

# Antenas de microlinha: uma aplicação em ensaios em vôo

Valéria Leite, Cynthia Junqueira, Artêmio Almeida, Clênio Sobreira, Adriana Costa

**Resumo** - Neste trabalho são apresentados os resultados do projeto de uma antena de microlinha, linearmente polarizada, desenvolvida para transmissão de dados em Banda L das aeronaves em ensaios em vôo. A análise dos resultados teóricos e experimentais mostrou que a antena desenvolvida atende os requisitos destes ensaios e mostra o bom desempenho da antena quando comparada com antena tipo *Blade* comumente utilizadas em aeronaves.

**Palavras chave** - Antenas de Microlinha, Ensaios em Vôo, Telemetria.

**Abstract** – This work presents theoretical and experimental results of a linear polarized microstrip antenna designed for flight tests of airplanes and used in a data transmission system in L Band. The theoretical and experimental analysis show that microstrip antenna specification attend the flight tests requirement and it has very good performance, when compared with *Blade* antenna often used in airplanes flight tests.

**Keywords** – Microstrip antennas, flight tests, telemetry.

## I. INTRODUÇÃO

Antenas de microlinha vêm sendo amplamente utilizadas em aeronaves, satélites e veículos espaciais [1], devido as suas características de baixo peso, reduzido volume, facilidade de conformação, baixo perfil aerodinâmico e baixo custo de produção. A maioria das aplicações clássicas de microondas permite o uso de antenas de microlinha, como por exemplo, radar, telefonia móvel, GPS, aplicações médicas e telemetria. Estas antenas em configuração simples, utilizando apenas um elemento, ou em rede podem operar em polarização linear ou circular [2]. Por outro lado, as antenas de microlinha apresentam como desvantagem o ganho baixo, típico de aproximadamente 6dBi e pequena largura de faixa, o que pode ser minimizado com técnicas apropriadas na concepção do projeto, caso seja necessário.

Com vista nestas características e na necessidade de uso de telemetria embarcada, foi desenvolvida uma antena de microlinha, em Banda L, para ser utilizada em ensaios em vôo. O sistema de telemetria embarcado é composto basicamente de sensores, sistema de aquisição de dados PCM, transmissor modulado em frequência e antenas. Vários tipos de antenas podem ser utilizados, porém devido à aplicação embarcada a escolha deve levar em consideração além das

especificações elétricas, as dimensões, perfil aerodinâmico e peso. A desvantagem associada com largura de faixa estreita no caso de ensaios em vôo não é um limitante, pois os dados a serem transmitidos também apresentam faixa estreita [3].

O sistema de telemetria nos ensaios em vôo tem como principal objetivo garantir a segurança do vôo, de modo que este seja monitorado e gerenciado de maneira remota. Além de garantir a segurança do vôo, é possível observar os dados e parâmetros de ensaio, tais como, velocidade, *MACH* (velocidade da aeronave em relação à velocidade do som), ângulo de ataque, acelerações, velocidades angulares, posições de superfícies de comando, entre outros e apoiar o engenheiro de vôo, em solo, a determinar ao piloto qual a melhor ação a ser tomada a fim de garantir sua segurança e a execução do ensaio como planejado. O sistema de telemetria é importante também em aeronaves de ensaio que não possuam caixa preta, uma vez que, em caso de acidente, os dados adquiridos por este sistema podem ser pós-processados e analisados para facilitar a determinação das causas do acidente.

O projeto da antena de microlinha normalmente é realizado com auxílio de ferramentas computacionais, que fornecem, a partir das características mecânicas e elétricas dos materiais dos substratos utilizados, do número de camadas, e de uma geometria pré-estabelecida, uma análise completa dos parâmetros da antena na faixa de frequência do projeto, permitindo desta forma a minimização dos ajustes para o alcance do modelo final. Neste trabalho, a ferramenta computacional utilizada foi o aplicativo IE3D™ [4].

Nas seções seguintes serão apresentados o projeto teórico da antena, através das simulações computacionais realizadas, e os resultados experimentais obtidos em laboratório e em ensaios em vôo.

