

Histórico das Atividades de Redução de Assinatura Radar de Aeronaves na MIG

Nohara¹, E. L., Rezende², M. C.

Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, s/n, Taubaté – SP, CEP 12060-440

Divisão de Materiais/Instituto de Aeronáutica e Espaço/Centro Técnico Aeroespacial, Av. Brigadeiro Faria Lima, 1941, São José dos Campos – SP, CEP 12227-270

Resumo — O presente artigo tem como objetivo descrever o histórico das atividades de redução de assinatura radar de plataformas aéreas na empresa MIG (Mikoyan & Gurevich), englobando o período compreendido entre os anos 1980 (ex-União Soviética) a 2000 (Rússia), realizado com as aeronaves MIG 23, MIG 29 e MIG 31. A MIG iniciou suas atividades em 1983 no MIG 23, obtendo uma redução de sua assinatura frontal de 8,6 dB. Em 1985 uma nova formulação utilizada no MIG 23 resultou em uma assinatura 1,7-2,3 vezes inferior. No período compreendido entre 1988-1993 o projeto foi paralisado devido à falta de financiamento. A retomada do projeto permitiu obter em 1997 um MIG 29 com propriedades de absorção 3 vezes superior em relação às aeronaves anteriores.

Palavras-chaves — Assinatura radar de plataformas aéreas, histórico, MIG (Mikoyan & Gurevich), MIG 23, MIG 29, MIG 31.

I. INTRODUÇÃO

Após a declaração oficial do Secretário de Defesa dos Estados Unidos Sr. Harold Brown em 22 de agosto de 1980 que os americanos estavam desenvolvendo aeronaves tipo bombardeiros invisíveis ao radar, a fabricante de aeronaves da ex-União Soviética MIG (Mikoyan & Gurevich) iniciou suas pesquisas na obtenção de aviões com baixa detecção ao radar [1,2]. A MIG iniciou efetivamente seus trabalhos em baixa detectabilidade na sua fábrica Zenith em agosto de 1981. Até então, não havia pesquisas sobre a tecnologia de baixa detectabilidade ao radar nos institutos do Ministério da Defesa, Academias de Ciências e tampouco nas Universidades. Somente nas Academias de Engenharia de Guerra haviam sido realizados muitos trabalhos teóricos e práticos, sobre baixa detectabilidade de estruturas no espectro visível. Toda a base teórica, experimental e produtiva sobre a tecnologia de baixa detectabilidade de aeronaves iria começar do zero. A denominada “Brigada 1016” da Divisão de Projetos foi encarregada para este projeto, que incluía a elaboração de toda a documentação e solução dos problemas no campo da identificabilidade [1].

A determinação das características aerodinâmicas de uma aeronave possui uma concepção teórica e experimental muito complexa. Qualquer estudo teórico exige uma comprovação experimental. Assim, para o estudo da tecnologia de baixa detectabilidade, a direção da empresa tomou a decisão de estudar primeiramente os elementos reflexivos de uma aeronave, e depois as soluções efetivas para torná-los pouco reflexivos. Para comprovação das investigações teóricas, toda a parte experimental foi realizada com aviões reais, em condições de campo aberto [1].

Evandro Luís Nohara, evandro@unitau.br, Tel +55-12-3625419; Mirabel Cerqueira Rezende, mirabel@iae.cta.br, Tel +55-12-39476420. Este trabalho foi financiado pela FAPESP (projeto 98/15839-4) e Comando da Aeronáutica.

Para a realização dos estudos, a fábrica Zenith contava com seis aeronaves MIG 23, 29 e 31 (Figura 1) [3], totalizando 18 aeronaves, duas aeronaves MIG 23 e uma aeronave MIG 31 para ensaios em voo, denominados laboratórios em voo, e quatro aeronaves experimentais armadas com mísseis baseadas nos MIG 23 e 29. No período compreendido entre 1982-1983 foram realizadas medidas em voo do diagrama de assinatura radar (*RCS – Radar Cross Section*) das aeronaves MIG 23, 29 e 31. Todo o trabalho foi realizado nas instalações radares em campo aberto (também denominado Radio Polígono) do Instituto de Investigação da Força Aérea. Entre 1983-1987 foram realizadas medidas do diagrama RCS em solo e voo das aeronaves MIG 23 e 29, para avaliação do seu recobrimento com material absorvedor de radiação eletromagnética (MARE ou *RAM – Radar Absorbing Material*). Neste período foi realizado um estudo mais detalhado no MIG 23 em condições de voo (laboratório voador), para determinação da sensibilidade das medidas de espalhamento das ondas eletromagnéticas e o nível de desempenho do MARE [1].



