

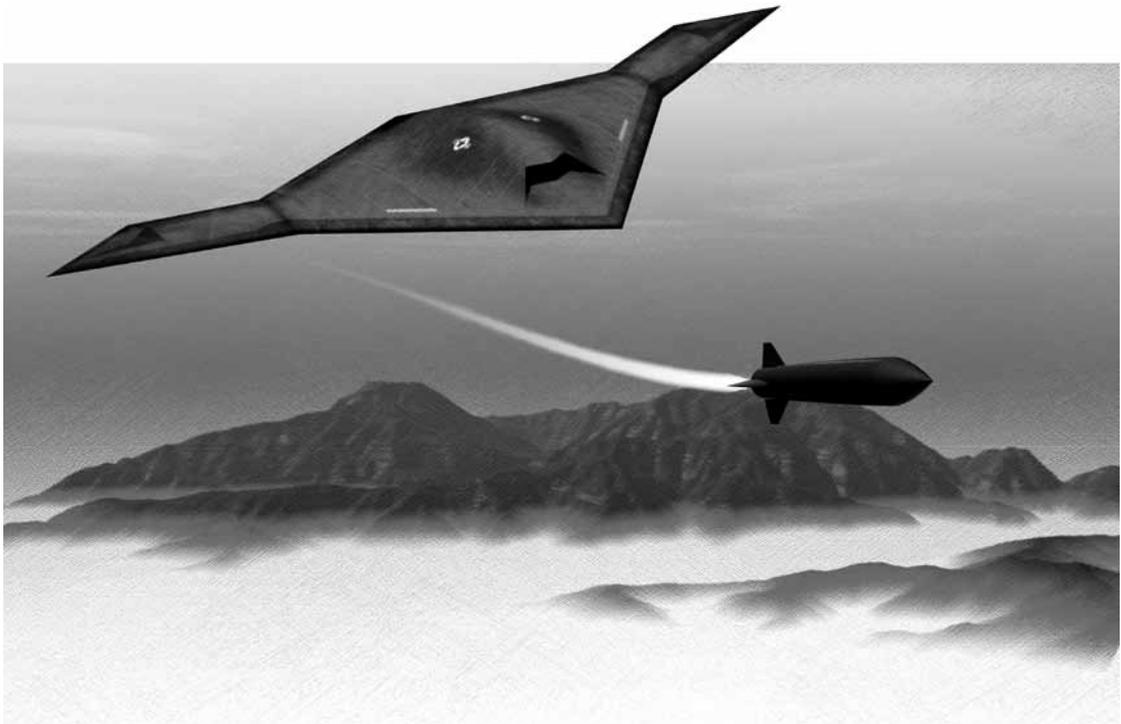
A Função da Capacidade Aérea em Defesa Antimísseis Ativa

CEL MIKE CORBETT, USAF, REFORMADO
PAUL ZARCHAN

A DEFESA ANTIMÍSSEIS balísticos é questão controversa. Considerada ferramenta essencial à segurança moderna por alguns, enquanto outros acreditam que é desvio de recursos críticos de [outras] exigências prementes.¹ Essas questões persistem desde o momento em que o primeiro míssil alemão V-2 foi lançado na Europa em 1944. Durante a administração do Presidente George W. Bush, as forças armadas estabeleceram uma capacidade inicial de defesa antimísseis de longo alcance, aumentando o número e aperfeiçoando a qualidade dos teatros de defesa existentes.² No entanto, ao confirmarmos a existência de novas capacidades perigosas, a ameaça de Mís-

seis Balísticos no Teatro [Theater Ballistic Missile-TBM] também mudou.³ Dada a nova ênfase em recursos contra ameaças regionais a curto prazo, esta talvez seja a hora oportuna para reexaminar o papel que a capacidade aérea desempenharia nessa área problemática da missão.⁴

Qual é sua função apropriada e o que contribui à defesa antimísseis ativa que as forças de superfície e espaciais não conseguem fazer? Será que as forças aéreas de combate devem desempenhar função fundamental nessa área? E, ainda, será que podemos abrir novas frentes sem comprometer as capacidades básicas das forças de combate aéreo?



O Míssil *Hit-to-Kill* Lançado do Ar

[Os Mísseis “*Hit-to-Kill*” são mísseis interceptores que rastreiam o alvo a alta velocidade, mantêm a trajetória fixa ao mesmo e, por fim, chocam-se contra ele, destruindo-o.]

Este artigo descreve um conceito que considera os mísseis balísticos da mesma maneira que ameaças aéreas convencionais, utilizando doutrina similar e grande parte da tecnologia já empregada atualmente pelas forças de combate aéreo. Conhecido como *Hit-to-Kill Lançado do Ar* [*Air-Launched Hit-to-Kill-ALHK*], esse conceito utiliza pequenos interceptores cinéticos dirigidos aos alvos via sistema de busca e rastreamento visual infravermelho [*Infrared Search and Track Tracking System-IRSTS*]. Inicialmente, aviões de caça portariam os interceptores, mas eventualmente a tarefa seria realizada por sistemas aéreos de combate não-tripulados. O *ALHK* não é novidade, mas labutamos nas forças armadas, indústria e esfera acadêmica para refinar o conceito aqui apresentado. Este artigo alega que a capacidade aérea torna possível esse conceito operacional distribuído, permitindo o engajamento da maioria de mísseis balísticos em ataque, durante as fases de voo: propulsão, ascensão (início do curso intermediário) e final.

As estimativas de desempenho aqui apresentadas são baseadas em modelos de ameaça não sigilosos e cronogramas do relatório da Sociedade Americana de Física [*American Physical Society*] referente a sistemas interceptores para a fase de propulsão, publicado em 2004.⁵ Usamos os modelos da Sociedade, incorporando-os em simulação de todo o processo de intercepção com três graus de liberdade, tridimensional, um após o outro, para gerar os resultados contidos neste documento. Essa simulação de Monte Carlo (i.e., várias tentativas de simulação que produzem projeções de desempenho estatístico) inclui sensor de ruído; previsão realista de erros de pontos de intercepção; e técnicas de filtragem e controle de trajetória comprovadas em combate, empregadas para atingir alvos durante as fases de propulsão, ascensão e final. Essa

simulação de engajamento é a extensão da apresentada em trabalho anterior.⁶ Os resultados indicam, até agora, que o conceito de sistema *ALHK* possui a capacidade de engajar mísseis balísticos quando atingem seus pontos mais vulneráveis. Talvez, a característica mais importante, seja a ótima relação entre custo e benefício.

No entanto, antes de examinar esse conceito, devemos prestar atenção às ameaças. Além da quantidade de mísseis produzidos e do número de países que contam com tal capacidade, será que o perigo está mesmo aumentando? Até agora, os *TBM*s convencionais (não-nucleares) nunca resultaram em grande capacidade militar que colocassem em risco bens importantes ou impedissem a realização de objetivos essenciais, embora pudessem penetrar a maioria das defesas.⁷ A situação é diferente com ogivas nucleares, mas pode-se argumentar que a dissuasão funciona muito bem contra adversários que possuem capacidade suficiente para fabricar armas nucleares. Então, será que a ameaça de *TBM*s está realmente mudando?

