

SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO TERMINAL (*SEEKERS*) EM MUNIÇÕES GUIADAS

Cap QEM Eduardo Henrique dos Santos



A necessidade de sobrepujar o inimigo com o advento do ataque surpresa tem sido o grande norteador do desenvolvimento de equipamentos de uso militar. O míssil balístico V-2, por exemplo, projetado e testado pelos nazistas durante a Segunda Grande Guerra, deveria levar destruição a instalações militares e cidades das Forças Aliadas, distantes da Alemanha, sem exposição direta ao inimigo e sabendo que eles não possuiriam meios de defesa (FORD, 1973).

É com base nessa premissa e diversas outras, sobretudo de cunho político e estratégico que governos vêm destinando esforços e recursos no desenvolvimento de sistemas de armas modernos e munições inteligentes (GACIAC, 1987).

Não é à toa que esse tem sido o caminho percorrido, porque, além de serem projetadas para operar sob condições ambientais adversas, munições guiadas possibilitam a execução de ataques e defesas de modo eficiente, contra diversos tipos de alvos e/ou ameaças, de rápida resposta, seja com fogos diretos ou indiretos, e baixo risco de perda e exposição de pessoal e/ou material. O indicativo de melhor eficácia implica, inclusive, que menos munição se faz necessária no cumprimento de determinada tarefa, com possíveis ganhos de ordem logística, e talvez econômica, dada a menor necessidade de meios para operação, transporte, armazenamento e manutenção.

A experiência mostra, contudo, que armas guiadas são projetadas para que elas ajam sobre alvos específicos, com poderes de ação limitados contra os demais tipos de ameaças (AGARD, 1992). Desse modo, é fundamental, ainda na fase de concepção do projeto, saber caracterizar bem: a) o tipo de alvo/ameaça e suas especificidades (se de coordenada fixa, como centrais de energia e aeroportos, ou móveis, como aeronaves e embarcações), b) efeitos terminais desejados (anti-pessoal e/ou anti-material), c) existência ou não de ações de contramedidas (jamming de sinal de rádio, flare etc.), d) integração da munição com plataforma de lançamento (navios, submarino, blindados etc.), e) requisitos macro de desempenho (tempo de prontidão para tiro, alcance, CEP etc.) e f) outras correlatas (operação da munição, logística, manutenção etc.). (GUERRA et. al, 2020).

É, portanto, com olhos voltados para aspectos de navegação embarcada e guiagem terminal em munições guiadas, com foco nos tipos de alvos/ameaças e suas características, que o presente documento foi redigido.

Antes de um veículo guiado saber para onde ele deve ir, ele tem de possuir meios que o possibilitem, num dado sistema de referência, se localizar (posição e velocidade) e se orientar espacialmente. Tais dados caracterizam as informações de navegação do corpo, e são a partir deles que as demais atividades em munições guiadas – guiamento, controle e atuação – são executadas e assim a munição consegue se deslocar no espaço até o alvo.

Antigamente, na época das grandes

navegações, por exemplo, as atividades de orientação e localização espacial, apesar das limitações, se davam com o emprego de sextantes, enquanto a que velocidade dos navios era estimada por contagem de tempo para percorrer distâncias conhecidas. Na era moderna, a atividade de navegação embarcada tem sido realizada por instrumentos capazes de medir movimentos, sejam eles lineares, como acelerômetros, quanto angulares, como girômetros.

Acelerômetros são dispositivos que realizam medidas de aceleração inercial linear enquanto que girômetros de velocidade angular. O tratamento conjunto de dados de tais dispositivos possibilita que informações de posição, velocidade linear e orientação de um corpo no espaço sejam determinadas, tendo por base um ponto de partida. Essa técnica de junção de dados é conhecida na literatura especializada pelo termo mecanização (NOURELDIN et. al, 2013).

Ocorre que os dados advindos apenas de unidades de medidas inerciais, mesmo que modernas, tendem a se degradar com o transcorrer do tempo de operação, ocasionando o aumento dos erros das medidas de navegação. Consequentemente, elas deixam de ser confiáveis com o passar do tempo. Em operações breves, a degradação de medidas de navegação é limitada, não trazendo, geralmente, tão grandes impactos. A degradação das medidas de navegação, contudo, será substancialmente maior quanto maior for o período em operação. Nesses cenários, os objetivos de acurácia ao término de uma longa missão com munição guiada, por exemplo, podem ficar comprometidos. (GUERRA et. al, 2020)

Fig. 1 - INS atual (esquerda) e INS que levou o homem à lua (direita)



Fonte: apollo11space.com e Karnick (2007)

O início da solução de correção/minimização dos erros em unidades de navegação moderna foi, por exemplo, utilizado no programa espacial americano Apollo, responsável por levar o homem à superfície lunar em 1969 (MINDELL, 2011). A viagem de ida à lua tinha duração de mais de 3 dias, assim como a volta, e por mais que a unidade de navegação embarcada fosse extremamente precisa e projetada exclusivamente para a missão, ela também precisava

de correções de suas medidas durante a viagem, com o risco de a missão jamais chegar à lua. Os radares terrestres que acompanhavam o módulo lunar poderiam fornecer os dados auxiliares necessários para corrigir a unidade de navegação (assim como o fizeram); mas, por questões de ordem político/estratégica (sobretudo a possibilidade de jamming por parte dos soviéticos), o projeto Apollo como um todo teve de ser adaptado ao transporte de mais um astronauta, o qual executaria medições auxiliares rotineiras e redundantes durante todo o voo por meio de um sextante embarcado (aos moldes das antigas navegações).

