

## **DIRECTED INFRARED COUNTERMEASURES (DIRCM), ESTAMOS PROTEGIDOS?**

## **DIRECTED INFRARED COUNTERMEASURES (DIRCM), ARE WE PROTECTED?**

O Maj Av Bruno Américo Pereira concluiu o CFO em 2003, possui especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2009), especialização em Gestão Pública e Emprego da Força Aérea na Universidade da Força Aérea (2015) e mestrado em Ciências Aeroespaciais na Universidade da Força Aérea (2018). Atualmente é Chefe da Célula de Doutrina do 1º GTT, sediado na Ala 2 em Anápolis.

Contato: americobap@fab.mil.br



O Cap Av Caio Augusto de Melo Silvestre concluiu o CFO em 2011. Em 2014, realizou o Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Em 2018, concluiu o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Aplicações Operacionais (PPGAO) no ITA. Atualmente é Adjunto da Divisão de Pesquisa e Desenvolvimento no Instituto de Aplicações Operacionais (IAOp).

Contato: caio.silvestre.1990@gmail.com



### **RESUMO**

A crescente ameaça e desenvolvimento de mísseis infravermelhos demandam o emprego de novas contramedidas e o desenvolvimento de novas doutrinas robustas, isto é, que sejam eficientes contra todas as gerações de mísseis infravermelhos. Desta forma, surge o sistema DIRCM o qual será embarcado na aeronave KC-390. De forma a se balizar o emprego operacional deste sistema, neste trabalho é descrito o desenvolvimento tecnológico dos sistemas de guiamento de mísseis infravermelhos, bem como o princípio de funcionamento de sistemas DIRCM. A partir desses conhecimentos, elaboram-se algumas considerações operacionais relativas aos requisitos do funcionamento do subsistema de geração de laser de sistemas DIRCM, apresentando algumas soluções disponíveis no mercado. Algumas necessidades operacionais são elencadas, principalmente a avaliação operacional desse sistema. Por último, são apresentadas algumas necessidades operacionais que devem ser observadas quando forem iniciados novos processos de aquisição de sistemas DIRCM.

**Palavras-Chave:** Guerra Eletrônica, DIRCM, Mísseis Infravermelhos, KC-390.

### **ABSTRACT**

The growing threat and development of infrared missiles demand the use of new countermeasures and the development of new robust doctrines, in other words, that they are effective against all generations of infrared missiles. In this way, emerge the DIRCM systems with which the KC-390 will be equipped. In order to indicate the operational use of this system, the technological development of infrared missile guidance systems and the operating principle of DIRCM systems are described. Based on this knowledge, some operational considerations regarding the operating requirements of the laser generation subsystem of DIRCM systems are brought up, presenting some solutions available in the market. Some operational needs are highlighted, mainly the operational evaluation of this system. Finally, some operational requirements that should be observed when new processes for the acquisition of DIRCM systems initiate are identified.

**Keywords:** Electronic Warfare, DIRCM, IR Missiles, KC-390.

## I – INTRODUÇÃO

A demanda para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de contramedidas infravermelhas é uma consequência direta da extensa proliferação de mísseis infravermelhos, os quais podem ser usados para atacar diferentes tipos de plataformas militares e civis, tais como aeronaves.

O desenvolvimento contínuo de mísseis guiados por calor fez com que esses armamentos fossem considerados uma arma de ameaça assimétrica, pois são relativamente baratos e têm se mostrado extremamente eficazes, destruindo aeronaves modernas e sofisticadas. Portanto, não existe dúvida em relação à sua eficácia.

Os sistemas portáteis, conhecidos como mísseis de ombro (MANPADS), possuem uma relativa facilidade de emprego por sua portabilidade e mobilidade. Além disso, o processo de engajamento com o alvo é relativamente simples; consiste em encontrar um alvo, rastreando e depois lançando o armamento. O míssil guiado é autônomo, depois que sai do seu lançador, e passivo, já que não emite radiação infravermelha para seu guiamento. A alta mobilidade e transportabilidade fazem com que táticas de se evitar a zona de engajamento dos MANPADS sejam apenas efetivas quando se emprega a aeronave em alta altitude. Entretanto, essa alternativa pode simplesmente expor a aeronave a outros tipos de ameaça, principalmente quando se tem um sistema integrado de defesa aérea [1].