Os indícios sugerem que sim. Os países como o Irã estão construindo arsenais de mísseis balísticos, equipando-os com capacidade de controle de precisão.⁸ Não é tremendo avanço tecnológico, tendo em conta o acesso a sistema de posicionamento global ou equivalente. É apenas questão de proporcionar meios para que as ogivas transitem rumo aos objetivos, bastante similar à forma em que a Munição de Ataque Direto Conjunto [*Joint Direct Attack Munitions*] funciona. A diferença é que, em vez de lançá-la de avião, o *TBM* “arremessa” a ogiva, mas os últimos 15 segundos de voo são parecidos - ambos usam forças aerodinâmicas para corrigir erros de navegação. Devemos também considerar outros métodos de guia (antirradiação, iluminação laser, etc.) e decidir se algum deles também funciona com sistema de mísseis balísticos. Acreditamos que chegará o momento em que até mesmo meios móveis estarão em risco de ataque de mísseis balísticos de precisão.

Os Mísseis Balísticos para Teatro com Controle de Trajetória de Precisão em Mãos de Adversários

Para entender melhor a importância de armamentos de precisão, devemos considerar como os ataques de mísseis alemães na Antuérpia poderiam haver mudado o resultado de batalha crucial durante a Segunda Guerra Mundial se esse tipo de tecnologia tivesse estado disponível na época. Do Outono de 1944 à Primavera de 1945, a campanha dos aliados dependia do fluxo adequado de equipamento militar à Europa. A Antuérpia era um dos poucos portos disponíveis. Frustrados pela superioridade aérea dos aliados, os alemães voltaram-se às armas V-1 e V-2 para atacar o porto e diminuir o fluxo logístico dos aliados.

Durante esse período, mais de 1.700 V-2s e 4.000 V-1s fizeram da Antuérpia seu alvo, embora apenas 30% conseguissem atingir o centro da cidade.⁹ Os ataques mataram mais de 3.700 pessoas, afundaram um navio e restringiram linhas de suprimento, mas o porto nunca ficou fora de comissão. Quando a ofensiva denominada de Batalha do *Bulge* pelos americanos [oficialmente Ofensiva de *Ardenes* e Ofensiva *Bodenplatte*] ainda estava em fase indefinida, o impacto teria sido decisivo se os alemães tivessem contado com a capacidade de atacar navios, portos ou armazéns individuais. A ponte *Thanh Hoa* no Vietnã é exemplo histórico da transição às armas de precisão. Durante mais de seis anos, 871 *sorties* da Força Aérea Americana lançaram bombas sem controle de precisão em direção à ponte, sem conseguir incapacitá-la. No entanto, a primeira bomba de precisão a laser, a 13 de maio de 1972 resultou em impactos diretos aos pilares de apoio, causando o colapso do vão central, colocando-a fora de ação.¹⁰

As forças armadas dos Estados Unidos já estão cientes há muito tempo do valor de ataques de precisão. No entanto, até agora, nunca encaramos tal ameaça. Pode ser que isso ocorra em futuro próximo com os *TBMs* de precisão. Finalmente, devemos considerar a habilidade do adversário em concentrar o

ataque em ponto e momento específicos. Coordenar o momento de vários lançamentos para o impacto simultâneo não é difícil. O número suficiente de lançamentos de mísseis balísticos sobrecarrega qualquer defesa de superfície. A combinação de capacidade de ataque de precisão *em massa* (i.e., a utilização simultânea de muitas armas, uma capacidade que certos possíveis adversários agora possuem) permitiria ao adversário derrotar qualquer sistema de defesa terrestre, destruindo radares de rastreamento vitais. A ausência de sensores elimina a capacidade do sistema defensivo de interceptar mísseis balísticos, após o que o adversário negaria às forças aliadas acesso a portos marítimos e aéreos.

Acreditamos que a ameaça está realmente mudando, de modo que afetará como e onde travaremos batalhas futuras. Esse aumento em capacidade do adversário não é devido à fusão de sistemas balísticos à armas de destruição em massa, mas sim, ao controle de precisão que, combinado à capacidade do adversário em atacar posições críticas de forma simultânea, inibirá significativamente as futuras opções de projeção de força dos aliados.

Maior Atenção às Ameaças

Os *TBMs* são difíceis de localizar e nem mesmo emitem sinais que acusam sua presença antes do lançamento. Podem permanecer ocultos por longo período, levados para fora do esconderijo, colocados na vertical e lançados, sem aviso prévio. Uma vez que o motor entra em ignição, o míssil fica visível e é fácil de distinguir dentre os outros mísseis em campo de batalha. Os mísseis superfície-ar possuem rápida aceleração, a combustão normalmente dura menos de 20 segundos e seguem rumo errático para atingir o alvo.¹¹ Por outro lado, os mísseis balísticos aceleram mais lentamente e a combustão leva mais tempo. Os de maior alcance (médios e intercontinentais) inicialmente ascendem quase na vertical, levando perto de um minuto para atingir a altitude de 10 km. Dependendo do tamanho e alcance, a combustão dura mais de quatro minutos e, às vezes, possuem mais de um estágio. Alguns atingem aceleração de 8 Gs, 15 Gs

ou mais antes da combustão total ou posicionamento.¹² (Ver fig.1 para simulação de perfil de altitude e aceleração de míssil balístico genérico de alcance intermediário, estágio único [*Intermediate range ballistic missile-IRBM*].) É importante notar que para um interceptor em perseguição, parte da aceleração axial do *IRBM* aparenta ser manobra de alvo. A quantidade de aceleração requerida do interceptor para atingir o alvo está relacionada à magnitude dessa aparente manobra de alvo.

Para destruir o míssil durante a fase de propulsão, o interceptor deve alcançar aceleração similar à do míssil no ambiente onde a intercepção irá ocorrer. Abaixo de 35 km, a aceleração de um *TBM* ainda é relativamente baixa, mas aumenta rapidamente, à medida que a ameaça consome a *carga* de combustível. Em intercepções acima de 50 km de altitude, a aceleração do *TBM* pode exceder 5 Gs (fig.1). O aumento em aceleração do interceptor relativo à ameaça depende da geometria do engajamento e de seu controle. Os controles de trajetória tradicionais via navegação proporcional exigem que o interceptor possua grande vantagem em manobrabilidade

em comparação com a ameaça (proporção de 3:1 ou maior). No entanto, acreditamos que um controle de trajetória aperfeiçoado reduziria a margem de manobrabilidade, possivelmente a uma fração da capacidade de aceleração do alvo.¹³

Após a fase de propulsão inicial, a ogiva guiada provavelmente separa-se da cápsula de propulsão inicial. Às vezes empregam-se contramedidas defensivas, tais como chamarizes. A menos que um sistema secundário utilize propulsão para corrigir erros de navegação durante a fase de propulsão ou para fins de compensação, em caso de alvo em movimento, a trajetória de voo permanecerá balística e altamente previsível durante a fase intermediária. Dependendo da distância até o alvo, esse período balístico dura vários minutos, dando tempo para que as aeronaves de defesa reajam de locais de alerta regionais no solo. No caso de nosso *IRBM* genérico (fig. 2), vemos que a fase intermediária de voo inicia a cerca de 200 segundos e termina a aproximadamente 1.050 segundos, indicando que a trajetória de voo do alvo é altamente previsível durante aproximadamente 14 minutos.