Fig. 1. Aeronaves MIG 23, MIG 29 e MIG 31 [3].

As medidas em solo e espaço aberto do RCS de plataformas terrestres e aéreas nos Rádios Polígonos são realizadas em ambientes como esquematizados na Figura 2, pertencente ao Exército Russo (*2 Central Research Institute*) [4]. Pode-se observar pela Figura 2 que a aeronave é suspensa por meio de cabos a uma altura de 30 metros utilizando duas torres laterais com 70 metros de altura. O sistema permite a rotação da aeronave em 360° com controle a partir do solo. Entre a aeronave e os radares são posicionados no solo uma série de refletores de controle, para evitar que o sinal emitido pelos radares (T_x) e incidente na aeronave seja refletido no solo e depois retorne ao sistema de recepção (R_x), interferindo nas medidas. As frequências disponíveis para caracterização eletromagnética compreendem 173 MHz, 831 MHz, 1,7 GHz, 2,7 GHz, 9,375 GHz e 34,8 GHz. A altura de 30 metros também foi calculada para minimizar a interação das ondas eletromagnéticas refletidas pela aeronave com o solo, reproduzindo assim, a mesma condição de medição realizada com a aeronave em voo [5].

Caso seja necessário obedecer a condição de campo distante na medição do RCS de uma aeronave com envergadura de 10 metros em 10 GHz, há necessidade de realizar a medida com a aeronave a 6,6 km do sistema T_x/R_x . A aeronave na condição de medição da Figura 2 permanece distante do complexo de antenas 780 metros, o que permite obter um erro inferior a 0,7 dB nas medidas [5]. Um refletor de referência é posicionado em uma torre atrás da posição da aeronave suspensa e com a mesma altura, para efeito de calibração das medidas [4].

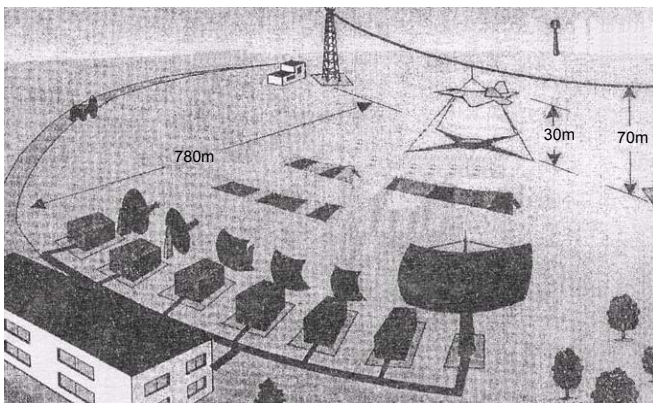


Fig. 2. Campo de medição de assinatura radar de plataformas aéreas e terrestres do Exército Russo (*2 Central Research Institute*) [4].

Em 1983 foi realizada a primeira medida frontal na aeronave MIG 23 (No. 5029), com um recobrimento MARE produzido pelo instituto VAKZ, nas instalações do Rádio Polígono do Instituto de Investigação da Força Aérea. Na documentação oficial dos resultados, firmada pelo diretor do Rádio Polígono, consta que o nível de identificabilidade da aeronave MIG 23 (No. 5029) recoberta com MARE, equipada com 2 mísseis ar-ar, na banda X do espectro eletromagnético, era 8,6 dB (86%) menor em relação à mesma aeronave sem o recobrimento MARE [1].