Alguns estudos sugerem [1, 2] que os mísseis infravermelhos foram responsáveis por mais de 80% de todas as perdas de aeronaves de combate nos últimos 40 anos. A Fig. 1 mostra um resumo dos incidentes documentados em um período de 35 anos até os anos 90.

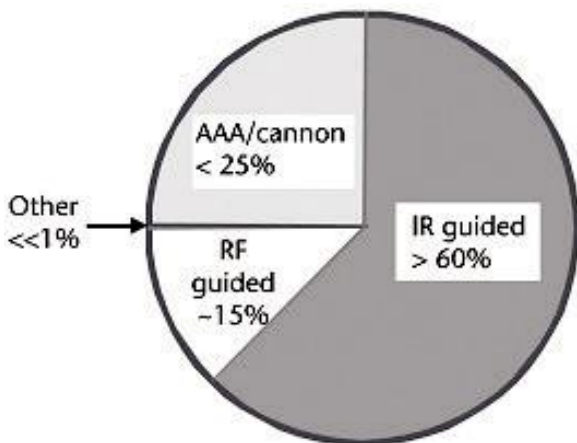


Figura 1 – Aeronaves abatidas por tipo de ameaça [1].

A ascensão do terrorismo mundial e a proliferação desses armamentos relativamente simples serviram apenas para reforçar a necessidade de contramedidas infravermelhas mais robustas e eficazes.

Para que se entenda o funcionamento e qual o princípio de eficiência deste tipo de contramedida, a fim de desenvolver doutrina, faz-se necessário co-nhecer inicialmente a ameaça (mísseis e seus sistemas de detecção).

## II – O DESENVOLVIMENTO DE MÍSSEIS INFRAVERMELHOS

A capacidade de contramedidas infravermelhas proverem uma alta performance de proteção de aeronaves é altamente dependente do entendimento da operação de várias classes de mísseis infravermelhos, principalmente do seu sistema de guiamento.

Sistemas de contramedidas começaram a ser desenvolvidos a partir da década de 60, visando suprimir a ameaça dos mísseis infravermelhos. Estas contramedidas podem ser divididas em dois grupos: as contramedidas ejetáveis que buscam seduzir o sensor do míssil, grupo este representado pelas diversas gerações de flares, desde simples flares MTV a flares cinemáticos; e as contramedidas infravermelhas, grupo de contramedidas embarcadas, conhecidas como *jammers*, cujo princípio de funcionamento se baseia em confundir o *seeker* do míssil. A primeira geração de *jammers* se deu com interferidores que consistem de uma fonte de calor modulada mecanicamente, representada na FAB pelo IR *jammer* do AH-2 Sabre, o qual possui eficiência contra mísseis de baixa geração. A Fig. 2 ilustra o desenvolvimento dos MANPADS e das contramedidas ejetáveis e embarcadas.

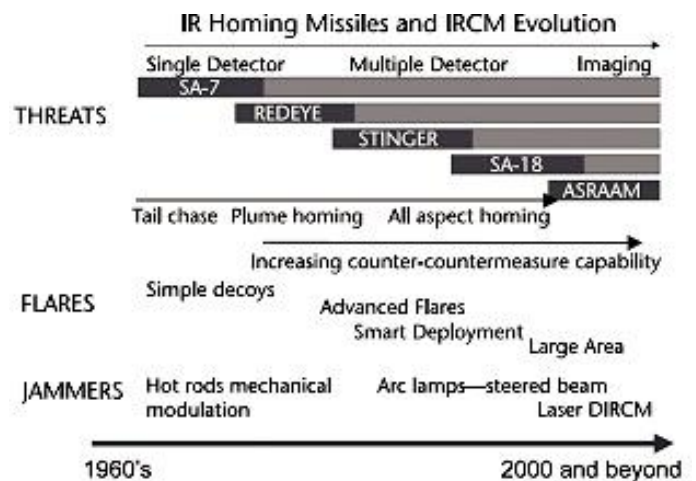


Figura 2 – Evolução de Mísseis infravermelhos e suas contramedidas [1].