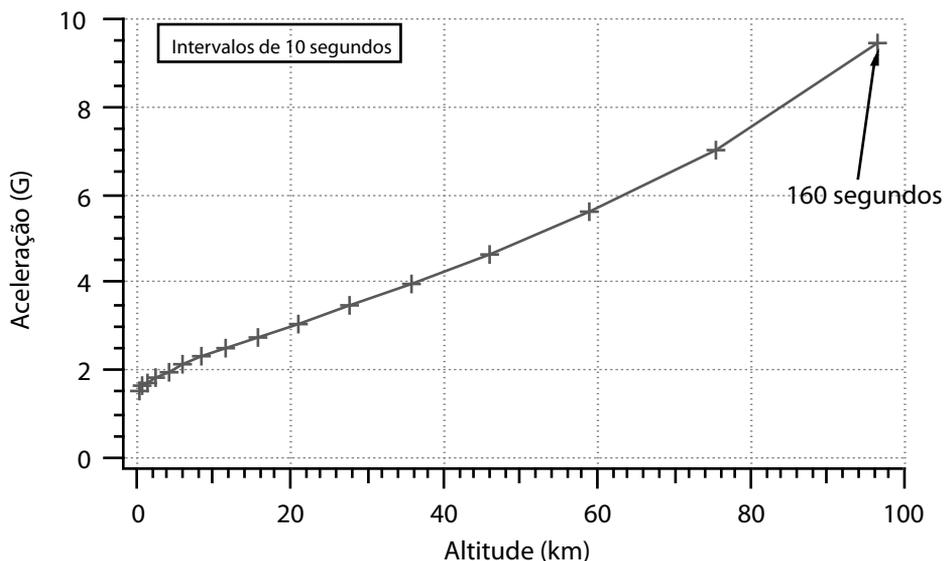


Figura 1. Aceleração de *IRBM* genérico em função da altitude, durante a fase de impulso

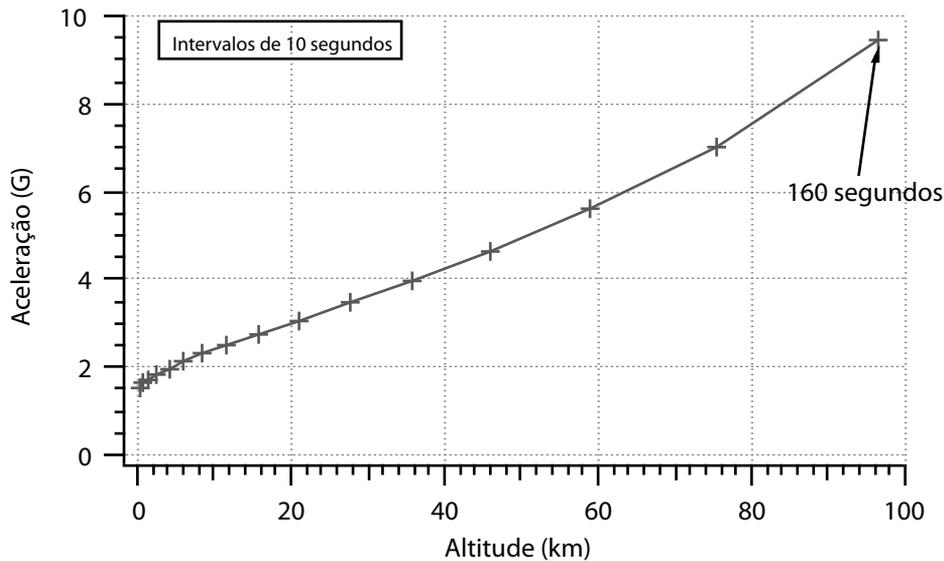


Figura 2. Duração e altitude da trajetória de IRBM genérico durante a fase intermediária

A fase final de voo de um míssil balístico inicia quando a ogiva em descida atinge a atmosfera superior, a 80 km de altitude aproximadamente. Embora o ar seja extremamente rarefeito nessa região, existe um efeito de resistência. Inicia o aquecimento de peças pesadas e as peças leves, como as contramedidas e balões que servem de chamariz, separam-se, cada qual com características identificáveis [em radar]. À medida que a descida continua, a atmosfera torna-se progressivamente mais densa e esses efeitos aumentam. Os objetos pesados e irregulares como tanques de combustível começam a cair e a despedaçar-se. Ao alcançar 30 km de altitude, o ar é suficientemente denso para que as superfícies de controle na ogiva em forma de cone efetuem pequenas manobras para compensar pelos erros de controle de trajetória ou iniciem a trajetória, fixando-se ao alvo. Tudo que permanece intacto durante esse período diminui de velocidade e passa por grande aquecimento. Quando a ogiva atinge 15 km de altitude, até mesmo as ogivas mais rápidas (que percorram maior distância) diminuem de velocidade, a menos de 5 km/s e normalmente aproximam-se do alvo a 20° ou mais acima do horizonte. Essa descida final de 15 km de alti-

tude até o alvo leva cerca de 15 segundos, tempo em que as forças aerodinâmicas permitem maior potencial de manobra.¹⁴ Uma simples simulação de computador, onde o coeficiente balístico de vários itens é a constante, ilustra como esses objetos (balões, tanques e veículos de reentrada), voando a 3 km/s, desaceleram quando penetram a atmosfera (fig. 3).¹⁵ Os objetos que oferecem maior resistência (ou menor coeficiente balístico β) contam com pico de desaceleração em altitudes mais elevadas. A figura indica que os perfis de desaceleração são diferentes para cada objeto e que as quantidades relacionadas à desaceleração servem de diferenciais úteis.

Embora desejável, interceptor algum, por si, consegue combater todas as ameaças, não importa a que altitude acima da superfície. Os interceptores projetados para atingir o alvo na atmosfera abaixo de 35 km de altitude usam forças aerodinâmicas em manobras, mas enfrentam maior aquecimento, à medida que a velocidade aumenta. Tais interceptores são de baixa camada e indica-se seu desempenho baseado em velocidade de combustão [que é a velocidade máxima alcançada pelo míssil, após gastar todo o combustível] i.e., 1,75km/s. Os interceptores projetados para maiores alti-

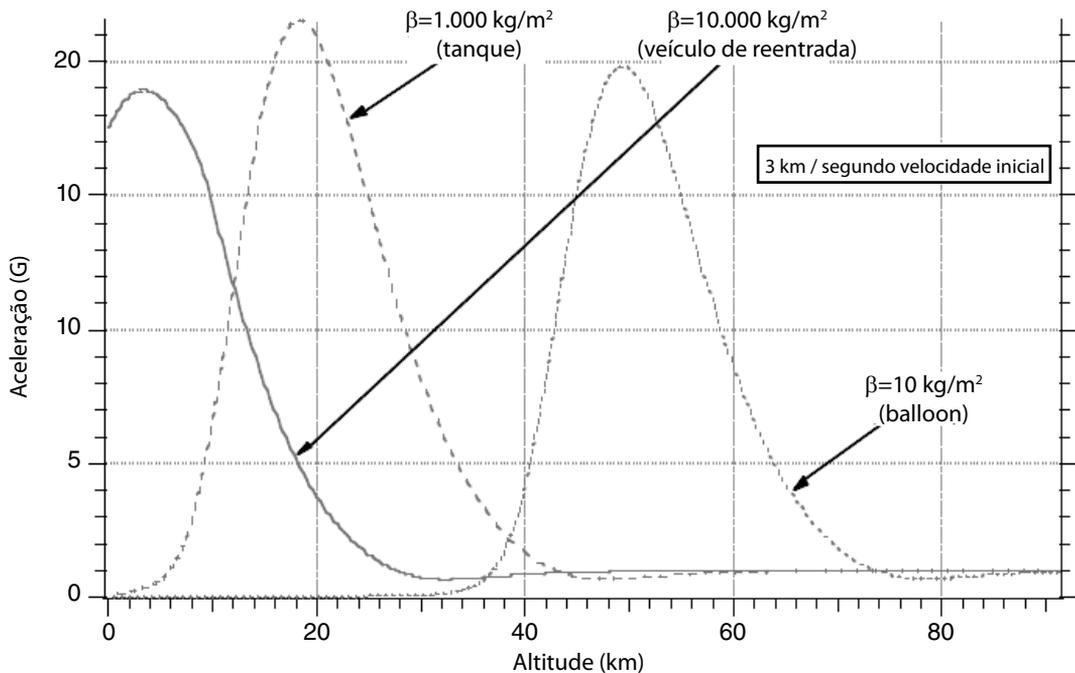


Figura 3. Pico de desaceleração inicial para objetos que oferecem maior resistência (ou menor coeficiente balístico)