Em munições guiadas, soluções de engenharia para a obtenção de medidas inerciais mais confiáveis passa naturalmente pela escolha de melhores dispositivos de navegação (os quais inserem menos erros nas medidas quando em operação), associadas, ou não, ao emprego de medidas auxiliares, como aquelas processadas a partir de informações da constelação GPS (*Global Positioning System*) e GLONASS (*GLOBAL Navigation Satellite System*), os quais, por meio de técnica de fusão de dados, possibilita correções nas medidas de navegação quando em operação (KABAMBA, 2014).

Dispositivos de navegação do tipo MEMS (*Micro-Electro Mechanical Systems*), por exemplo, além de possibilitarem bons desempenhos durante as fases de lançamento, mid-course e terminal (sobre alvos fixos) são de relativo baixo custo unitário, ocupam pouco volume e têm baixo peso, características estas desejáveis operacionalmente, visto que maiores margens são deixadas para aumento do alcance útil de munição e/ou poder destrutivo. A Figura 1 traz um exemplo comparativo do dimensional entre uma unidade do tipo MEMS, com os girômetros, acelerômetros e unidades de energia e processamento encapsulada numa pequena caixa acondicionadora, e também, no lado direito, apenas o girômetro empregado no Módulo de Comando e Serviço do Programa Espacial Apollo.

Apesar de dispositivos de navegação modernos possibilitarem bons desempenhos quando em operação, sobretudo se auxiliados, o cumprimento de requisitos de acurácia terminal se torna mais complexo quando os alvos são móveis, como aeronaves, mísseis, embarcações, carros de combate, tropas etc. Sobretudo porque estes possuem o aspecto da imprevisibilidade, são capazes de executar manobras e alterações de trajetória e posição. Ou seja, possivelmente estarão em uma localização diferente daquela em que se encontravam quando do lançamento de míssil. Nesse contexto, é necessário que os mísseis possuam meios adicionais aos seus dispositivos de navegação que possibilitem “sentir o alvo” em tempo real, principalmente em sua fase final de voo, para que manobras de correções de trajetória sejam executadas até o instante da interceptação.

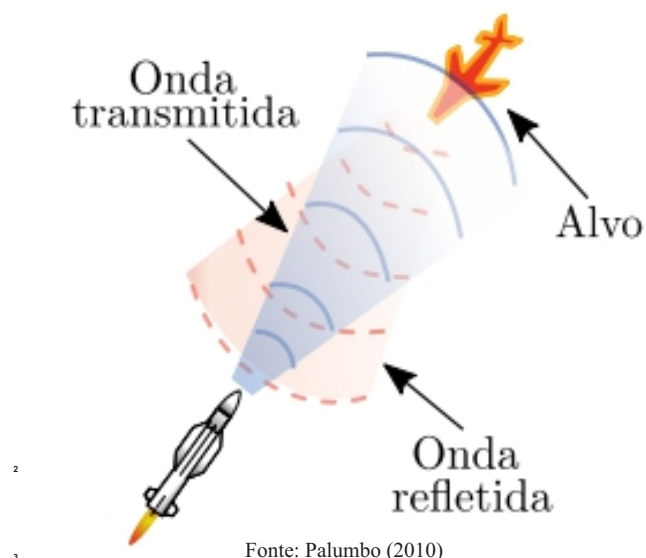
Cada alvo possui certas características que

tornam sua identificação e localização facilitadas, o que naturalmente condiciona a que se empregue meios que as explorem ao máximo. Por exemplo, turbinas de aeronaves em operação e seres vivos geram calor, deixando um rastro visível a sensores que possuem bom desempenho na faixa de frequência do infravermelho; navios e carros de combate, por sua vez, são excelentes fontes de reflexão (e de emissão) de sinais de radiofrequência (faixa do micro-ondas, por exemplo), assim como diversos outros possíveis características a depender do tipo de alvo. De modo que se procura direcionar o tipo de tecnologia a ser empregada na atividade de sensoriamento terminal a fim de se obter o máximo de desempenho na caracterização do alvo e/ou ameaça. Dispositivos do tipo *seeker* são capazes de executar tais atividades.

Os *seekers* são majoritariamente empregados em abordagens terminais, que é quando eles se encontram mais próximos ao alvo e com isso a atividade de identificação se torna potencialmente mais facilitada. Eles são classificados em três categorias, ditadas pelo seu modo de interação com o meio externo e alvo, da seguinte forma: ativos, semiativos e passivos. As subseções a seguir visam apresentar dados gerais, potencialidades e limitações de cada um deles.