De forma a se obter eficiência contra mísseis mais modernos e mais antigos, surge o *Directed Infrared Countermeasures* (DIRCM), que são capazes de emitir radiação laser modulada na banda do detector infravermelho da ameaça.

Esse sistema é normalmente de emprego reativo, sendo ativado por um sistema de alerta (MAWS), o qual detecta a aproximação do míssil atacante. O atual desenvolvimento dos DIRCM fez com que esse sistema se tornasse efetivo contra uma grande quantidade/variedade de mísseis infravermelhos.

O desenvolvimento tecnológico que permitiu a maior flexibilização do aspecto de engajamento de mísseis infravermelhos foi a evolução dos sensores infravermelhos. Os detectores infravermelhos de primeira geração são sensíveis a fótons com comprimentos de onda de cerca de 2  $\mu\text{m}$ . Nesta banda eletromagnética tem-se o metal quente do escapamento do motor como principal emissor da aeronave.

Já os detectores de última geração são sensíveis a comprimentos de onda maiores compreendidos entre 4 e 5  $\mu\text{m}$ . Nesta banda do espectro infra-vermelho, toda a fuselagem da aeronave consegue ser distinguida do ambiente, permitindo assim um engajamento em todos os ângulos de aspecto entre míssil e alvo.

### III – DIRECTED INFRARED COUNTERMEASURES (DIRCM)

O tempo de engajamento e impacto de armamentos antiaéreos é muito baixo. Assim, o sistema de contramedida deve ser completamente autônomo e independente de ação do piloto, garantindo que, desde a detecção da ameaça até a sua reação, este ocorra em poucos segundos.

Todos os DIRCMs se baseiam em um sistema de alerta de ameaças, o qual indica ao sistema que uma ameaça se aproxima por uma determinada direção.

Esse sistema de alerta, conhecido como *Missile Approach Warning System* (MAWS), é usualmente um conjunto de sensores eletro-ópticos passivos conectados a uma unidade de controle.

A informação fornecida pelo MAWS é então utilizada pelo controlador do direcionador de feixe para: 1. adquirir o alvo; 2. apontar o feixe; e 3. rastrear o míssil. A fonte de emissão laser recebe um comando para gerar e modular o laser, de acordo com a ameaça detectada.

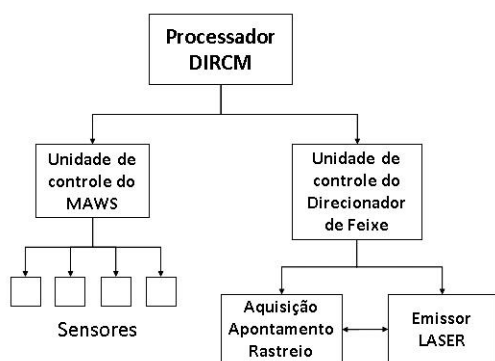


Figura 3 - Arquitetura do sistema DIRCM [1].

A arquitetura típica de um DIRCM é apresentada na Fig. 3. O fator crítico para o seu funcionamento é que todos os subsistemas funcionem corretamente e integrados, garantindo assim um potencial aumento na taxa de sobrevivência da plataforma.

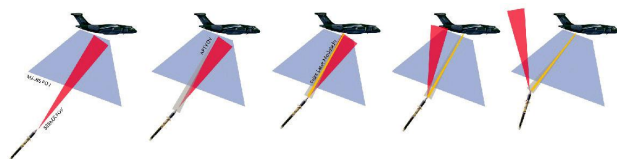


Figura 4 - Sequência das fases do processo de engajamento de DIRCM/míssil.