tudes devem usar um foguete de propulsão lateral, i.e., um vetor de propulsão para possibilitar a manobra [que é a habilidade de aeronave, foguete, míssil ou outro veículo de manobrar a direção da propulsão com seu(s) motor(es) ou máquina motriz, a fim de controlar a atitude ou velocidade angular do veículo. Para mísseis que voam na exoatmosfera, as superfícies de controle aerodinâmico são ineficazes, portanto o vetor de propulsão é o meio principal para o controle de atitude - *thrust vectoring /thrust vector-TVC*]. A interação complexa com a aerodinâmica entre a fuselagem do míssil e o míssil em si, cria problemas adversos em altitudes inferiores a 50 km. Esses interceptores de alta camada necessitam de velocidades muito maiores, mas evitam problemas de aquecimento realizando intercepções somente acima de 50 km. A base de desempenho é a velocidade de 3,5km/s.

Ambos os interceptores, de baixa e alta camada possuem vantagens e desvantagens na

fase final de voo. Os sistemas de alta camada não necessitam lidar com altos índices de desaceleração, mas se possuem a agilidade necessária para atingir alvos durante a fase de propulsão em alta camada contam com a capacidade de manobrar rapidamente e interceptar ogivas quando a interação atmosférica revela as contramedidas. Pode ser que os interceptores de baixa camada sejam obrigados a enfrentar níveis de desaceleração muito maiores e contem com área de engajamento, se existe, bastante restrita. No entanto, uma altitude mínima de engajamento permite uma segunda chance, se a primeira tentativa de intercepção falhar.

O que a Capacidade Aérea Contribui à Luta

O poderio aéreo permite um conceito operacional distribuído que combate a ameaça de *TBM* durante a fase de propulsão, a ascen-

são (estágio inicial da fase intermediária) e fases finais de voo, usando interceptores comuns lançados do ar e um sensor comum abordo de aeronave. A capacidade aérea aplicada às defesas antimísseis fornece mais do que simples plataforma que pode aproximar-se bem ao ponto de lançamento para engajar [o alvo] durante a fase de propulsão ou ascensão, ou reagir suficientemente rápido ao receber o alerta de superfície para engajar [o alvo] durante a fase final.¹⁶ A capacidade aérea, quando utilizada em defesa antimísseis permite ao comandante manter o enfoque da capacidade defensiva na mesma velocidade e flexibilidade associadas às operações de ataque. Em vez de utilizar um destacamento defensivo fixo, vinculado a radares estacionários, o comandante pode, rapidamente, criar ou solidificar uma postura defensiva, posicionar as aeronaves na vanguarda para perseguir o engajamento de alvos durante as fases de propulsão ou ascensão, ou proteger o movimento das forças de superfície com patrulha de combate aéreo, possibilitando a defesa final.

Além disso, o lançamento de míssil interceptor acima de 12 km de altitude possui impacto significativo em seu desempenho. Embora um caça supersônico voe a somente 0,3km/s, o lançamento do míssil interceptor a uma altitude acima de 90 por cento da atmosfera tem como efeito a redução da resistência aerodinâmica no míssil e adiciona, talvez, mais de 1 km/s à velocidade final do interceptor, após utilizar todo o combustível.

Por exemplo, baseado em resultados anteriores de simulação de combate, um *IRBM* imaginário de 3.000 km (figs. 4 e 5) lançado do norte do Irã em direção a Roma alcançaria impacto em cerca de 17 minutos.¹⁷ As aeronaves de ataque ou escolta que operam no espaço aéreo iraniano detectariam o *IRBM* de forma autônoma e engajariam a ameaça de mísseis balísticos durante a fase de propulsão. Além disso, as patrulhas de combate aéreo, operando na parte leste da Turquia detectariam ameaças de forma autônoma durante a fase de propulsão, engajando os alvos durante a fase de ascensão e, posteriormente, passariam dados precisos de rastreamento da ameaça para o engajamento final.

Supondo períodos de tempo nominais para detectar o lançamento, emitir o alerta, decolar para o ataque e alcançar altitude, os caças em alerta na base aérea de Aviano, Itália, teriam tempo suficiente para decolar, localizar e rastrear a ameaça, lançando, então, um interceptor para a fase final.¹⁸ As duas figuras representam as áreas operacionais de uma aeronave que defende Roma de *IRBM* lançado do Irã. A figura 4 representa a capacidade de um interceptor de baixa camada e a figura 5 a área operacional de um interceptor de alta camada. Podemos ver na figura 4 que o sistema de baixa camada não possui capacidade contra essa categoria de ameaça durante a fase de ascensão.

As aeronaves podem operar de forma autônoma em engajamentos durante as fases de propulsão ou ascensão, ou ainda como parte da rede de defesa final. As aeronaves de defesa podem ficar acumuladas em ponto específico ou redistribuídas em grande área, fornecendo defesa final durante período de tempo limitado em porto marítimo ou aéreo durante o destacamento de sistema de superfície a longo prazo, ou diminuindo a onda de ameaças de ataque através de engajamento de alvos durante a fase de propulsão em operações de incursões aéreas relâmpago. Finalmente e talvez de maior importância, baseamos tal conceito no desenvolvimento de interceptor de pequeno porte que custaria menos do que a ameaça que irá combater - uma característica que mantém a promessa de fazer com que o conceito de defesa antimíssil utilizando a capacidade aérea justifique o custo.

A Arma Lançada do Ar

Como seriam essas armas de defesa? Seu tamanho está diretamente relacionado a seu máximo alcance. O interceptor lançado do ar deve atingir alta velocidade para percorrer rapidamente a distância até o ponto previsto de intercepção, mas ainda assim, conservar a capacidade de manobra até alcançar o local preciso de destino. Também exige aceleração lateral suficiente para atingir o alvo de fato. Pode ser que um interceptor de baixa camada