Na Figura 3 estão descritos os valores de RCS das aeronaves MIG 29 e F-117. A aeronave MIG 29 é supersônica, com alta manobrabilidade, equipada com mísseis ar-ar, sistema de radio-locação, radar infravermelho e mira óptica. Comparativamente, a aeronave F-117 é

subsônica, possui pouca manobrabilidade, equipada com 2 bombas de 900 kg localizadas no interior de uma câmara, sistema de visão de calor, medidores de distância por lasers e câmeras frontais de vídeo.

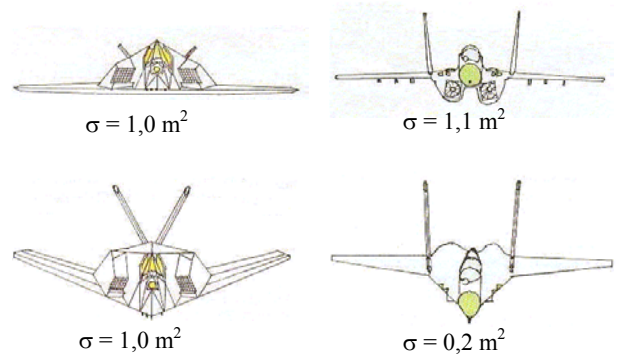


Fig. 3. Valores de RCS das aeronaves F-117 e MIG 29 em função do ângulo de aspecto [1].

A empresa Lockheed Martin, fabricante da aeronave F-117, iniciou seus trabalhos de redução de RCS de aeronaves em 1974 no governo de Gerald Rudolph Ford e gastou 30 milhões de dólares. A empresa Zenith iniciou seus trabalhos em 1982, gastando na preparação do MIG 23 em torno de 1000 dólares. Em termos de execução do cronograma, por 5 vezes foram atingidas as metas antes dos prazos previstos, e por esse motivo, foi necessário liberar antecipadamente os investimentos das próximas metas do cronograma.

Os diagramas RCS das aeronaves obtidos com os modelos teóricos e as medidas reais eram muito diferentes entre si, em termos da distribuição e intensidade dos pontos brilhantes pela superfície da aeronave. No modelo teórico, toda a superfície do avião possui pontos brilhantes com diferentes intensidades. A medição experimental mostra que a superfície do avião possui pontos brilhantes em regiões muito localizadas. Os pontos brilhantes da aeronave são: entrada de tomada de ar, câmara de pós-combustão, radomes, cabine do piloto e geometrias com diedros e triedros. De acordo com os diagramas RCS obtidos experimentalmente, pode-se concluir que uma aeronave com boa aerodinâmica possui pouca identificabilidade, podendo-se diminuir os pontos brilhantes com a aplicação de MARE [1].

A tecnologia de aplicação do material MARE desenvolvido na fábrica Zenith utiliza métodos convencionais de pintura, sendo, portanto, de baixo custo. Essa abordagem de redução do RCS de uma aeronave, isto é, reduzir o RCS pela aplicação de MARE é mais econômica do que diminuir a identificabilidade de uma aeronave mudando a sua forma. Infelizmente o recobrimento desenvolvido na empresa VAKZ era insatisfatório, pois era corrosivo e possuía baixa adesão com a fuselagem da aeronave.

Em 1984, a empresa Zenith começou a trabalhar na criação de uma segunda aeronave experimental com baixa identificabilidade frontal, baseado no MIG 23 (código MIG 23ML - No. 15016). A nova formulação do MARE foi projetada por outra empresa - VIAM, e foi aplicado na aeronave no período compreendido entre julho de 1984 até junho de 1985. A aeronave foi também equipada com um sistema de plasma aplicada na câmara de pós-combustão, com o objetivo de reduzir o RCS traseiro. A aeronave MIG 23ML (No. 15016) com as novas modificações para diminuir a identificabilidade, foi enviada ao polígono de radio do

Instituto Genshtaba em julho de 1985, onde foram realizadas medidas no período compreendido entre agosto até dezembro de 1985. O resultado de seu RCS na banda X do espectro eletromagnético com a aeronave equipada com dois mísseis ar-ar, era 10 dB inferior em relação à mesma aeronave sem o recobrimento MARE. Em 1989, o diagrama RCS da aeronave MIG 23ML (No. 15016) foi novamente avaliado no Instituto Genshtaba, onde foi verificado que o recobrimento MARE manteve suas propriedades após 4-5 anos de utilização. Essa aeronave está em serviço até hoje [1].