Já a Fig. 4 ilustra uma típica sequência de engajamento míssil/DIRCM. Esta apresenta diferentes fases do processo, as quais são detalhadas abaixo:

- Míssil se aproxima da aeronave, a qual possui DIRCM;
- Os sensores do MAWS, com amplo campo de visada, ou *Field of View* (FOV), detectam a emissão infravermelha, ou ultravioleta, da ameaça, determinando o ângulo de aproximação do mesmo;
- O diretor de feixe adquire e rastreia a ameaça detectada;
- O processador do DIRCM comanda a fonte laser para emitir um feixe modulado, adequado para ludibriar/saturar o *seeker* do míssil; e
- O diretor de feixe laser do DIRCM é direcionado para o ângulo de aproximação, buscando uma assinatura termal na proa de aproximação.

Ainda na Fig. 4, é possível notar que o DIRCM foi bem-sucedido, conseguindo quebrar o “travamento óptico” do míssil (*locking*), já que este, após tais etapas, deixa de rastrear a aeronave.

É importante salientar que todo esse processo deve ocorrer em aproximadamente 1 (um) segundo, desde a detecção inicial do míssil até o seu des-vio.

### IV – CONSIDERAÇÕES OPERACIONAIS

#### A. Banda de emissão do laser

É primordial para a efetividade do sistema de contramedida baseada em laser que a radiação emitida pelo sistema esteja dentro da banda de detecção do detector do míssil infravermelho.

As bandas do espectro eletromagnético empregadas pelos sistemas de detecção são conhecidas já que são determinadas pelas janelas atmosféricas de propagação de radiação eletromagnética. Estas janelas atmosféricas são ilustradas na Fig. 5. Mísseis infravermelhos de baixa geração operam nas bandas discriminadas em vermelho (2 a 2,7  $\mu\text{m}$ ) e em verde (3 a 3,8  $\mu\text{m}$ ).

Já *seekers* infravermelhos mais avançados, como citado anteriormente, operam na banda de 4 a 5  $\mu\text{m}$  discriminada em amarelo. Em azul, tem-se a banda do infravermelho distante que é empregada principalmente por sensores imageadores.

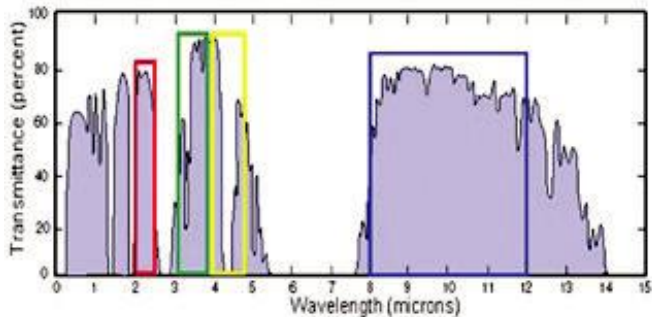


Figura 5 - Janelas Atmosféricas.

É característica de sistemas baseados em laser a banda espectral bastante estreita, a qual é determinada pelas características quânticas do modo de geração de laser. Cada modo de geração possui determinadas bandas espectrais nas quais é possível a geração direta de alta eficiência.

Apesar de a geração direta ser base de muitos requisitos para operação de alta eficiência, poucas tecnologias de fonte laser são capazes de gerar a radiação no infravermelho médio entre 4 e 5 microns sem usar métodos de conversão não-linear. Esta não é desejável, pois o processo de conversão acrescenta complexidade e geralmente resulta em perda de eficiência na operação da fonte laser. Desta forma, dois tipos de fonte de laser são apontados como eficientes para emprego em sistemas DIRCM [3,4,5].

### A.1. Laser de fibra

A literatura [3,4] aponta que fontes a fibra dopada por túlio é bastante indicada para aplicações em DIRCM, principalmente devido aos seguintes fatores: maturidade tecnológica, alta irradiância do feixe e capacidade de emitir radiação em diversos comprimentos de onda com certa eficiência. O sistema DIRCM, ilustrado na Fig. 6, embarcado na aeronave KC-390 é o sistema J-MUSIC (*Multi-spectral Infrared Countermeasure*) baseado em laser a fibra ótica.



