tem por base uma fibra de vidro reforçada. Agregados com 4 elementos radiantes serão também estudados formando agregados 2X2.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao Prof. Dr. Ben-Hur Viana Borges que autorizou a utilização do equipamento de medida (Analisador Vetorial) do laboratório do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos da USP de S. Carlos. Agradecimento também ao aluno de Doutorado Achilles Fontana Mota que prestou total auxílio em todo o processo de medida.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Goncalvez e P. Pinho, Antena Impressa Reconfigurável de Pequena Dimensão, 2012. Disponível em: <http://www.anacom.pt/streaming/RicardoGoncalves_CongressoURS12012.pdf?contentId=1148353&field=ATTACHED_FILE> Acesso em: 30 Mar 2015.
- [2] L. G. Rios e E. B. Perri, Engenharia de Antenas. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.
- [3] J. A. J. Ribeiro, Engenharia de Antenas: Fundamentos, Projetos e Aplicações. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2012.
- [4] D. A. Pires, A. C. Marangoni e H. J. da Silva, Desenvolvimento de Antenas Impressas, 15º Congresso Nacional de Iniciação Científica - CONIC, UNAERP - Ribeirão Preto.