Dispositivos do tipo *seeker* ativo têm características de operação que se assemelham à forma utilizada por morcegos quando em atividade de caça. Eles são capazes de emitir pulsos de energia, por meio de um ou mais transmissores (“iluminador”), e os ecos refletidos pelo alvo sensibilizam os receptores embarcados na munição, possibilitando estimar a direção do alvo, assim como, pelo efeito Doppler, a distância e velocidade relativa entre eles. A posse de tais informações é fundamental para que as ações do guiamento, controle e atuação operem de modo robusto até que ocorra a interceptação. A Figura 2 ilustra de forma conceitual o modo de operação de um *seeker* ativo.

Fig. 2 - *Seeker* ativo



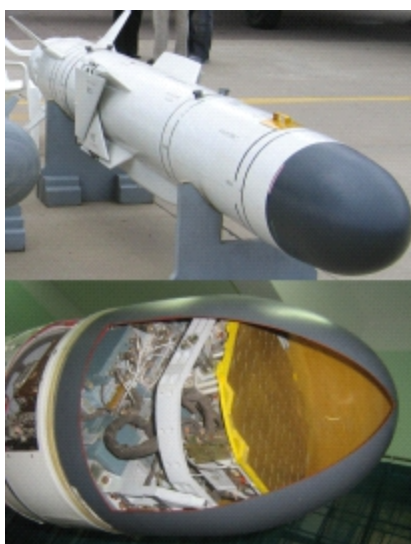
Mísseis munidos com *seeker* ativo são completamente autônomos, não precisando, após seu lançamento, de meios externos que os auxiliem na detecção, identificação e traqueio do alvo. Ou seja, após lançados eles agem autonomamente, característica conhecida por *fire-and-forget*. Desse modo, as plataformas que realizam os lançamentos podem executar manobras de saída de posição, sem que haja a necessidade de intervenções adicionais sobre o míssil recém-lançado.

Toda essa capacidade embarcada, entretanto, incorre necessariamente que mais equipamentos sejam transportados pelo míssil, limitando o seu volume útil, o qual poderia ser destinado ao carregamento de mais combustível e/ou cargas explosivas, custos extras com mais eletrônica e acessórios e, por vezes, encurtamento de alcance de operação. Além de sinalizar para o inimigo, quando na emissão de sinal pelo transmissor, que ele foi localizado, ou se encontra em vias de, suscitando ações de contramedidas, manobras de evasão ou de contra-ataque. Nesse contexto, é comum que o transmissor seja ligado apenas quando o míssil se encontra próximo ao alvo, criando dificuldades adicionais de reação por parte do inimigo. O efeito prático disso é que se aumentam as chances de sobrevivência do míssil e, conseqüentemente, maximiza a probabilidade de interceptação do alvo.

Diversas são as tecnologias de *seeker* ativo já empregadas em munições guiadas. A título de exemplo, pode-se citar os radares ativos que operam na faixa de frequências do micro-ondas e do milímetro e *seeker* LADAR (*LAser Detection And Ranging*). Algumas outras são ainda promissoras na área missilística, como os radares de abertura sintética, ou apenas SAR (*Synthetic Aperture Radar*) (FLEEMAN, 2001).

As Figuras 3 e 4 apresentam exemplos de *seekers* ativos, com destaque ao *seeker* radar ativo empregado no míssil russo Zvezda, de ação antinavio, e o *seeker* LADAR do míssil americano LOCAAS, de múltipla ação.

Fig. 3 - Míssil russo Zvezda Kh-35, equipado com um *Seeker* radar ativo



Fonte: armedconflicts.com (2022) e medium.com (2022)

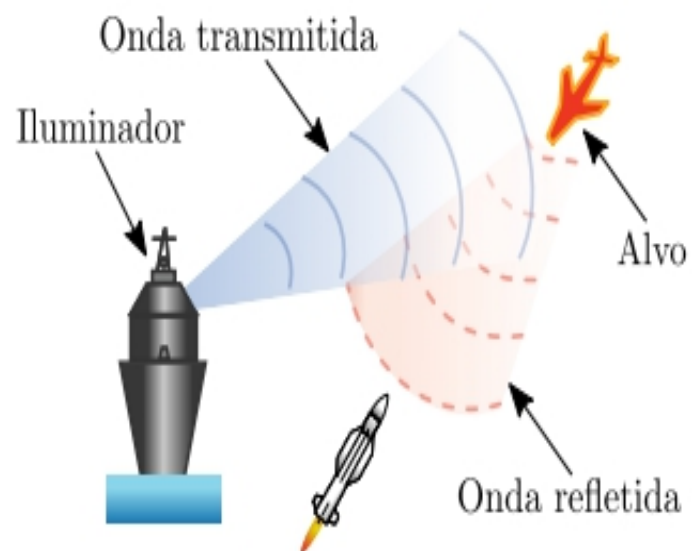
Fig. 4 - Míssil americano LOCAAS (*LOW Cost Autonomous Attack System*)



Fonte: newatlas.com

Seekers semiativos trabalham de forma muito similar aos *seekers* ativos, com a diferença de que a transmissão de energia ao alvo é realizada por uma fonte externa ao míssil. Ondas de rádio e na faixa do micro-ondas, designadores laser e luminosos, por exemplo, são forma de transmissão (iluminação) do alvo emanadas por plataformas de lançamento, radares de vigilância ou algum outro meio nas proximidades do alvo. A Figura 5 ilustra de forma conceitual o modo de operação de um *seeker* semiativo.