Figura 6 - ELBIT J-MUSIC [6].

### A.2. Laser de cascata quântica

Desenvolvimentos recentes em fontes de laser, baseadas em semicondutores para geração direta de radiação na banda do infravermelho médio, permitiram alcançar os requisitos para aplicação em DIRCM [1,3,5], em particular a tecnologia de laser em cascata quântica (*Quantum Cascade Laser - QCL*). A principal vantagem deste método é a capacidade de o projetista poder determinar as bandas de operação deste laser, ao contrário de sistemas baseados em fibra que dependem da dopagem da fibra com elementos específicos.

A tecnologia QCL continua a avançar rapidamente com uma potência de saída da ordem de alguns Watts com excelente qualidade do feixe na região do infravermelho médio. Por essas características, a tecnologia se torna bastante atraente para aplicações em DIRCM. Aliás, a empresa Northrop Grumman já comercializa um equipamento DIRCM baseado em QCL, ilustrado na Fig. 7.



Figura 7 - Northrop Grumman AN/AAQ-24(V) DIRCM [7].

## B. Emprego operacional

Apesar da complexidade tecnológica, os sistemas DIRCM oferecem certa simplicidade de operação para a tripulação, já que, em teoria, ambos os sistemas *open-loop* e *closed-loop* operam de forma reativa e autônoma.

### B.1. Open loop DIRCM

Nesta técnica específica de emprego do sistema de contramedida direcionada, não é possível se ter nenhuma indicação do tipo de ameaça que está se aproximando da aeronave. Consequentemente a forma de onda inerente ao feixe interferente deve ser projetada para ser efetivo contra os diferentes *seekers* óticos, passíveis de serem encontrados no teatro de operações. Em [1] são descritas duas técnicas para aplicação do DIRCM em *open loop*.

### B.2. Closed loop DIRCM

A técnica de *closed loop* IRCM (CLIRCM) é mais sofisticada e emprega uma técnica de interro-



gação para identificar a ameaça que se aproxima da aeronave [1]. Essa técnica possui um módulo extra no processo de engajamento, que consiste no emprego de uma iluminação inicial, com a função de interrogação. A retro-reflexão dos elementos óticos, e particularmente da modulação induzida pelo retículo do *seeker*, permite ao CLIRCM identificar a classe do *seeker* e sua condição de operação. O diretor de feixe, ou outro detector, pode ser utilizado para detectar a retro-reflexão do *seeker*.

Visando obter uma emissão laser com características ótimas, é possível identificar a ameaça por meio de um banco de dados de informações contendo os diversos tipos de *seekers* óticos existentes. A comparação entre as características espectrais embutidas nos sinais retro-refletidos com os dados armazenados permite a geração de uma forma de onda ótima do sinal interferente.

No caso da aeronave KC-390, a garantia de efetividade do sistema contra determinado tipo de ameaça, acaba por gerar assimetria de poder, permitindo operar a aeronave em cenários com a presença de sistemas antiaéreos.

Essa relativa facilidade de operação e a assimetria tecnológica só podem ser garantidas por meio da avaliação operacional do sistema, a qual pode ser realizada em diversas etapas com o sistema em bancada ou embarcado. A seguir são citados alguns aspectos do sistema DIRCM que são críticos, de forma que a não consonância de algum deles coloca a eficiência de todo o sistema à prova, ou seja, essas capacidades devem ser mensuradas e analisadas de forma a garantir a eficiência do sistema:

- Geração de radiação em múltiplas bandas de detecção de mísseis infravermelhos;
- Capacidade de apontamento e estabilização do feixe laser de acordo com a largura do feixe de forma a se obterem valores de irradiância do laser no míssil capazes de gerarem os efeitos desejados; e
- A forma de onda do laser deve ser modulada de forma ótima. Em sistemas *open-loop*, a forma de onda deve ser capaz de ser eficiente contra todos os tipos de mísseis no cenário de operação. Já em sistemas *closed-loop*, deve-se garantir que o sistema seja capaz de identificar o tipo de míssil e gerar uma forma de onda eficiente contra essa ameaça.