Em 1993, a aeronave MIG 23ML (No.15016) e uma aeronave MIG 23 sem recobrimento MARE foram demonstradas a uma delegação de Singapura no Rádio Polígono, onde os membros da delegação observaram o processo de detecção radar das duas aeronaves. A distância de detecção da aeronave MIG 23ML (No. 15016) era de 1,7 a 2,3 vezes menores em relação à mesma aeronave sem recobrimento MARE. A aeronave MIG 23 ML (No.15016) foi o primeiro caça do mundo com pouca identificabilidade, com níveis de RCS no espectro de frequências dos radares da ordem de 1,0 m². O nível exigido de assinatura radar de uma aeronave está relacionado com o objetivo de sua missão [1]:

1. Ocultar a entrada da aeronave em uma área coberta por radares.
2. Escapar da artilharia.
3. Superioridade aérea em confrontos, pelo lançamento antecipado de mísseis.

No primeiro de caso exige-se um nível de RCS em torno de 0,01 – 0,001 m², na faixa de frequências decimétricas dos radares. No segundo caso se exige um nível de RCS em torno de 0,3 - 1,0 m², na faixa de frequências centimétricas. No terceiro caso, o nível exigido é determinado pela identificabilidade do inimigo e a relação da distância de ação entre os dois combatentes.

Em 1986, os membros do Estado Maior analisaram os resultados da aeronave MIG 23ML (No.15016) e definiram o seu futuro. Neste mesmo período, as pessoas que trabalhavam no projeto de redução do RCS de aeronaves da empresa MIG tomaram conhecimento do nível exigido pelos americanos para uma aeronave furtiva, em torno de 0,01 – 0,001 m². Assim, o Estado Maior não aprovou os níveis obtidos com a aeronave MIG 23ML (No. 15016) para situações de guerra, uma vez que praticamente não seria possível voar secretamente em áreas inimigas. Entretanto, o Estado Maior não analisou um detalhe importante: a distância de detecção da aeronave MIG 23ML foi reduzida em torno de duas vezes em termos de resposta dos sistemas radares e de mísseis inimigos. Portanto, a aeronave MIG 23 ML possui uma superioridade em termos de guerra de mísseis de longa distância [1].

No período compreendido entre 1983-1986 a MIG trabalhou no recobrimento das aeronaves com plasma. Em 1985 foram realizados vários trabalhos experimentais da influência dos ângulos, bordas, suportes das antenas e heterogeneidades eletrodinâmicas da aeronave no diagrama RCS. Uma grande quantidade desses trabalhos foi realizada em instituições acadêmicas. Foram realizados trabalhos de produção de MARE com controle de cor e brilho e estabilidade em temperaturas entre 400°C a 1000°C. Também foram realizados trabalhos de pintura de camuflagem sobre o MARE. As aeronaves equipadas com mísseis e metralhadoras

foram pintadas na cor cinza-azul, e as aeronaves com características de baixo vôo na cor verde-clara.

Em 1987, a empresa iniciou os trabalhos para diminuir a visibilidade da aeronave MIG 29. Para o recobrimento de uma aeronave com essa geometria foi necessário elaborar 5 tipos diferentes de formulações de MARE, com um desempenho no mínimo 4 vezes superior em relação às outras formulações MARE produzidas anteriormente. Nesta fase aumentaram a cooperação entre os realizadores do projeto. A empresa Zenith enviou aos executores do projeto um cronograma de trabalho para a Divisão OKB que começou a trabalhar na preparação de toda a documentação na aeronave MIG 29 (No. 3426). Esta aeronave foi enviada para medição do diagrama RCS no Rádio Polígono da Força Aérea. Depois o MIG 29 foi enviado ao IVTAN para o planejamento de todo o recobrimento da aeronave. A empresa Zenith IVTAN preparou toda a documentação das exigências técnicas do RAM para a realização do trabalho no MIG 29, que foi enviada para a brigada dos técnicos de aviação [1].