Fig. 5 - *Seeker* semiativo



Fonte: figura adaptada de Palumbo (2010)

Sistemas de transmissão separados dos mísseis, alocados em carros de combate, navios ou aeronaves, por exemplo, podem emitir uma maior quantidade de energia quando comparado com a de um transmissor embarcado em um míssil com *seeker* ativo, além de empregar maiores antenas de transmissão de sinal, com a possibilidade de atuar em espectros de frequência com menores atenuações de potência por fatores atmosféricos (assunto melhor discutido à frente no presente documento).

Uma outra vantagem de *seekers* semiativos, quando comparado com ativos, é que menos eletrônica embarcada e acessórios são necessários para a execução da missão de identificação do alvo, possibilitando que mais volume útil seja destinado a combustível e/ou carga explosiva (maiores autonomias de voo e/ou poder destrutivo). Necessitam, contudo, de que algum sistema de transmissão (iluminação) também esteja operante até a interceptação do alvo. O que, em certos casos, aumenta o tempo de exposição do(s) sistema(s) ao inimigo, facilitando a localização de radares, aeronaves e/ou embarcações próprias, ou amigas, e, consequentemente, o desencadear de ações de contramedidas.

A Figura 6 traz um exemplo de um *seeker* laser semiativo instalado na seção ogival da bomba guiada americana BGU-27 e sendo lançada por caça F-117 *Nighthawk*.

Fig. 6 - Bomba guiada GBU-27 Paveway-III com *seeker* laser semiativo

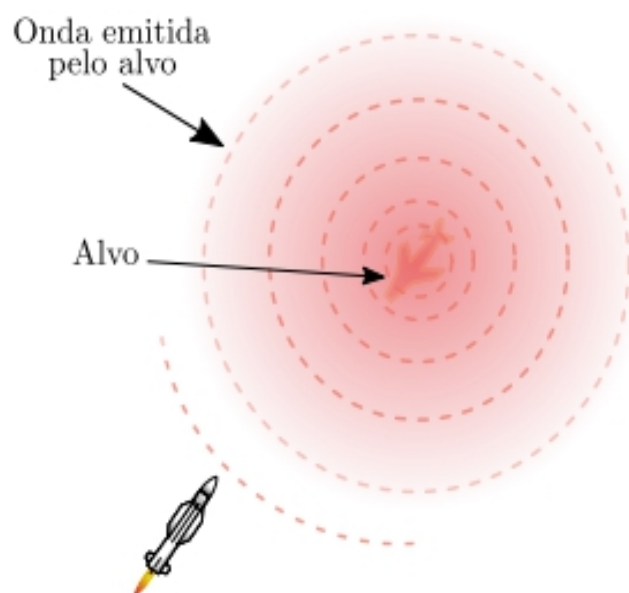


Fonte: aeroflap.com e alamy.com

Seekers passivos não “iluminam” o alvo com nenhum tipo de energia e são munidos com sensores que detectam alguma forma de energia que advém do alvo, como sinais na frequência do infravermelho ou de rádio frequência (RF). Mísseis com *seeker* passivo possuem a vantagem de dificultar para o inimigo sua detecção, sobretudo porque eles apenas “escutam” ou “enxergam” sinais e/ou energia gerados por outros agentes e não emitem quaisquer tipos de energia. A Figura 7 ilustra de forma conceitual o modo de

operação de um *seeker* passivo.

Fig. 7 - *Seeker* passivo



Fonte: figura adaptada de Palumbo (2010)

Sistemas de defesa têm seus trabalhos fortemente dificultados com mísseis que portam *seeker* passivos, principalmente porque ou não conseguem identificar a ameaça ou, quando a identificam, o tempo para uma possível ação de reação é demasiado curto. Uma outra grande vantagem operacional em munições com *seeker* passivo é de não precisarem, após o lançamento, de meios auxiliares externos para detecção e traqueio. Dependem, contudo, de dispositivos embarcados que potencializem os sinais e/ou energia advindos única e exclusivamente do alvo. A título de exemplo, cita-se a adição de sistemas de resfriamento em *seeker* que operam na faixa do infravermelho, com o intuito de melhoria de desempenho do sensor receptor, e também amplificadores de potência de sinais de radiofrequência emitidos pelos alvos, tendo por consequência a inserção de mais elementos embarcados na munição (impactos diretos na redução do volume útil e aumento de peso). (FLEEMAN, 2001).