Além disso, os operadores e mantenedores deste sistema de Guerra Eletrônica devem ser capazes de seguir e de criar procedimentos técnicos que permitam a garantia de operação do sistema em sua máxima capacidade operacional.

### C. Futuras necessidades operacionais

É fundamental para uma Força Aérea acompanhar os avanços tecnológicos, de tal modo que

seus combatentes e líderes estejam, além de explorar ao máximo as capacidades operacionais no presente, sempre atentos às futuras demandas operacionais. A seguir são citadas as capacidades futuras que devem ser almejadas em sistemas DIRCM que embarcarão outros vetores da FAB:

#### C.1. Necessidades imediatas

- Menor tamanho e peso do direcionador de feixe e da fonte laser de forma a permitir empregar o DIRCM em plataformas menores;
- Tecnologia simplificada da fonte laser para aumentar a confiabilidade e reduzir custos de aquisição e manutenibilidade;
- Fonte laser mais eficiente em geração de radiação em múltiplas bandas do espectro eletromagnético; e
- Sistemas capazes de gerar formas de ondas capazes de alcançar alta efetividade contra diversos tipos de ameaças.

#### C.2. Necessidades de longo prazo

- Sistemas capazes de alcançar efetividade contra os sistemas imageadores de última geração de forma robusta; e
- Emprego de sistemas DIRCM cuja arquitetura do sistema permita que a fonte laser seja empregada em outras aplicações como em comunicações, *Light Detection and Ranging* (LiDAR) e interrogação de alvos.

## IV – CONCLUSÕES

A crescente ameaça e desenvolvimento de mísseis infravermelhos demandam o emprego de novas contramedidas e o desenvolvimento de novas doutrinas robustas, ou seja, medidas que sejam eficientes contra todas as gerações de mísseis infravermelhos. Neste trabalho, foi descrito o desenvolvimento tecnológico dos sistemas de guiamento de mísseis infravermelhos, bem como o princípio de funcionamento de sistemas DIRCM.

A partir desses conhecimentos, puderam-se elaborar algumas considerações operacionais relativas aos requisitos do funcionamento do subsistema de geração de laser de sistemas DIRCM, apresentando algumas soluções disponíveis no mercado.

Além disso, visando garantir assimetria de poder gerada pelo emprego do sistema DIRCM na aeronave KC-390, algumas necessidades operacionais foram elencadas. Destaca-se a grande importância da avaliação operacional desse sistema para que se possa empregá-lo de forma ótima, ou seja, explorando ao máximo sua capacidade operacional. Por último, devido à constante necessidade de evolução de uma Força Aérea, foram elencadas algu-

mas necessidades operacionais que devem ser observadas quando forem iniciados novos processos de aquisição de sistemas DIRCM.

## REFERÊNCIAS

[1] TITTERTON, D. **Military Laser Technology and Systems**. Norwood, Artech House, 2015.

[2] AUSTRALIAN GOVERNMENT. **Man-Portable Air Defense Systems (MANPADS) Countering the terrorist threat**, 2008.

[3] ELDER, I. **Performance Requirements for Countermeasures Laser**. Proceedings of SPIE: Technologies for Optical Countermeasures VII, 2010.

[4] ELDER, I. **Thulium Fibre Laser pumped mid-IR source**. Proceedings of SPIE: Technologies for Defense and Security V, 2009.

[5] WAGNER, J.; SCHULZ, N.; RÖSENER, B.; RATTUNDE, M.; YANG, Q. et al. **Infrared semiconductor lasers for DIRCM applications**. Proceedings of SPIE: Technologies for Optical Countermeasures V, 2008.

[6] ELBIT SYSTEMS. **Directed IR Countermeasures**, Haifa, 2017.

[7] NORTHROP GRUMMAN. **AN/AAQ-24(V) DIRCM, 2018**.