Em 1988 todos os recursos financeiros para a realização dos trabalhos na aeronave MIG 29 (No. 3426) foram cancelados. Nesse período, a empresa Zenith com ajuda do complexo de medição do Instituto de Investigação Científica RTA, realizou medidas mais precisas no diagrama RCS da aeronave MIG 23 ML (No. 15016). O complexo de medição RTA possuía uma precisão de deslocamento da aeronave da ordem de 0,25 m e uma sensibilidade da medição do RCS de 0,001 m². Em 1992 os trabalhos no MIG 29 (No. 3426) foram retomados, quando a direção da empresa decidiu ampliar os serviços para venda aos compradores estrangeiros, incluindo trabalhos de diminuição do RCS de aeronaves. A empresa criou uma divisão que trabalhava e organizava toda parte comercial na área de redução do RCS, denominada MIG Service.

Os especialistas mais renomados da empresa VIAM foram trabalhar em outra empresa, denominada IVTAM, para onde foram os trabalhos. Assim os trabalhos realizados no MIG 29 (No. 3426) foram realizados por duas organizações, sendo a principal a empresa Zenith, que foi encarregada por toda a direção organizacional, trabalho tecnológico do processo de diminuição da identificabilidade, exigências técnicas do MARE, preparação da superfície e a sua aplicação. A União Técnico Científica ENERGOIVTAM criou 5 marcas diferentes de MARE e fez a sua aplicação de acordo com as especificações técnicas da Zenith. A medição no rádio polígono GENSHTABA mostraram que o nível de redução do RCS do MIG 29, com recobrimento IVTAM, era 3 vezes superior em relação ao MIG 23, obtido com o recobrimento VIAM [1].

A partir de 1992 a empresa Zenith mudou o nome para APNK MIG, época na qual se iniciaram os pedidos de serviços de compradores estrangeiros. Em agosto de 1993 o Ministro de Defesa da República Árabe – Síria, após ter tomado conhecimento dos resultados da redução da assinatura radar do MIG 23 ML (No. 15016) na empresa ANPK MIG, confirmou que estava preparado para firmar um contrato preliminar para recobrimento de 4 aeronaves com MARE. Se o resultado fosse satisfatório, a Síria iria enviar mais aeronaves. Em outubro de 1993, após a demonstração em vôo do MIG 23ML (No. 15016), a delegação da República de Singapura se mostrou interessada em criar uma companhia subsidiária em Singapura para diminuição do RCS de aeronaves com a Rússia. A companhia NITSPPE

fechou contrato com a ENERGOIVTAM, formando uma empresa em Singapura.

Em dezembro de 1993 a empresa estatal russa SPETSVNESHTECNICA fechou um contrato com o Ministério de Defesa da Síria para recobrir as aeronaves MIG 23 e MIG 29. Em 1994, uma companhia Síria realizou os experimentos de identificação com a aeronave MIG 29, com e sem recobrimento MARE. A companhia Síria não detectou diferenças entre as características do RCS das aeronaves e sugeriu para a equipe de especialistas deixar o país em 24 horas. Após o ocorrido a empresa ANPK MIG iniciou os trabalhos para estudar as causas do fracasso, medindo as características de reflexão do recobrimento da aeronave MIG 29 (No. 3426), com ajuda de equipamentos para a medição das características locais de reflexão do RAM, bem como equipamentos para medição integral, realizadas pela empresa NVP (PANATRON) [1].

Paralelamente com a investigação da aeronave MIG 29 (No. 3426), a empresa ANPK MIG tentou reproduzir o MIG 23ML (No. 15016) com os estudos das últimas investigações da empresa VIAM. A indústria química deixou de produzir os componentes responsáveis pela adesão de todos os tipos de MARE para o MIG 23, mas iniciaram a produção de duas novas matrizes para o MARE, uma delas baseadas em sistemas poliuretânicos e outra baseada em polímeros fluorados, este último aplicado em aeronaves supersônicas devido à sua alta estabilidade ao calor.