## II. PROJETO DA ANTENA

A configuração escolhida para o projeto da antena consiste de uma antena de microlinha impressa, com elemento irradiador retangular, linearmente polarizada e alimentada por uma ponta de prova coaxial, como é indicado na Figura 1. Foi utilizada ainda uma cobertura (radome) de material dielétrico para proteção do elemento irradiante, cujas características foram incluídas no projeto.

A elaboração do projeto e análise de antenas de microlinha pode ser realizada com auxílio de várias ferramentas computacionais profissionais. Neste trabalho, para o projeto e análise da antena foi utilizado o aplicativo

Valeria Leite, Cynthia Junqueira, Artemio Almeida, Clênio Sobreira, Adriana Costa, Centro Técnico Aeroespacial, Instituto de Aeronáutica e Espaço, São José dos Campos, Brasil. E-mails: {valeria,cynthia, clenio,adriana,}@iae.cta.br;,artemio@directnet.com.br

IE3D™, que utiliza o método dos momentos em suas simulações.

O IE3D™ calcula, entre outros parâmetros, a impedância de entrada, a razão axial, a perda de retorno, o ganho e os diagramas de irradiação nos cortes solicitados pelo projetista. Este aplicativo faz ainda análise de estruturas considerando plano de terra finito, embora as camadas de substrato sejam sempre infinitas [5].

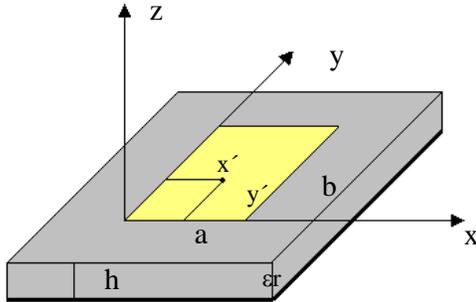


Fig. 1. Antena de microlinha com elemento irradiante retangular e sistema de coordenadas utilizado para análise [2]

Para atender aos requisitos da telemetria da aeronave, a antena foi projetada para operar na frequência de 1,52 GHz, utilizando o substrato CuClad® GX1200-55-11 da Arlon, com espessura,  $h=3,048\text{mm}$ , constante dielétrica,  $\epsilon_r=2,55 \pm 0,04$  e tangente de perdas,  $\tan \delta=0,0022$ , com 1oz de cobre eletrodepositado. Para o radome foi utilizado um substrato CuClad® GX0300-55-11, com as mesmas características dielétricas, mas com espessura,  $h=0,762\text{mm}$ .

As simulações foram realizadas a partir de um elemento retangular de dimensões:  $a=61\text{mm}$  e  $b=58,5\text{mm}$ . O ponto de alimentação foi situado em  $x'=30,5\text{mm}$  e  $y'=19,0\text{mm}$ , sendo a alimentação via prova coaxial ortogonal ao plano  $x$ - $y$  do elemento.

Fornecendo estes parâmetros ao IE3D™, obteve-se, entre outros, os dados de impedância de entrada e perda de retorno, na faixa de frequência selecionada para simulação, como mostrado nas Figuras 2 e 3 respectivamente. Além disso, obteve-se o diagrama de irradiação teórico da antena, que é apresentado na Figura 4.

Através da análise dos gráficos das Figuras 2, 3 e 4 pode-se observar que o melhor ponto encontra-se na frequência de 1,535GHz com VSWR= 1,02 e ganho de aproximadamente 6,35dBi. Na frequência de projeto (1,52GHz) tem-se VSWR igual a 2,14 e ganho de 5,75dBi.

Optou-se por construir o protótipo com as dimensões utilizadas na simulação, embora o melhor ponto desta se encontrasse em 1,535 GHz. Este fato decorre de observações experimentais anteriores que mostraram existir uma variação entre a melhor frequência encontrada na simulação e aquela medida experimentalmente, parecendo haver uma tendência de que a frequência ótima medida seja menor do que a frequência ótima resultante da simulação.

### III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Inicialmente, foram realizadas medidas de impedância de entrada e perda de retorno, utilizando o analisador de redes HP8719A. Como previsto, ocorreram algumas discrepâncias entre os resultados teóricos e práticos e pequenos ajustes experimentais foram necessários. O resultado final é mostrado na Figura 5.

