

# Análise de antenas retangulares com fendas através de redes neurais artificiais

Wellington Candeia de Araujo, Adaildo Gomes d'Assunção e Laércio Martins de Mendonça

**Resumo** — Este trabalho aborda a caracterização de antenas de microfita multibanda com duas fendas retangulares e paralelas entre si, inseridas em um *patch* retangular. Uma rede neural artificial do tipo *perceptron* multicamada é empregada para modelar estas antenas de modo a localizar as bandas de frequências operacionais para diferentes configurações geométricas. As antenas são projetadas, construídas e testadas em laboratório. Alguns dos resultados medidos são comparados com os resultados obtidos pela simulação a fim de validar o desempenho dos modelos neurocomputacionais das antenas, observando-se uma boa concordância métrica. As técnicas neurocomputacionais desenvolvidas podem ser estendidas a outras estruturas eletromagnéticas de comunicação sem fio.

**Palavras-chave** — Antena de microfita, banda larga, rede neural artificial, comunicação sem fio

**Abstract** — This work deals the characterization of multiband microstrip antennas with two rectangular slots and parallel to each other, inserted into a rectangular patch. An artificial neural network with multilayer perceptron is employed to model these antennas in order to locate the operating frequency bands for different geometric configurations. The antennas are designed, built and tested in the laboratory. Parts of the measured results are compared with results obtained by simulation to validate performance neurocomputational models antennas, observing a good agreement metric. Neurocomputationalss developed procedures can be extended to other structures of electromagnetic for wireless communication.

**Keywords** — Microstrip antenna, broadband, artificial neural network, wireless communication.

## I. INTRODUÇÃO

Os terminais móveis para aplicações em sistemas sem fio têm de ser leves, pequenos e baixo consumo de energia. As antenas de microfita apresentam características que as tornam adequadas a estes sistemas, como pequenas dimensões, baixo peso, baixo custo de produção e boas características aerodinâmicas.

Entretanto a redução do tamanho das antenas exige uma adequada relação entre largura de banda, ganho e eficiência. A solução do problema de miniaturização destes dispositivos é fundamental para diversas aplicações, tais como equipamentos

para comunicações móveis, embarcados em aeronaves e satélites, mísseis e em arranjos de antenas. Vários métodos têm sido utilizados com esse objetivo por muitos autores [1-3].

Neste trabalho é realizada uma investigação numérica e experimental, consistindo do projeto, simulação computacional, construção e medição de uma estrutura de antena *patch* de microfita com formato “E”.

Esta antena de frequência dual é estudada experimentalmente e sua frequência de ressonância e perda de retorno são medidas e simuladas através de softwares, equipamentos e redes neurais tipo MLP.

Estas estruturas são bastante complexas e geralmente requerem a utilização de técnicas que necessitam de esforço computacional elevado, como o método das diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD), método dos elementos finitos (FEM) ou método dos momentos (MoM), entre outras.

Como alternativa viável às técnicas citadas, tem-se as técnicas neurocomputacionais. Algumas características como fácil adaptabilidade, generalização e rápida convergência contribuem para o aumento significativo do emprego destas técnicas em aplicações na área de comunicações móveis e telecomunicações em geral, Engenharia, Biologia, Economia, Estatística, entre outras [4].

A utilização de modelos neurocomputacionais na modelagem de antenas tem sido introduzida em meados da década de 1990. Em relação aos simuladores computacionais utilizados em antenas e outras estruturas eletromagnéticas, os modelos neurocomputacionais demonstram maior velocidade de processamento.

A intensa pesquisa científica em redes neurais artificiais aplicadas a diversas áreas tem demonstrado benefícios e resultados relevantes, inclusive o desenvolvimento de novas técnicas de modelagem [1]-[5].

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma rede neural artificial (RNA) que, após treinada e validada, possa prever de maneira satisfatória, comportamentos eletromagnéticos como faixas de frequências e perda de retorno para as estruturas consideradas. A modelagem das antenas apresentadas nesse trabalho é realizada pela rede neural artificial MLP, com o algoritmo de Levenberg-Marquardt para aprendizagem e treinamento. Os resultados numéricos obtidos para os modelos neurocomputacionais desenvolvidos para as antenas de microfita e as medições efetuadas resultaram em boa concordância métrica.