Fig 8 - Míssil AGM-158 (esquerda) e míssil Sidewinder AIM-9, com *seeker* IR passivo (direita)



Fonte: Historynet (2022)

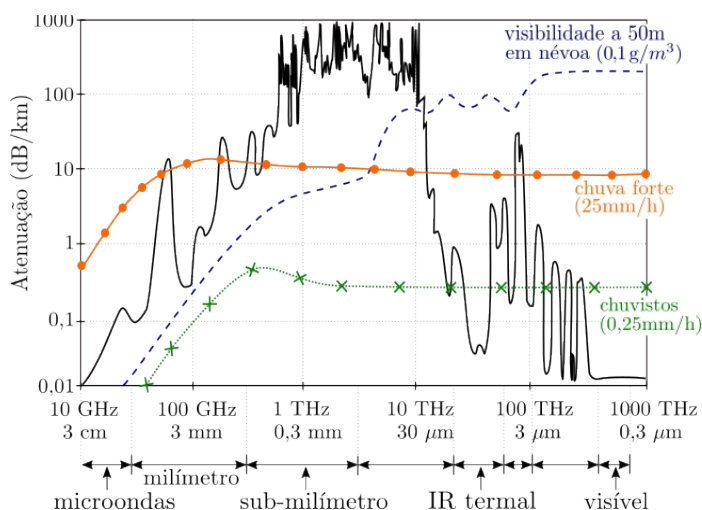
Apesar das potencialidades tecnológicas de cada um dos tipos de *seekers* ora apresentados, ainda existem condicionantes operacionais, sobretudo relacionadas ao ambiente de emprego do armamento e capacidades de defesas do inimigo, que trazem elementos adicionais à ação de interceptação.

No que tange às condicionantes ambientais, a Figura 9 tem por finalidade apresentar o nível de atenuação atmosférica da potência de uma onda eletromagnética pela distância de propagação em diferentes faixas de frequência. De modo a facilitar o entendimento, o eixo horizontal do gráfico está marcado tanto na escala de frequência (MHz, GHz, THz etc.) quanto em comprimento de onda (cm, mm etc.), além de estarem demarcadas certas faixas específicas de operação (microondas, faixa do visível, infravermelho etc.). Já o eixo vertical apresenta o nível de atenuação de energia com a distância.

Convém interpretar o gráfico da seguinte forma: quanto maior for o valor de atenuação do sinal, maior (eixo vertical) será a perda de potência do mesmo com o aumento da distância de propagação, tendo por consequência que menos energia será propagada à medida que a distância aumenta; caso o valor da atenuação pela distância seja baixo, o percentual de energia propagada será maior, e consequentemente maiores distâncias poderão ser percorridas pelo sinal.

No presente contexto, as distâncias a serem percorridas por um determinado sinal de frequência poderão ser apenas de ida (sinal emitido pelo alvo) ou de ida e volta (com emissão e reflexão).

Fig. 9 - Atenuação de potência de um sinal eletromagnético pela distância em diferentes faixas de frequência (curva sólida em preto). A atenuação atmosférica em distância pela frequência é também apresentada quando sob chuvisco (curva sólida em verde com o marcador x), chuva forte (curva sólida em laranja com o marcador •) e sob névoa (curva tracejada em azul)



Fonte: figura adaptada de Fleeman e Islam et. al

Com isso em mente, a curva contínua de coloração preta na Figura 9 apresenta altos e baixos em diferentes faixas de frequência. Ela representa a atenuação de sinal na atmosfera sem partículas de suspensão sem chuva ou neblina (atmosfera limpa). Já as demais curvas dizem respeito à atenuação de sinal

em diferentes frequências quando na presença de chuvisco, chuva forte e névoa, respectivamente.

Com isso em mente, a curva contínua de coloração preta na Figura 9 apresenta altos e baixos em diferentes faixas de frequência. Ela representa a atenuação de sinal na atmosfera sem partículas de suspensão sem chuva ou neblina (atmosfera limpa). Já as demais curvas dizem respeito à atenuação de sinal em diferentes frequências quando na presença de chuvisco, chuva forte e névoa, respectivamente.

Destaca-se que em cada faixa de frequência convém observar a atenuação intrínseca proporcionada na propagação em atmosfera limpa (curva contínua), e verificar se alguma das outras curvas, quando sob alguma condição adicional (chuviscos, chuva forte ou com névoa), apresenta valor de atenuação superior. Por exemplo, na faixa do microondas (frequências entre 1 e 30GHz) a atenuação da potência do sinal pela distância quando sob chuva forte é superior à condição de atenuação em atmosfera limpa, enquanto que sob chuvisco ou com névoa a atenuação é inferior. Assim, caso se deseje empregar um *seeker* radar que opere nessa faixa de frequência, a condição ambiental de chuva forte impactará imensamente em seu desempenho, tendo por consequência direta a redução da distância operacional para identificação e traqueio do alvo e/ou ameaça.

Seekers que operem na faixa do infravermelho termal (vide faixa do IR termal no gráfico), exploram uma condição de vale específica na curva contínua de atenuação (é nessa estreita faixa de frequência que os sensores IR de uso militar são projetados). Perceba que apesar da baixa atenuação de potência em atmosfera limpa (vide curva contínua), tais dispositivos têm seu desempenho progressivamente degradado quando na presença de chuviscos, chuva forte e sob névoa. Desse modo, a visibilidade direta com o alvo é fortemente degradada quando na presença de quaisquer uma das condições elencadas, as quais dificultam, inclusive, a identificação de alvos relativamente próximos.