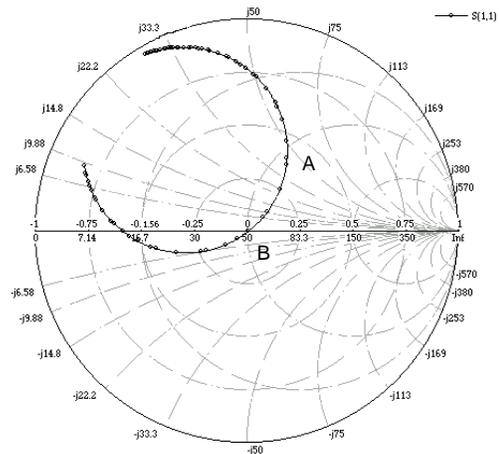


Fig. 2. Curva de impedância – IE3D™: A = 1,52GHz, B = 1,535GHz.

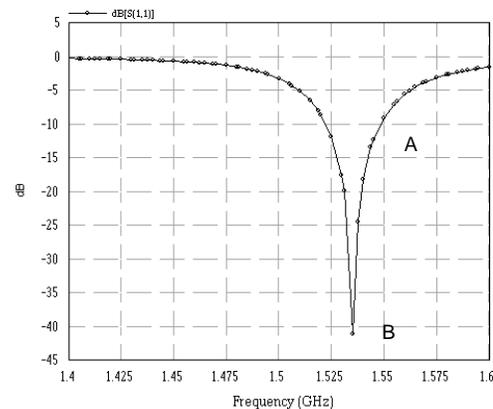


Fig. 3. Curva de perda de retorno – IE3D™: A = 1,52GHz, B = 1,535GHz

Após os ensaios iniciais, foi confeccionado um plano de terra com curvatura idêntica a da parte inferior da aeronave, como mostrado na Figura 6, e a antena foi ensaiada na câmara anecóica do IFI/CTA. O diagrama de irradiação resultante para o ângulo de elevação  $\theta=0^\circ$  nas polarizações vertical e horizontal pode ser visto na Figura 7.

Analisando os resultados experimentais verificou-se que estes estão satisfatórios, ou seja, a antena está atendendo as especificações iniciais do projeto, onde se desejava  $VSWR \leq 1,5$  e ganho em torno de 6dBi, não sendo observadas alterações significativas entre os ensaios com plano de terra retangular plano de (500mmx500mm) e o plano de terra idêntico à carenagem da aeronave (900mmx500mm).

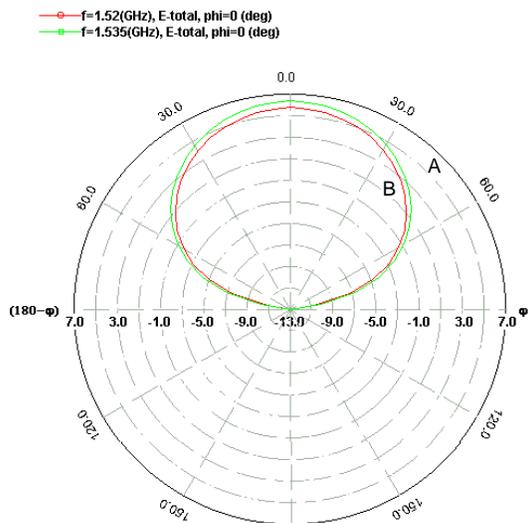


Fig. 4. Diagrama de Irradiação - IE3D™: A = 1,52GHz, B = 1,535GHz.

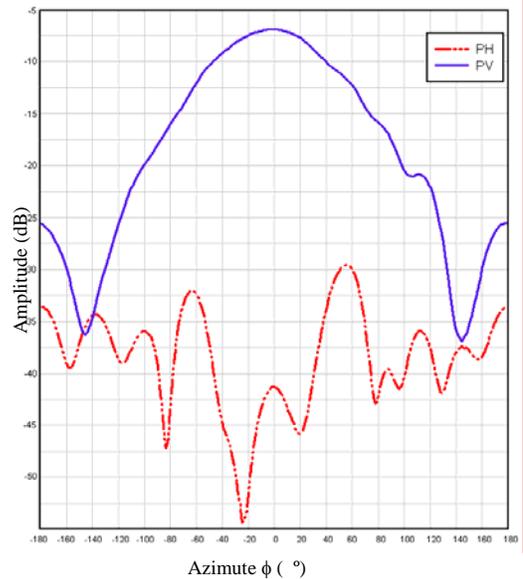


Fig. 7. Diagrama de Irradiação do protótipo.