Em 1996, por meio de uma cooperação com a Universidade Estatal de São Petersburgo de Telecomunicações, a empresa NVP PANATRON e a ANPK MIG fabricaram um novo tipo de MARE, denominado LAK-3-10. Em 1997 foram iniciados os trabalhos de recobrimento da aeronave MIG 29 (No. 3425) com o recobrimento LAK 3-10, finalizados em 1998. Neste ano foram realizadas as medidas de desempenho do material sobre a aeronave em solo e com os motores ligados. Em abril de 1999 foram realizadas medições das características de reflexão do MIG 29 (3425) em vôo. O nível medido de identificabilidade da aeronave MIG 29 (No. 3425), com recobrimento LAK 3-10, era aproximadamente 3 vezes menor que o nível de identificabilidade do MIG 29 (No. 3426) com recobrimento NITS-PPE. O valor de RCS da aeronave MIG 29 (No. 3425) na visão horizontal é de aproximadamente $1,0 \text{ m}^2$ [1].

Fatos para pensar:

1. A empresa *Lockheed Martin* criou o primeiro avião tático F-117 com baixa visibilidade em 1983. A empresa *Northrop Grumman* criou em 1991 a primeira aeronave estratégica, o B-2. A empresa MIG foi a primeira do mundo a criar 4 tipos de MARE, para as aeronaves MIG 23 (No. 5929 e No. 15016) em 1985, MIG 29 (No. 3426) em 1992 e MIG 29 (No. 3426) em 1998 [1].

2. A MIG atualmente possui todas as ferramentas necessárias para realizar trabalhos de redução da assinatura radar de aeronaves [1]:

- A MIG tem um modelo de cálculo da interação das ondas eletromagnéticas com um corpo de forma complexa e uma base de dados de reflexão das heterogeneidades eletrodinâmicas.

- A MIG possui um complexo de medição de RCS com sensibilidade de $1,0 \text{ mm}^2$ e precisão de posicionamento de alvos de 0,3 metros, em condições de campo distante.

- A MIG possui a tecnologia para diminuir o RCS de partes isoladas e do avião em conjunto. Também possui MARE para adesão em substratos de alumínio e aço e todos equipamentos necessários para medir a qualidade do recobrimento MARE.

- A tecnologia *stealth* da MIG não necessita mudar a forma do avião e suas características de vôo, estabilidade e manobrabilidade. Esta tecnologia pode ser utilizada para produção em série nas fábricas onde são produzidas os aviões.

II. CONCLUSÕES

A MIG iniciou suas atividades em 1983 no MIG 23, obtendo uma redução de sua assinatura frontal de 8,6 dB. Em 1997 a MIG chega a um valor de RCS frontal de $1,0 \text{ m}^2$ para o MIG 29, comparável ao valor do RCS do F-117. A filosofia russa de redução da assinatura radar preza a colocação de MARE sem a mudança da geometria externa da aeronave, o que não altera suas características de vôo, estabilidade e manobrabilidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Processo no. 98/15839-4), CNPq (Processo No. 303528/2003-6), FINEP (01757/03) e ao Comando da Aeronáutica.

REFERÊNCIAS

- [1] ZMUROV, Vsevolod. **Sim, nós temos Mig's Invisíveis!** Aircraft Aviation Magazine. No. 3, 2000, pp. 32-34. ISSN-0869-59-46. Em russo.
- [2] NOHARA, E. L. **Redução da Seção Reta Radar de Plataformas Aéreas.** Fábrica de aeronaves MIG (Mikoyan & Gurevich). Moscou, Rússia. Estágio técnico realizado durante o doutorado sanduíche, Março, 2002.
- [3] MIG – Russian Aircraft Corporation. Disponível em <<http://www.migavia.ru>>. Acesso em: novembro, 2006.
- [4] SKORODUMOV, I. A. **Metodologia de Medição de RCS de Aeronaves.** X International Conference On Spin-Electronics and Gyrovector Electrodynamics, 2001, Firsanovka. Rússia: Moscow Power Engineering Institute. p. 457-459. Em russo.
- [5] NOHARA, E. L. **Caracterização Eletromagnética de Plataformas Aéreas e Terrestres.** Institute of Radioengineering and Electronics – Academy of Sciences. Fryazno, Rússia. Estágio técnico realizado durante o doutorado sanduíche, Fevereiro-Abril, 2002.