## II. TÉCNICA NEUROCOMPUTACIONAL

As redes MLP apresentam grande poder computacional devido à inserção de camadas intermediárias, diferente do modelo perceptron original de McCulloch e Pitts [4], que possui apenas um nível de neurônios conectados à camada de saída. Com o uso de uma ou mais camadas intermediárias, a rede passa a conter três partes bem definidas: a camada de entrada, a camada intermediária (ou escondida) e a camada de saída, como mostrado na Figura 1.

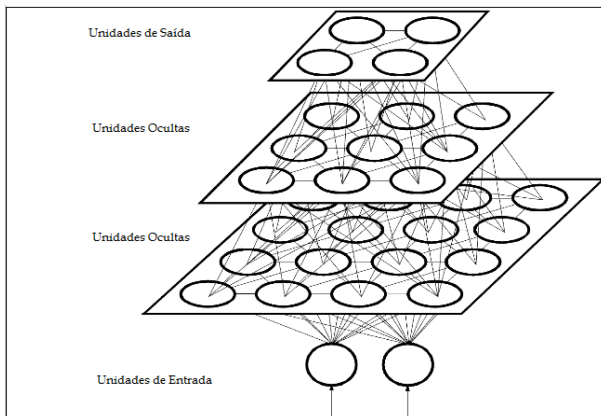


Fig. 1. Topologia genérica de uma rede neural MLP.

Cada neurônio em uma rede MLP possui uma função de ativação não-linear que é continuamente diferenciável [4]. Existem diversas funções de ativação para redes MLP. As principais são a função sigmóide, a tangente hiperbólica e a função linear, expressas em (1-3), respectivamente:

$$\varphi(net) = \frac{1}{1 + \exp(-net)} \quad (1)$$

$$\varphi(net) = \frac{\exp(net) - \exp(-net)}{\exp(net) + \exp(-net)} \quad (2)$$

$$\varphi(net) = a(net) + b \quad (3)$$

A função de ativação é definida como:

$$net_j = \sum_i w_{ji} \cdot a_i + b_j \quad (4)$$

onde  $b_j$  é o bias (valor especial acrescido a função de transferência),  $a_i$  representa os valores de entrada da rede e  $w_{ji}$  os pesos, que assim como o bias, são ajustados durante o treinamento. Segundo o teorema de Cybenko [6], a utilização de redes neurais artificiais com apenas uma camada oculta é suficiente para que se obtenha uma aproximação para qualquer função não-linear.

Em aplicações para antenas, por exemplo, o número de camadas ocultas geralmente é 1 ou 2, ligadas à capacidade de generalização da rede. O teorema de Cybenko sugere a função de ativação sigmóide, porém não determina o número de neurônios na camada oculta. O número de camadas ocultas e de neurônios não pode ser pré-determinado para um dado problema, no entanto. Para resolver esta dificuldade, procedimentos estatísticos podem ser utilizados para o refinamento da rede em sua fase de treinamento.

Neste trabalho utiliza-se para os neurônios das camadas ocultas a função sigmóide, dada em (1) e para a camada de saída, a função linear, dada em (3).

## III. RESULTADOS NUMÉRICOS

A geometria da antena estudada é mostrada na Figura 2. O formato faz lembrar a letra 'E'. Nestas antenas de microfita multibanda as duas fendas retangulares e paralelas entre si, estão inseridas em um *patch* retangular. As fendas são inseridas com o intuito de diminuir o volume da antena e aumentar a sua largura de banda. A antena é caracterizada pelos parâmetros da Tabela 1.

A partir da Tabela I pode-se notar que o tamanho do patch é definido por  $(L, W, h)$ .

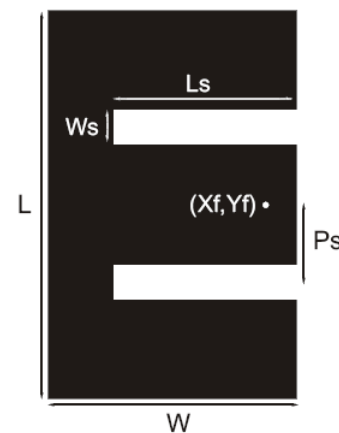


Fig. 2. Estrutura da antena de microfita com formato em E.