Dispositivos do tipo LADAR recorrem ao uso na faixa de frequência do visível (entre 430 e 750 THz) devido à baixa atenuação atmosférica da energia, possibilitando enxergar sem dificuldades alvos mais distantes. Eles sofrem, contudo, considerável atenuação de transmissão à distância quando sob chuva e névoa.

Seeker que operam na faixa do infravermelho termal (vide faixa do IR termal no gráfico), exploram uma condição de vale específica na curva de atenuação. É nessa estreita faixa de frequência que os sensores IR de uso militar são projetados para operar.

Agora, no que tange a capacidade de defesa do inimigo, pode-se listar diversos meios que dificultam a sua identificação por parte dos *seekers*, tais como: aviões, mísseis e navios com baixa visibilidade radar, estruturas com superfícies absorvedores de calor e radiação, turbinas com baixa assinatura térmica, camuflagem, *flare*, *chaff*, *jamming* de sinal, entre

diversas outras. A Figura 10 traz exemplos da criatividade empregada por diversas forças armadas de modo a possibilitar aumento do tempo de sobrevivência operacional.

Diante do que já fora apresentado, destaca-se que os tipos de alvo, tipos de *seeker*, faixa de frequência de operação do *seeker* e condições ambientais de emprego trazem pontos positivos e negativos de grande impacto que devem ser apresentados ainda nas fases de discussões prévias às decisões de projeto. Outros fatores ambientais, também importantes, como reflexão e espelhamento de energia por oceano, faixas de terra e vegetação e, ainda, aqueles ocasionados por nuvens em seus mais diversos níveis, não serão abordados no presente documento.

Fig. 10 -Estrutura geométrica para espalhar sinais de rádio de mísseis (esquerda). Blindado com rede de camuflagem absorvedora de radiação (direita). KC-390 com emissão de *flare* e *chaff* (abaixo)



Fonte: naval-technology.com, bois-filtry.cz e defesamet.com

Tendo ciência das limitações de cada tipo de tecnologia isoladamente empregada em *seekers* e de potenciais contramedidas, principalmente aquelas relacionadas com a condicionantes atmosféricas, armas modernas estão sendo projetadas de modo a carregarem consigo sistemas de ação terminal mais robustos e mais capazes de interceptar o alvo. É diante desse cenário operacional mais moderno, com tecnologias projetadas para dificultar a ação de identificação pelo inimigo, que novas soluções vêm sendo propostas, estudadas e desenvolvidas na área de *seekers*.

Um dos meios que proporciona aumento de desempenho e robustez em *seekers* ocorre com o emprego de sensores e hardwares acessórios tecnologicamente melhores, capazes de impor avanços em ambiente operacional adverso. O uso de softwares dedicados possibilita, inclusive, processar em tempo real uma enormidade de dados e identificar padrões

que melhor caracterizam o alvo, mesmo que a munição esteja sob ações de contramedida. Essa frente de desenvolvimento tem incorporado avanços tecnológicos específicos que marcam as 1º, 2º, ... , 5º gerações de *seekers* (JAMES, 1986).

Outro modo de melhoria de desempenho de *seekers* decorre do uso de mais de um tipo de sensor embarcado por vez. A união de informações independentes advindas de sensores distintos possibilita uma maior resistência a ação de contramedidas e clima desfavorável. Esse tipo de solução parte da premissa de que um certo tipo de sensor pode ter bom desempenho na atmosfera em determinada faixa de operação que compensa a deficiência de algum outro e vice-versa, e o emprego conjunto propicia que mais características do alvo sejam levantadas, facilitando, assim, a tarefa de identificação e traqueio.

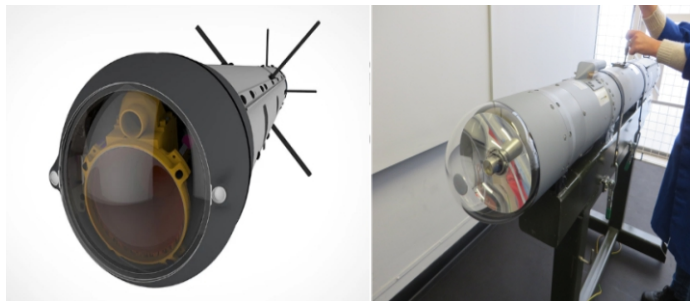
A aplicação de técnicas modernas de fusão de dados e inteligência artificial possibilita que *seekers* modernos consigam, por exemplo, mapear digitalmente o terreno, executar IFF (*Identification of Friend-or-Foe*) e escolher e atacar um dentre vários alvos, mesmo que sob a ação de contramedidas (FLEEMAN, 2001). São conhecidos na literatura especializada por *seekers* multiespectrais, justamente porque buscam utilizar simultaneamente informações coletadas em faixas de frequências distintas, por sensores distintos, como fonte de dados (AGARD, 1992).