Para melhor caracterizar a antena nas condições reais de utilização, bem como mostrar sua adequabilidade na transmissão de dados de ensaios em vô optou-se por montar a antena na aeronave e realizar um ensaio em vô.

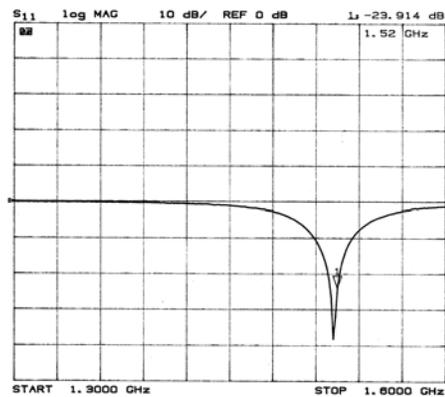


Fig. 5. Curva de perda por retorno experimental

Comparações com os resultados de antenas do tipo *Blade*, comumente utilizadas em ensaios em vô, mostram que as antenas de microlinha atendem com vantagem os requisitos de ganho. A antena tipo *Blade* utilizada nos ensaios em vô pode ser vista na Figura 8.



Fig. 8. Antena Blade utilizada em ensaios em vô



Fig. 6. Protótipo montado em plano terra conforme carenagem.

#### A. Ensaios em Vô

Um protótipo de vô foi instalado no intradorso da aeronave acoplada ao transmissor de modulação FM e sistema de aquisição de dados PCM, conforme foto da Figura 9.

Entre os objetivos dos ensaios em vô estão o levantamento de parâmetros de desempenho e qualidade de vô. Podem ainda ser realizadas observações qualitativas na estação de telemetria, tais como intensidade do sinal recebido e qualidade do sincronismo da cadeia de aquisição de dados.



Fig. 9. Montagem da antena na aeronave.

O primeiro vôo realizado com a antena de microlinha foi o de *shake-down* [6], durante o qual a aeronave efetuou diversas manobras, tais como, rolamento, derrapagem, curvas com manutenção do fator de carga e vôo supersônico a M 1,2 num raio de 55,56km (30milhas). Neste primeiro ensaio, o sinal da instrumentação foi captado pela estação terrena de telemetria localizada em São José dos Campos durante praticamente todo o tempo de vôo.

Através da análise dos dados do sistema de aquisição/transmissão, verificou-se que este primeiro ensaio foi realizado com sucesso. O nível de sinal recebido foi adequado e os dados recebidos estavam coerentes com os gravados a bordo.

O segundo vôo e os subsequentes foram realizados ao nível do mar na velocidade de 1110km/h (600 nós) durante 5min. Após o segundo vôo, verificou-se que o radome da antena havia sido arrancado devido ao arrasto aerodinâmico, fato que levou ao desenvolvimento de um dispositivo mecânico de proteção para os novos protótipos, como pode ser visto na Figura 10.

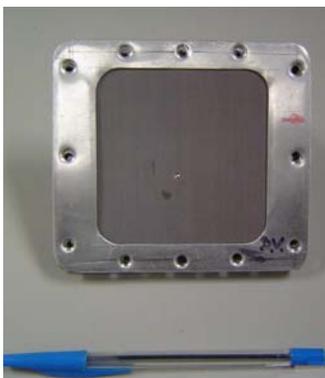


Fig. 10. Dispositivo mecânico de proteção

Após a instalação desse novo suporte, não foram mais observadas discrepâncias estruturais. Assim, pode-se afirmar que as características estruturais e mecânicas do segundo protótipo foram satisfatórias, o que ficou comprovado quando este foi submetido a velocidades supersônicas (M 1,1).