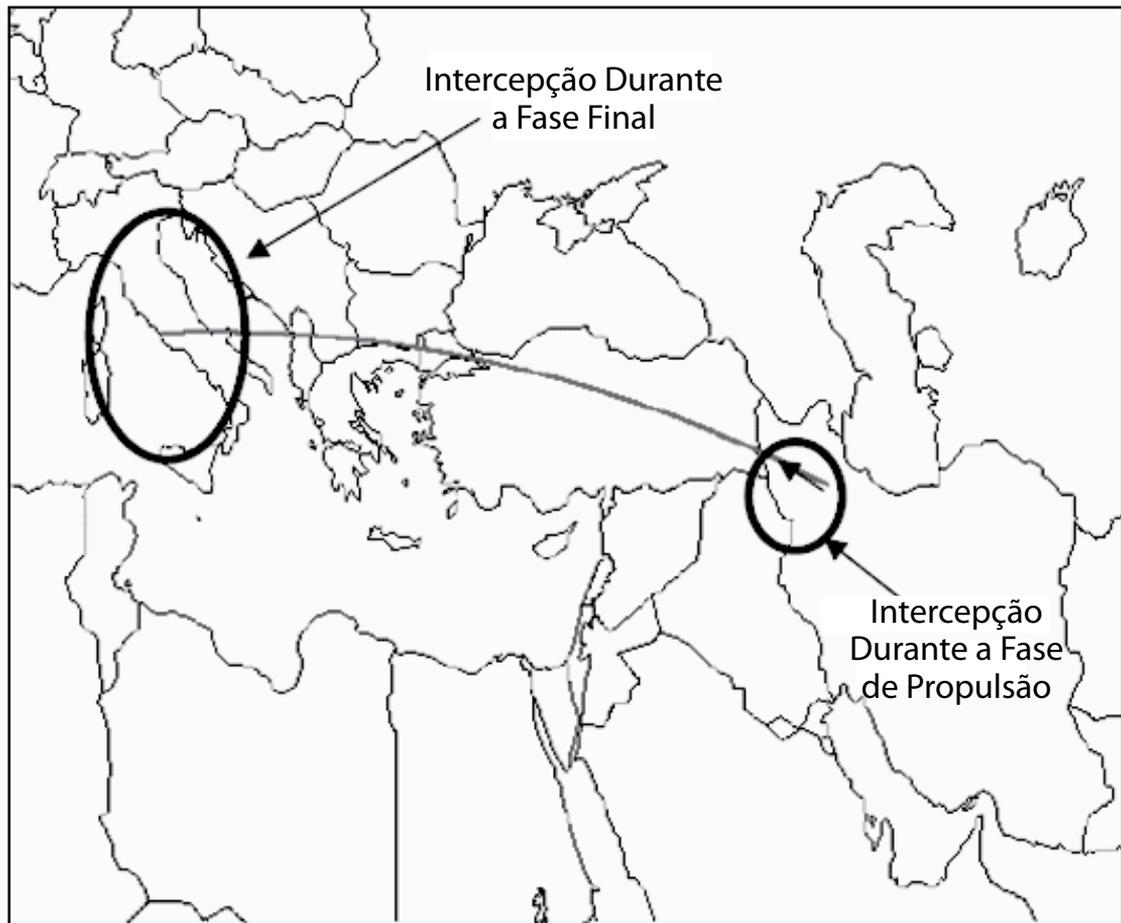


Figura 4. Áreas operacionais para aeronaves usando interceptor de baixa camada para defender Roma contra um IRBM lançado do Irã

utilize forças aerodinâmicas para manobrar; no entanto, qualquer tentativa do interceptor em engajar alvos que se encontram a distâncias superiores a 150 km resultará em intercepções exoatmosféricas, exigindo propulsores de impulso, para que possa manobrar em reação aos comandos de controle de trajetória. Já que os engajamentos de máximo alcance durante a fase de propulsão requerem que atinjam o alvo quando já se encontra quase no final daquela fase, quando o alvo possui o maior ritmo de aceleração, o interceptor deve possuir grande capacidade de manobra. Devemos solucionar, contudo, duas

áreas principais de risco técnico: maneabilidade exoatmosférica do veículo de ataque e discriminação das fases de ascensão e final, discutida abaixo em maiores detalhes.

Os Sistemas de Baixa Camada

O Elemento de Defesa Aerotransportado Centrado em Rede [*Net Centric Airborne Defense Element – NCADE*], proposto pela *Raytheon Missile Systems*, é um interceptor de tamanho aproximado ao do míssil ar-ar avançado de médio alcance [*Medium-Range Air-to-Air Mis-*

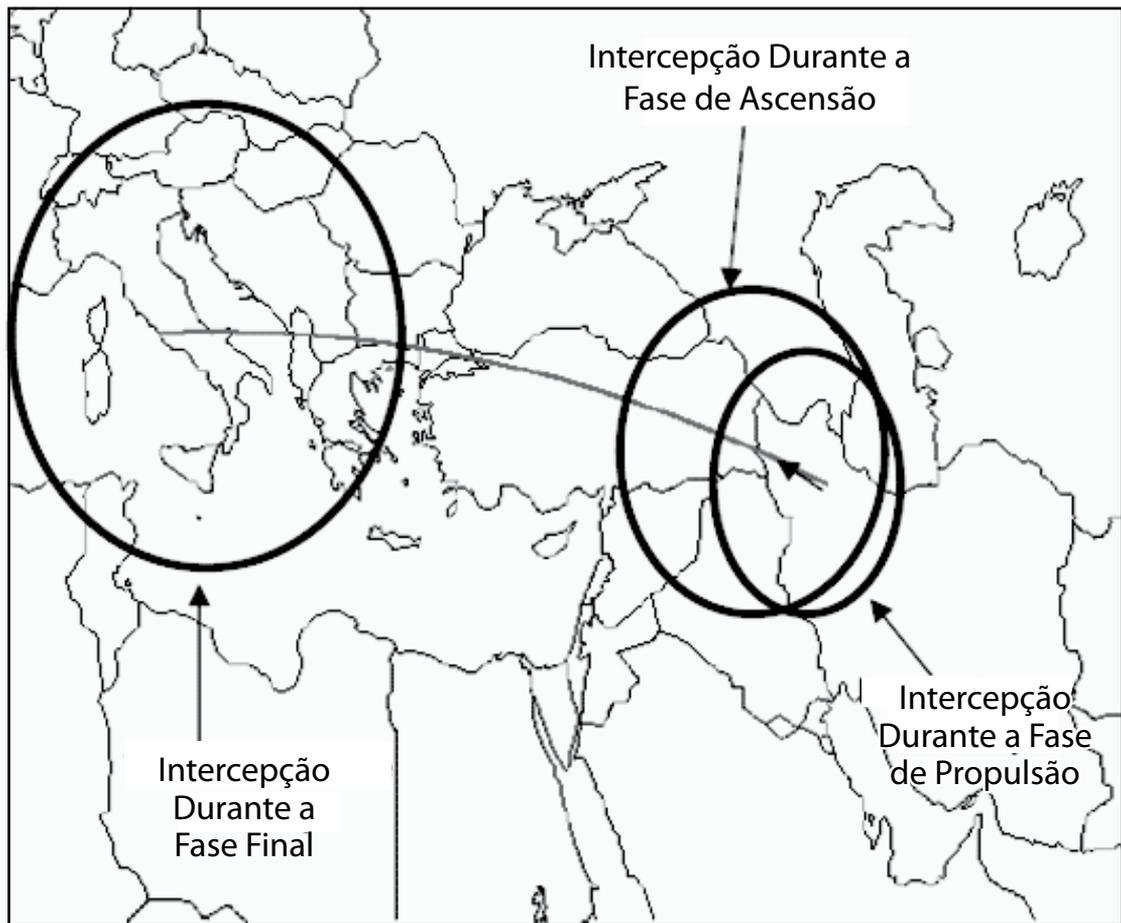


Figura 5. Áreas operacionais para aeronaves usando interceptor de alta camada para defender Roma contra um IRBM lançado do Irã

sile-AMRAAM). Com formato semelhante ao *AMRAAM*, o *NCADE* de dois estágios não conta com ogiva, mas sim, com um rastreador infravermelho.¹⁹ Em dezembro de 2007, o rastreador guiou o interceptor a alvo durante a fase de propulsão e provas posteriores revelaram grande capacidade de interceptação também durante a fase final.²⁰ Devido à alta proporção combustível-massa, dois estágios e sistema de controle de trajetória muito leve, o *NCADE* é, em potencial, várias vezes mais rápido do que o *AMRAAM*.²¹ Tal velocidade permite que se aproxime rapidamente de um míssil em fase de propulsão, dando-lhe um

alcance máximo de emprego de, aproximadamente, 150 km. Contudo, esse intervalo depende do aspecto, aceleração e a distância em que se encontra em sua trajetória, quando ocorre o lançamento do interceptor.²² O projeto *NCADE* proposto inclui também capacidade propulsora lateral, o que permitiria interceptações bem acima de 35 km de altitude.