Outros *seekers* com mais de um tipo de sensor embarcado carregam consigo meios de possibilitar a operação em uma determinada faixa de frequência por vez. Ou seja, possuem a capacidade de executar a seleção do sensor a ser empregado a depender das circunstâncias do momento de seu uso. Diferem dos *seekers* multiespectrais principalmente por não empregar capacidades extras de processamento e fusão de dados, apesar de estarem munido com mais um sensor. São conhecidos por *seekers* multimodais, e essa denominação engloba ainda aqueles dispositivos que possuem a habilidade de chavear inclusive seu modo de operação (ativo, semiativo ou passivo).

Convém destacar, contudo, que a tecnologia de *seekers* multiespectrais e multimodais é ainda restrita a um grupo extremamente seleto de países, por vários motivos: 1) domínio de tecnologia de equipamentos e sensores específicos (baterias térmicas e sensores infravermelho, por exemplo), 2) meios fabris dedicados para produção e testes de engenharia, 3) da capacidade de adquirir, processar e realizar a fusão de dados advindos de múltiplas fontes, 4) profissionais com experiência adquirida em projetos similares (conhecimento específico e tácito) e 5) poder econômico.

A Figura 11 apresenta dois exemplos de mísseis modernos que empregam *seekers* com características multiespectral e multimodal.

Fig. 11 - Mísseis com *Seeker* multimodal, com sensores laser semiativo e radar mmW



Fonte: mbdainc.com e rafael.co.il

Pelo brevemente exposto, uma boa caracterização do tipo de alvo e/ou ameaça proporciona elementos bases que auxiliarão pela decisão do emprego de uma ou mais tecnologias de navegação em munições guiadas, notadamente unidade de navegação inercial, com ou sem tecnologia *seeker* para ação terminal. Contudo, apesar de a decisão ser direcionada pela escolha por certa tecnologia em detrimento a outras, algumas condicionantes também precisam ser analisadas. Duas delas são abordadas a seguir.

A primeira diz respeito às capacidades de pesquisa e fabril da indústria nacional do subsistema de interesse (já abordado anteriormente). Tais capacidades são referências que indicam no tempo o quanto pronta se encontra certa tecnologia, bem como o que falta ainda para atingir a condição de ser empregada operacionalmente. A partir dessa avaliação que ocorrerá o auxílio à decisão político/estratégica em: 1) utilizar o que se encontra disponível no mercado nacional, com suas potencialidades e limitações; 2) aumentar os níveis tecnológicos e fabris de tecnologia já existente (impacto em custos e prazos); ou 3) adquirir tal subsistema no mercado internacional (caso ela esteja disponível para venda, sempre existindo a preocupação com possibilidade de embargos tecnológico futuros). Ainda neste contexto, deve-se atentar que, por vezes, a tecnologia pode estar sob domínio nacional, com emprego de itens e componentes estrangeiros e sensíveis que também podem estar sujeitos a embargos.

Uma segunda condicionante diz respeito à integração sistêmica com a munição guiada a ser desenvolvida, sobretudo nas adaptações pertinentes. Por vezes, faz-se necessária a modernização e miniaturização de equipamentos já existente, a adição de eletrônica acessória dedicada (sistemas de potência, de refrigeração e de processamento, por exemplo) e meios para testes de avaliação de desempenho operacional (sob as mais diversas condições atmosféricas, inclusive).

Todas elas demandam por um bom planejamento e execução das atividades de engenharia, e a experiência de outros programas de desenvolvimento na área de *seeker* mostra uma maior necessidade por recursos financeiros e prazo, apesar de

se empregar especialistas na área e boas práticas de gestão (FLEEMAN, 2001).

REFERÊNCIAS

AEROFLAP. **40 anos do F-117 Nighthawk: quatro fatos sobre o primeiro avião stealth operacional.** Disponível em: <<https://www.aeroflap.com.br/40-anos-do-f-117-nighthawk-quatro-fatos-sobre-o-primeiro-aviao-stealth-operacional/>>. Acesso em 11 jun. 2022.

AGARD. **Advances in Guidance and Control of Precision Guided Weapons (Les Avancées dans le Domaine du Guidance et du Pilotage des Armes Guidées de Précision).** AGARD, 1992.

ALAMY. **Airmen move the GBU-27 from its stand.** Disponível online em: <<https://www.alamy.com/stock-photo-airmen-move-the-gbu-27-from-its-stand-105719967.html>>. Acesso em 11 jun. 2022.

ARMEDCONFLICTS. **SOV-Ch-35.** Disponível em: <<https://www.armedconflicts.com/Kh-35-H-35-t10782>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

APOLLO11. **Apollo and Gimbal Lock.** Disponível em: <<https://apollo11space.com/apollo-and-gimbal-lock/>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

BEZICK, Scott M.. **Inertial Navigation for Guided Missile Systems.** Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 28, N° 4, 2010.