A antena é alimentada por uma ponta de prova coaxial na posição  $(X_f, Y_f)$ . Para aumentar a largura de banda duas fendas são inseridas no *patch* simetricamente em relação ao ponto de alimentação [7]. Duas fendas paralelas são incorporadas para alterar o caminho da superfície da corrente, apresentando um efeito indutivo local que é responsável pela excitação do segundo modo ressonante. O comprimento da fenda ( $L_s$ ), a altura ( $W_s$ ), e o  $P_s$  controlam a frequência do segundo modo ressonante e a largura de banda que pode ser alcançada.

TABELA I  
PARÂMETROS DAS ANTENAS CONSTRUÍDAS.

Comprimento do patch	$L = 70$ mm
Largura do patch	$W = 45$ mm
Posição da alimentação	$X_f = 5$ mm $Y_f = 35$ mm
Comprimento das fendas	$L_s = [29, 33, 37, 42]$ mm
Altura do substrato	1.80 mm
Permissividade do substrato	$\epsilon_r = 4.4$
Posição da fenda	$P_s = 14$ mm
Largura da fenda	$W_s = 6$ mm

Para este tipo de antena, quatro protótipos, com a variação do comprimento  $L_s$  das fendas (referente à Tabela I), foram projetados, simulados e medidos. A Figura 3 apresenta as frequências de ressonância das antenas construídas com variação das larguras do patch,  $L_s$ .

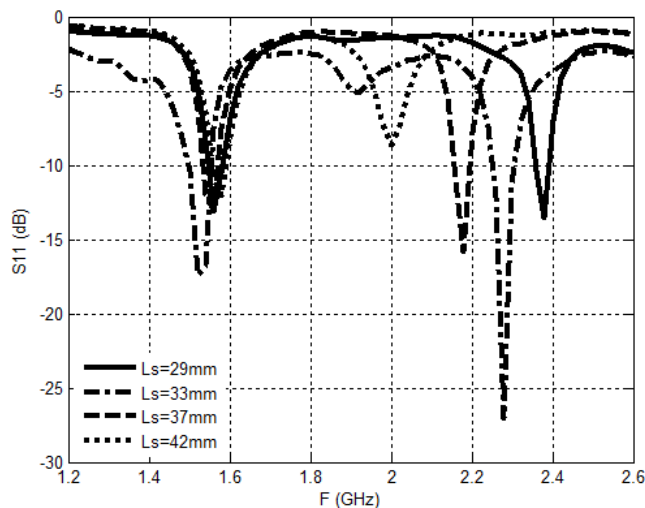


Fig. 3. Frequências de ressonância das antenas de microfita construídas.

Quatro protótipos foram projetados, simulados e medidos, para validar o experimento. Uma variação no comprimento das fendas  $L_s$  (referentes à Tabela I) foi feita, para cada protótipo. Foi utilizada uma rede MLP, com o algoritmo de Levenberg-Marquardt, para modelar a antena. Para seu treinamento, foram usados dados medidos através de um analisador de redes HP8714C. Aqui foi utilizada uma rede MLP, utilizando o algoritmo *trainlm*, para modelar a antena em questão. Para o treinamento da rede utilizaram-se dados medidos ao invés dos dados simulados por software. Os dados simulados por software são para a comparação. Para cada antena foram usados 151 valores medidos referentes à perda de retorno ( $S_{11}$  em dB) em função da frequência. Para a validação da rede foram utilizados pontos não utilizados no treinamento, para a antena com  $L_s = 37$  mm.

A rede é estruturada com dois nós de entrada com relação a frequência de operação da antena e ao valor de  $L_s$ , duas camadas ocultas com 6 neurônios para a primeira camada oculta e 4 neurônios para a segunda camada oculta, e um nó de saída referente ao parâmetro  $S_{11}$ . Para as camadas ocultas aplica-se a função sigmóide e para a camada de saída a função linear, tendo a rede concluída seu treinamento após 78 épocas de treinamento (0.047333 minutos de processamento, CPU Clock: 2.93 GHz, 4GB RAM). Para a validação da rede em questão são empregados 36 valores medidos não utilizados no treinamento referentes à antena com  $L_s = 37$  mm. A rede apresenta o resultado mostrado na Figura 4, demonstrando uma boa resposta, para  $L_s = 37$  mm e a síntese do processo de treinamento da rede na Figura 5. Nota-se também a concordância entre os dados simulados pela rede e os dados medidos, validando o método utilizado. Além disso, constata-se uma melhor aproximação da resposta do modelo neural em relação aos resultados obtidos com o software simulador Ansoft Designer®.