O conceito de *Hit-to-Kill-Lançado-do-Ar* proposto pela *Lockheed Martin Missiles and Fire Control* [Mísseis e Controle de Fogo] usa o míssil *Patriot Advanced Capability 3 (PAC-3)* como interceptor.²³ Equipado com radar rastreador dinâmico semelhante ao do *AMRAAM*, o

PAC-3 é maior e ainda mais rápido do que o *NCADE*. No entanto, seu grande comprimento complica o aerotransporte e limita o número de mísseis comportado por qualquer aeronave que seja. Porém, esse míssil consagrado, atualmente em produção e com excelente histórico de desempenho, necessitaria apenas de pequenas modificações para ser lançado de aeronave.

O *NCADE* e o *Hit-to-Kill-Lançado-do-Ar* usam a energia cinética da interceptação como mecanismo de destruição e não portam ogiva explosiva. Pode ser que um interceptor sem ogiva pareça ser contra-intuitivo, entretanto a alta velocidade presente durante a aproximação final ao alvo complica os mecanismos de detonação e reduz a eficácia de ogiva explosiva. Além disso, a energia cinética da massa do interceptor ao impacto é superior à energia química de massa de *TNT* equivalente, quando a velocidade de aproximação final ao alvo for superior a 2,9km/s.²⁴

Os Sistemas de Alta Camada

O desenvolvimento de sistemas de alta camada apresenta dois obstáculos: (1) a construção de veículo de destruição cinética que satisfaça as necessidades de combustível e maneabilidade e (2) o desenvolvimento de sensor de aeronave com capacidade de discriminação para engajamentos tanto durante a fase de ascensão quanto final. O desempenho a longo alcance requer um míssil maior e mais rápido com um mecanismo de destruição capaz de manobra exoatmosférica, suficiente para atingir um alvo a 15 Gs de aceleração. A análise paramétrica, baseada em simulação de combate pesquisada em outros trabalhos, indica que devemos construir uma arma de 750 kg com velocidade final de pelo menos 3,5km/s, após não restar mais combustível, reter combustível suficiente para aceleração extra de 1,5km/s a 2 km/s (também denominada velocidade de desvio) e acelerar a mais de 10 Gs lateralmente, permitindo à arma atingir mísseis de alcances médio e intermediário como também mísseis balísticos intercontinentais.²⁵ As restrições de projeto para tais armas permitiriam seu encaixe dentro da fu-

selagem do F-35 ou do Sistema de Combate Aéreo Não-Tripulado da Marinha. Além disso, as aeronaves como o F-15, F-16, e F-18 poderiam transportá-las externamente.

Espera-se que os sistemas de alta camada engajarão [alvos] somente acima de 50 km de altitude, sem que esse seja um limite rígido. No entanto, a capacidade de engajar bem acima de 50 km expande o limite da fase de propulsão e provê capacidade de interceptação durante a fase de ascensão. A vantagem de engajamentos em altitudes tão baixas, i.e., 50 km é muito mais importante para interceptações durante a fase final de voo, durante a qual a atmosfera reduz a eficácia de contramedidas.

Infelizmente, embora acredite-se que esse sistema seja viável, seu conceito ainda não foi demonstrado. Quando levamos em consideração os requisitos de munições insensíveis [*insensitive munition* - é aquela que não detona sob quaisquer condições, diferente daquela da missão de destruição do alvo para a qual se destina] e o desejo da Marinha de evitar combustíveis líquidos hipergólicos, a problemática do projeto torna-se ainda maior.²⁶ A agilidade exoatmosférica necessária, restrita por tais requisitos operacionais, é o primeiro dos dois riscos técnicos principais para esse conceito.

As figuras 6 e 7 ilustram as áreas operacionais das fases de propulsão e ascensão para interceptor de 3,5km/s utilizado contra um *IRBM* proveniente do Irã em direção a Roma. Os quadradinhos representam os possíveis pontos a partir dos quais as aeronaves conseguiriam engajar o *IRBM*, utilizando um interceptor de 3,5km/s. Note que, para interceptações durante a fase de propulsão, a plataforma de lançamento talvez deva operar dentro de ou bem próxima a espaço aéreo iraniano. Alternativamente, a área operacional da aeronave para interceptações de alta camada durante a fase de ascensão oferece a possibilidade de operar a plataforma de lançamento bem longe das fronteiras do Irã.

O Sensor das Aeronaves

O *ALHK* requer capacidade de rastreamento de precisão para intervalos maiores de 1.000km. Os caças podem ultrapassar a camada de



Figura 6. Área operacional da fase de propulsão, pressupondo o lançamento de interceptor de 3,5km/s, 10 segundos após o lançamento de alvo IRBM

nuvens rapidamente, fazendo com que o sensor infravermelho passivo seja alternativa viável ao radar dinâmico. Os sensores infravermelhos fornecem apenas dados de ângulo, mas muito mais precisos do que os obtidos por radar. Além disso, os dados dinâmicos de distância obtidos pelo radar ou laser do caça (função optativa incorporada ao sensor infravermelho) provavelmente poderiam ser combinados, resultando em solução de rastreamento bem precisa. Se a distância extrema ou a característica do alvo tornar o cálculo de distância dinâmica inviável, o rastreamento [tipo] estéreo obtido por intermédio de dois

sensores aproximadamente a 100 km de distância um do outro fornecerá dados suficientemente exatos para o rastreamento em engajamentos durante a fase de propulsão-ascensão.