Além dos vôos de ensaio, foram realizados ainda vôos de desempenho, os quais têm como finalidade confirmar o raio de ação da aeronave, utilizando o método de pontos estabilizados [6]. Neste método, o piloto estabiliza a aeronave em uma determinada condição de vôo e compensa a mesma para o vôo reto e nivelado durante alguns minutos. Foram realizados vôos deste tipo sobre a área SBR-300, sobre o oceano, e sobre a área SBR-301, mais especificamente sobre o Vale do Paraíba. A área de ensaio foi escolhida em função de suas condições atmosféricas. De um modo geral, as condições atmosféricas durante a realização dos ensaios foram consideradas satisfatórias, tanto para o ensaio propriamente dito, quanto para a transmissão do sinal pelo sistema de telemetria; não tendo sido observadas formações atmosféricas pesadas na região da linha de visada entre a aeronave e a estação terrena de telemetria.

O perfil horizontal do vôo, para as duas áreas de ensaio utilizadas, é apresentado na Figura 11.



Fig. 11. Perfil horizontal do vôo de desempenho.

Durante estes ensaios, a estação terrena de telemetria conseguiu captar o sinal da aeronave a uma distância de aproximadamente 200km e a uma altitude de 4,5km de modo ininterrupto. Ao longo de toda a trajetória do ensaio a intensidade do sinal recebido permitiu que a aeronave fosse mantida sob vigilância em tempo integral.

Com a antena tipo *Blade* utilizada anteriormente, não era possível acompanhar a aeronave durante todo o ensaio na área SBR-300, uma vez que esta área encontra-se mais afastada da estação de telemetria e além da Serra do Mar.

A informação de distância entre a aeronave e a estação terrena de telemetria foi fornecida pelo piloto de ensaio, que informou também a radial e a distância medida pela estação de auxílio à navegação aérea (DME) entre a aeronave e o sistema que fornece a informação de azimute para aeronaves em rota ou em aproximação do aeroporto de São José dos Campos (VOR-SJ).

De uma forma geral, pode-se dizer que a antena microlinha, do ponto de vista aerodinâmico e elétrico, é mais adequada para os ensaios em vôo, pois apresenta menor arrasto aerodinâmico, menor interferência nos parâmetros de estabilidade da aeronave e maior ganho em relação à antena *Blade* anteriormente utilizada.

#### IV. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

As antenas de microlinha impressas apresentam características importantes para aplicações em aeronaves e veículos espaciais, entre as quais se destacam baixo custo, facilidade de confecção, montagem, conformação e baixo custo. Neste trabalho, foi apresentada a implementação de uma antena de microlinha retangular linearmente polarizada em Banda L para aplicação em ensaios em voo.

O protótipo desenvolvido, com auxílio de ferramenta computacional, foi testado em solo, laboratório, câmara anecóica e submetido a testes de vibração. Após estes ensaios iniciais, para sua completa qualificação, a antena foi montada na aeronave e foram realizados ensaios em voo, para se determinar o alcance do sistema de telemetria quando a aeronave sob teste está equipada com a nova antena.

Os resultados experimentais obtidos em solo e em voo mostram que a antena desenvolvida atende as especificações do projeto e aos requisitos do ensaio em voo, podendo ser utilizada para transmissão de dados de telemetria. A capacidade de projetar antenas com as especificações desejadas pelo usuário, conformável à fuselagem da aeronave e o baixo custo de manufatura tornam a antena de microlinha uma opção atrativa para uso nos ensaios em voo.

Desenvolvimentos futuros prevêm a implementação de uma rede com duas antenas, que serão localizadas no intradorso e extradorso da aeronave, para que se possa obter uma melhor cobertura da aeronave pela antena, especialmente quando da realização de manobras.

#### REFERÊNCIAS

- [1] G. Splitt, C.R.P. Rodrigues e J.C. da S Lacava, "Cylindrical Arrays of Conformal Antennas". *International Microwave Symposium*, v. II, pp. 609-614, Jul. 1989.
- [2] I.J. Bahl, P. Bhartia, *Microstrip Antennas*. Artech House, 1980.
- [3] J.M. Bezerra, *Antena de Microlinha com Substrato Anisotrópico*, Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1990.
- [4] IE3D™ – *Electromagnetic Simulation and Optimization Package*, Versão 10, Zeland Softwares Inc., 2004.
- [5] E. S. Neves, *Análise e Projeto de Antenas de Microfita Multibanda*, Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2002.
- [6] G. Russo e E Souza, *Manual de Técnicas de Ensaio em Voo*, Apostila do Curso de Ensaios em Voo – FAB, 1ª revisão, v. II, N. CEV15E-A, São José dos Campos, SP, 1990.