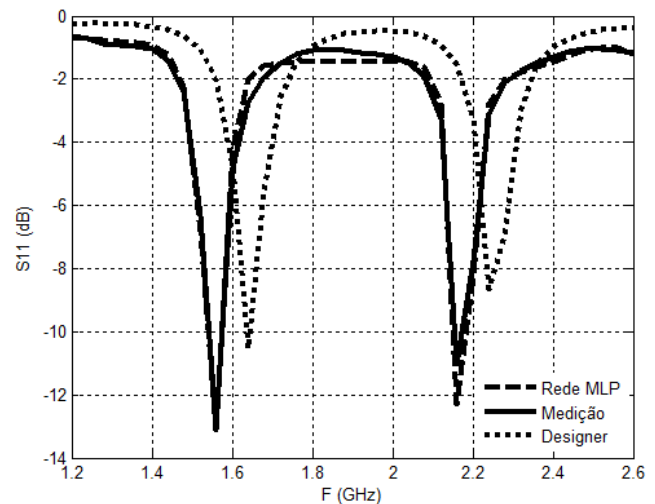


Fig. 4. Resposta da rede para valor  $L_s = 37$  mm, e comparação com medição (HP8714C) e simulação (Ansoft Designer®).

#### IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o estudo das antenas de microfita com suas estruturas modeladas através de redes neurais artificiais, obtendo-se predição de valores e comparação de resultados experimentais e simulados. A fundamentação de antenas de microfita foi apresentada e suas principais formas de miniaturização. A abordagem neural utilizada mostrou-se eficiente e um instrumento alternativo na estimação de parâmetros das antenas, especificamente a perda de retorno.

Os resultados obtidos após o treinamento das redes mostram que a técnica pode ser utilizada como uma ferramenta computacional de apoio no estudo de modelagem de estruturas planares, como antenas de microfita, filtros de microondas, estruturas periódicas, entre outras.

Como continuidade deste trabalho de pesquisa, deverão ser realizados o estudo do emprego de novos materiais dielétricos, como metamateriais e cerâmicas, uso de novas técnicas de análise de inteligência artificial, como algoritmos genéticos, PSO e colônia de formigas.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia de Comunicação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e ao INCT-CSF do CNPq.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Mishra, R. K. and Patnaik, A. "Designing Rectangular Patch Antenna Using the Neurospectral Method," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-51, 8, pp. 1914-192, 2003.
- [2] Robinson, J. and Rahmat-Samii, Y. "Particle swarm optimization in electromagnetics," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 52, no. 2, pp.397-407, 2004.
- [3] Gianvittorio, J. P. and Rahmat-Samii, Y., "Fractal antennas: A novel antenna miniaturization technique, and applications," IEEE Antennas Propag. Mag., vol. 44, no. 1, pp. 20-36, 2002.
- [4] Haykin, S., "Redes Neurais Artificiais: Principio e Prática", segunda edição: Bookman, 2001.
- [5] Coleman, C. M., Rothwell, E. J. and Ross, J. E., "Investigation of Simulated Annealing, Ant-Colony Optimization, and Genetic Algorithms for Self-Structuring Antennas," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 52, pp. 1007-1014, 2004.
- [6] Cybenko, G. "Approximation by Superpositions of a Sigmoidal Function". Mathematics of Control, Signals, and Systems, 2, pp.303-314, 1989.
- [7] Harrington, R. F., "Effect of antenna size on gain, bandwidth and efficiency", Journal of Research of the National Bureau of Standards-D. Radio Propagation, vol. 64D, 1960.

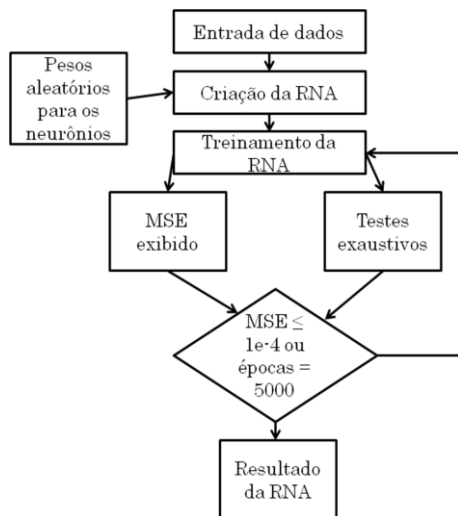


Fig. 5. Fluxograma de execução da rede neural artificial usada.