A análise demonstra que um sensor infravermelho fixo com abertura de aproximadamente 15 a 20 cm forneceria o desempenho necessário, ou seja, o sensor assemelha-se muito aos atuais identificadores de alvo *Sniper* e *LITENING*.²⁷ Na verdade, demonstramos o desempenho do *Sniper*, rastreando o interceptor Defesa Terrestre de Mísseis [Ground Missile Defense-GMD] de dois F-16s sobre a Base Aérea Edwards, Califórnia, durante toda a fase de

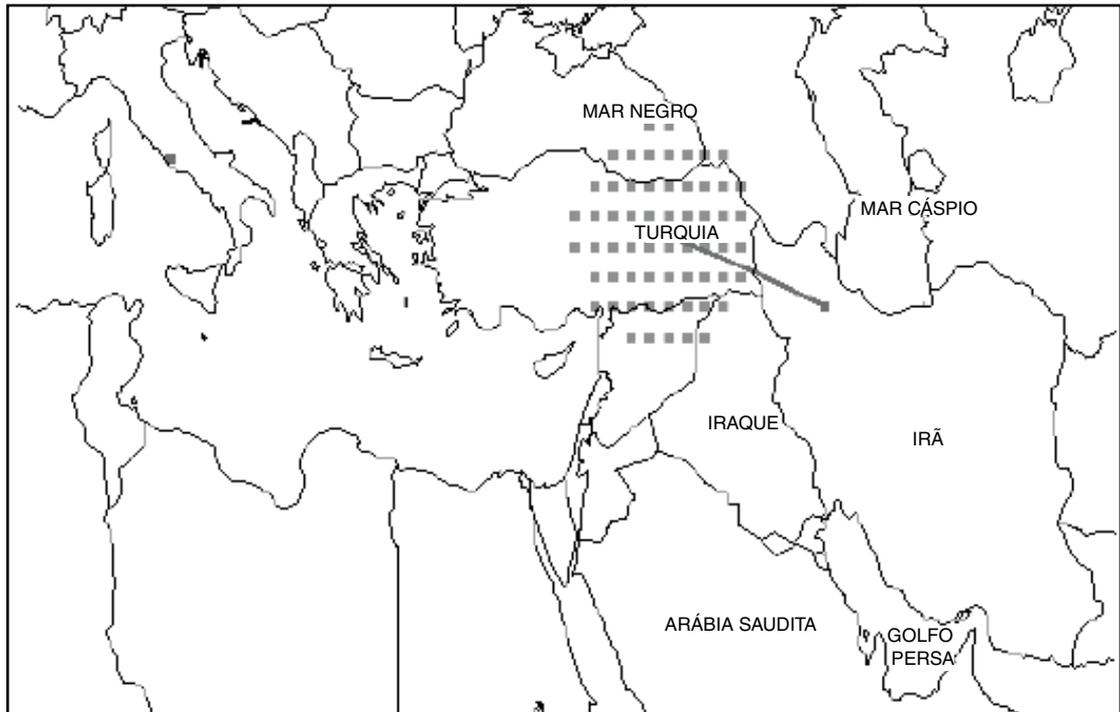


Figura 7. Área operacional da fase de ascensão, pressupondo o lançamento de interceptor de 3,5km/s, 80 segundos após a detecção de alvo IRBM e interceptação do alvo 270 segundos mais tarde (dois minutos após a queima total de combustível pelo IRBM)

propulsão, em prova de voo do *GMD (FTG-05)* da Base Aérea Vandenberg, Califórnia, em dezembro de 2008.²⁸

O sensor *IRSTS* [*sistema de busca e rastreamento visual e infravermelho*] deve fazer mais do que somente detectar e rastrear; deve também auxiliar o interceptor a discriminar entre a ogiva e outros objetos – tais como chamarizes – um processo complicado por detritos naturais e contramedidas defensivas. Duvida-se que o *IRSTS* ou o interceptor consiga esse desempenho individualmente. Uma interceptação bem sucedida depende de ambos, mas observações anteriores de provas de mísseis com sistemas semelhantes fazem crer que é possível. Essa capacidade de discriminação em interceptações durante as fases de ascensão e final é o segundo dos dois riscos técnicos principais desse conceito.

O Tamanho Importa, Mas Menor é Melhor

Um fato interessante a respeito do custo de mísseis é sua íntima relação ao peso. Embora pareça óbvio que quanto maior mais custe, a definição fica ainda mais clara ao traçarmos a projeção de todos os custos recentes de produção por unidade, em relação ao peso. Esse gráfico até mesmo sugere uma fórmula. Eugene Fleeman observa que durante a primeira consideração do projeto, o custo de produção é a função do peso, i.e., $C_{1000} \sim \$ 6.100 W_L^{0.758}$ onde C representa o custo unitário do 1000^o míssil e W_L é o peso em libras.²⁹ O banco de dados de Fleeman inclui apenas as armas de até 1.500 kg. Assim, ampliar a fórmula para 25.000 kg é obviamente questionável, mas a relação histórica é de que a produção de mís-

seis pequenos custa muito menos do que a dos grandes. De acordo com sua fórmula, um interceptor de 500 kg custaria 5,2% de um interceptor de 25.000 kg (ou seja, um interceptor de defesa intermediário terrestre); portanto, é possível conseguirmos maiores quotas de produção, fato que também reduz o custo unitário. O custo unitário mais baixo torna economicamente viável provas mais frequentes, o que por sua vez aumenta a confiabilidade no desempenho do sistema. Mas é a capacidade aérea que fornece a plataforma de lançamento, permitindo, assim, o uso de pequenos interceptores e possibilitando o *ALHK*.

Conclusão

Grande número de possíveis adversários corre em busca de precisão em sistemas de lançamento de mísseis balísticos. Competir em pé de igualdade com os Estados Unidos, usando aeronaves de combate não é opção viável à maioria dos oponentes, mas um míssil balístico oferece um sistema alternativo que consegue penetrar as defesas. Defendemos o ponto de vista de que o *ALHK* pode derrotar as ameaças de *IRBM* de forma econômica. Apesar de acabarmos de abordar apenas ameaças *IRBM*, outra análise demonstra que o *ALHK* também conseguiria engajar a maioria de outras ameaças provenientes de mísseis balísticos.

Um pequeno interceptor lançado de caça furtivo operando em, ou próximo a espaço aéreo disputado, forneceria o mesmo desempenho cinemático [*kinematics, i.e.*, o ramo de mecânica que trata de puro movimento, sem referência às massas ou forças relacionadas. Também denominada cinemática aplicada, a teoria de dispositivo mecânico que converte o movimento de um a outro tipo] de um interceptor de superfície muito maior lançado bem fora dessa área. Na maioria dos casos, as intercepções durante a fase de propulsão exigem operações no país onde ocorre o lançamento do *IRBM*, requerendo, assim, uma plataforma de baixa visibilidade. As intercepções durante as fases de ascensão e final não exigem tais plataformas e devem ser compatíveis com os caças de quarta geração. Um *IRSTS* fixo fornece detecção e rastreamento passivos,

por uma fração ínfima do custo de radar de superfície e de fácil difusão pelas forças aéreas dos Estados Unidos e aliadas. Em conjunto, os interceptores de pequeno porte e os *IRSTS* fixos constituem a capacidade de defesa altamente flexível e resistente, que comprometeria o planejamento do adversário, fornecendo ainda outros recursos, muito além das funções de defesa antimíssil. Por exemplo, as forças armadas podem projetar o *IRSTS* para detecção a longo alcance, rastreamento e identificação de alvos aéreos e projetar o interceptor de baixa camada e a longo alcance para engajar esses alvos a grande distância.

Sem dúvida, essa missão apresenta nova demanda às aeronaves de combate. As exigências de missão de alerta terrestre e, em alguns casos, de persistência aérea, bem como a possível penetração de defesas do espaço aéreo resultariam em enorme ônus às forças aéreas existentes. No futuro, as aeronaves, como o Sistema Aéreo de Combate Não-Tripulado [*Unmanned Combat Air System*] proposto pela Marinha, acomodarão missões de 100 horas de duração e baixa presença em radar, abrangendo, desse modo, os requisitos de persistência e penetração.³⁰ No entanto, mesmo se a Marinha perseguir a capacidade operacional inicial [*Initial Operational Capability-IOC*], seguindo o programa atual de demonstração de porta-aviões, levaria, ainda assim, mais de 10 anos. Nesse ínterim, os caças continuam sendo a opção principal.