BOIS-FILTRY. **Multispectral mobile camouflage.** Disponível em: <<http://www.bois-filtry.cz/multispectral-mobile-camouflage.php>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

DEFESANET. **KC-390 - Vídeo Teste com Chaffs e Flares.** Disponível em: <<https://www.defesenet.com.br/kc390/noticia/35058/KC-390---Video-Teste-com-Chaffs-e-Flares/>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

DEFENSE. **Lockheed Martin receives contract for new-generation JASSM-XR cruise missile.** Disponível em: <<https://defence-blog.com/lockheed-martin-receives-contract-for-new-generation-jassm-xr-cruise-missile/>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

DULLUM, Ove S. **A technical analysis of the employment, accuracy, and effects of indirect-fire artillery weapons.** Armament Research Services (ARES), Janeiro de 2017.

FAHEY, T.; ISLAM, M.; GARDI, A.; SABATINI, R. **Laser Beam Atmospheric Propagation Modelling for Aerospace LIDAR Applications.** Atmosphere.

Acesso em: 01 jun. 2022.

DEFENSE. **Lockheed Martin receives contract for new-generation JASSM-XR cruise missile.** Disponível em: <<https://defence-blog.com/lockheed-martin-receives-contract-for-new-generation-jassm-xr-cruise-missile/>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

DULLUM, Ove S. **A technical analysis of the employment, accuracy, and effects of indirect-fire artillery weapons.** Armament Research Services (ARES), Janeiro de 2017.

FAHEY, T.; ISLAM, M.; GARDI, A.; SABATINI, R. **Laser Beam Atmospheric Propagation Modelling for Aerospace LIDAR Applications.** Atmosphere. N° 12, p. 918, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/atmos12070918>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

FLEEMAN, Eugene L.. **Tactical Missile Design.** 2ª Ed. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. (AIAA), 2001.

FORD, Brian J. **História Ilustrada da 2ª Guerra Mundial – Armas Secretas Alemãs: plataforma para Marte.** Renes, 1973.

GACIAC. **Smart Munitions: An Introduction to the Concepts, the Technology, and the Systems Primer and Briefing Manual.** Guidance & Control Information Analysis Center (GACIAC), Novembro de 1987.

GUERRA, E. B.; DOS SANTOS, E. H. **Conceito e cálculo do CEP (Erro Circular Provável) para foguetes balísticos de Sistemas de Artilharia de Saturação de Áreas.** Relatório Técnico no 02/20, CACTTAV/SMF, de 20 de abril de 2020.

HISTORYNET. **The AIM-9 Sidewinder: Fox Two!** Disponível em: <<https://www.historynet.com/fox-two/>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

IRANI, Geoffrey B.; CHRIST, James P.. **Image Processing for Tomahawk Scene Matching.** Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 15, N° 3, 1994.

JAMES, D. A.. **Radar Homing Guidance for Tactical Missiles.** 1ª Ed. Macmillan Education Ltd., Londres, 1986.

JANOS, Leo; RICH, Ben R.. **Skunk Works: A Personal Memoir of My Years of Lockheed.** English Edition. Little, Brown and Company, 2013.

KABAMBA, Pierre T.; GIRARD, Anouck R.. **Fundamentals of Aerospace Navigation and**

Guidance. University of Michigan, 2014.

KARNICK, D.. **Honeywell Gun-hard Inertial Measurement Unit (IMU).** Development, Proceedings of the 2007 National Technical Meeting of the Institute of Navigation, San Diego, CA, Janeiro de 2007, pp 718-724.

MBDA. **Brimstone 2: Advanced Multi-Role Precision Strike Weapon.** Disponível em: <<https://mbda-inc.com/wp-content/uploads/2015/11/Brimstone2-Data-Sheet>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

MEDIUM. **Vietnamese Navy Gepard Frigates.** Disponível em: <<https://medium.com/indo-pacific-geomill/vietnamese-navy-gepard-frigates-4424deb08172>>. Acesso em 03 jun. 2022.

MINDELL, David A. **Digital Apollo: Human and Machine in Spaceflight.** MIT Press, 2011.

NAVAL-TECHNOLOGY. **Swedish Armed Forces receives first Visby-class corvette.** Setembro de 2012. Disponível em: <<https://www.naval-technology.com/news/newsswedish-armed-forces-receives-first-visby-class-corvette/>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

NEWATLAS. **Low-Cost Autonomous Attack System (LOCASS) successfully flight tested.** Disponível em: <<https://newatlas.com/low-cost-autonomous-attack-system-locass-successfully-flight-tested/4812/>>. Acesso em: 03 jun. 2022.

NOURELDIN, Aboelmagd; KARAMAT, Tashfeen B.; GEORGY, Jaques. **Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-based Positioning and their Integration.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

PALUMBO, Neil F.. **Guest Editor's Introduction: Homing Missile Guidance and Control.** Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 29, N° 1, 2010.

PASTOR, Alvaro. **Infrared guidance systems. A review of two man-portable defense applications.** Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, Espanha.

RAFAEL. **SPIKE LR2: 5th Generation, Precision, Long-range, EO-Guided Missile System for Ground, Air and Sea.** Disponível online em: <<https://www.rafael.co.il/wp-content/uploads/2019/03/SPIKEe-LR2.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

RIEDEL, Frederick W.. **Guidance and Navigation in Global Engagement Department.** John Hopkins APL Technical Digest, Volume 29 N° 2, 2010.