A quinta geração de caças, como o *F-35*, contribui toda a capacidade de sensores internos, necessária ao apoio de intercepções durante a fase de propulsão para interceptores de alta e baixa camadas. Nossa análise indica que o sistema de abertura distribuído do *F-35* [*Distributed Aperture System*] detectaria e rastrearía imediatamente um *TBM* durante a fase de propulsão em qualquer direção e em qualquer altitude, dada uma clara linha de visão. Os caças de quarta geração equipados com *IRSTS* contariam com capacidade de intercepção durante as fases de ascensão e final com os interceptores de ambas as camadas, e o *IOC* para camada mais baixa poderá ser viável já em 2015. Para a alta camada, é possível que o *IOC* ocorra de 2 a 4 anos daquela data,

supondo que o programa de desenvolvimento de tecnologia consiga abordar dentro em breve os requisitos de agilidade.

Em 2009, o Chefe do Estado-Maior da Força Aérea dos EUA [*USAF Chief of Staff*] e o Diretor da Agência de Defesa contra Mísseis [*Missile Defense Agency*] iniciaram estudo conjunto do *ALHK*, onde concluíram que o conceito é tecnicamente viável e operacionalmente factível, mas deferiram decisões importantes até que uma análise custo-benefício pormenorizada seja levada a efeito.³¹ Até a presente data, embora a Força Aérea estivesse na vanguarda nesse sentido, todas as partes envolvidas chegaram à conclusão de que só conseguirão atingir plena capacidade como sistema conjunto. A contribuição extra de aeronaves de porta-aviões com *ALHK* ofereceria maior flexibilidade defensiva a um comandante de

força conjunta, bem como maior incerteza aos adversários.

Entretanto, como ocorre com qualquer nova capacidade, o *ALHK* possui alto custo. Os custos de oportunidade e o impacto em operações de combate aéreo exigem completa avaliação e exame de possíveis contramedidas adversárias. Devemos modelar a capacidade resultante em uma variedade de campanhas futuras que considerem uma série de evoluções tecnológicas de possíveis adversários, e devemos avaliá-las criticamente antes de decidirmos a favor da aquisição. No entanto, ao ponderarmos a possibilidade de levar a cabo essa missão para as forças de combate aéreo, devemos também considerar as ramificações a longo prazo, caso a decisão seja a de não prosseguir. □

Notas

1. 1^o Tenente Alexi A. LeFevre, “A Strategic Conversation about National Missile Defense,” *Strategic Studies Quarterly* 2, no. 4 (Winter 2008): 117, <http://www.au.af.mil/au/ssq/2008/Winter/lefevre.pdf>; e Jeff Sessions, “Ballistic Missile Defense: A National Priority,” *Strategic Studies Quarterly* 2, no. 2 (Verão 2008): 22–30, <http://www.au.af.mil/au/ssq/2008/Summer/sessions.pdf>.

2. Departamento de Defesa, *Ballistic Missile Defense Review Report* (Washington DC: United States Department of Defense, February 2010), 15–19, http://www.defense.gov/bmdr/BMDR%20as%20of%2026JAN10%200630_for%20web.pdf.

3. George Jahn, “IAEA Fears Iran Making a Warhead,” Associated Press, 19 de February 2010, http://www.boston.com/news/world/asia/articles/2010/02/19/iaea_fears_iran_making_a_warhead/.

4. Departamento de Defesa, *Ballistic Missile Defense Review Report*, i.

5. David K. Barton et al., *Report of the American Physical Society Study Group on Boost-Phase Intercept Systems for National Missile Defense: Scientific and Technical Issues* (College Park, MD: American Physical Society, 5 de October 2004), http://rmp.aps.org/pdf/RMP/v76/i3/pS1_1.

6. Ver Paul Zarchan, *Tactical and Strategic Missile Guidance*, 5th ed. (Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2007), 721–68.

7. Thomas A. Keane e Eliot A. Cohen, *Gulf War Air Power Survey: Summary Report* (Washington, DC: US Government Printing Office, 1993), 177, 179; e Freeman J. Dyson, *Disturbing the Universe* (New York: Harper & Row,

1979), 108, <http://books.google.com/books?id=RHzoMeU2bxsC&pg=PA108#PPA108,M1>.

8. Mohammad-Ali Massoumnia, *Q-Guidance in Rotating Coordinates*, AIAA-91-2784-CP (Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1991). Esse artigo, escrito por um membro do corpo docente do Departamento de Engenharia Elétrica, Sharif University of Technology, Teerã, Irã, demonstra que os iranianos estão familiarizados com técnicas de controle de trajetória e precisão de *ICBMs* e investigam seu emprego em mísseis de curto alcance.

9. Gregory P. Kennedy, *Rockets, Missiles, and Spacecraft of the National Air and Space Museum* (Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1983), 20–23.

10. Eugene L. Fleeman, “Technologies for Future Precision Strike Missile Systems: Introduction/Overview,” in North Atlantic Treaty Organization, Research and Technology Organization, *Technologies for Future Precision Strike Missile Systems*, RTO Lecture Series, no. 221 (Neuilly-sur-Seine Cedex, France: North Atlantic Treaty Organization, Research and Technology Organization, 2000), <http://handle.dtic.mil/100.2/ADA387602>.

11. Uma pesquisa no Google de “*tactical surface to air missile burn times*” oferece uma amostragem de muitos mísseis táticos com período de combustão de menos de 20 segundos.

12. Peter J. Mantle, *The Missile Defense Equation: Factors for Decision Making* (Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004), 85–92.

13. Zarchan, *Tactical and Strategic Missile Guidance*, 143–61.
14. Mantle, *Missile Defense Equation*, 371–81.
15. A simulação é baseada em Zarchan, *Tactical and Strategic Missile Guidance*, 721–68.
16. Dean A. Wilkening, “Airborne Boost-Phase Ballistic Missile Defense,” *Science and Global Security* 12 (June 2004): 2, http://www.princeton.edu/sgrs/publications/sgrs/pdf/12_1-2_wilkening.pdf.
17. Zarchan, *Tactical and Strategic Missile Guidance*, 721–55.
18. Thomas H. Kean et al., *The 9/11 Commission Report: Final Report of the National Commission on Terrorist Attacks upon the United States* (Washington, DC: US Government Printing Office, 2004), 20–27, <http://govinfo.library.unt.edu/911/report/911Report.pdf>. Esse documento discute período de tempo de reação na decolagem de caças durante os ataques terroristas de 11 de setembro de 2001. Embora a literatura aberta ao público refira-se a uma disponibilidade imediata de 15 minutos, os caças em alerta costumam possuir melhor desempenho. Durante o 11 de setembro, os caças da Base Aérea da Guarda Nacional Otis, MA, estavam no ar em sete minutos, e os caças da Base Aérea Langley, VA, em seis minutos.
19. Michael Leal e Philip Pagliara, “NCADE: Air Launched Boost Phase Intercept Demonstrated” (documento de pesquisa apresentado durante a 2008 Multinational Ballistic Missile Defense Conference, Honolulu, HI, 10 setembro), 3. (Este documento da Raytheon está disponível ao público.)
20. *Ibid.*, 8–12.
21. *Ibid.*, 3.
22. *Ibid.*, 7.
23. “Patriot PAC-3[ALHK],” *Deagel.com*, http://www.deagel.com/Anti-Ballistic-Missiles/Patriot-PAC-3_a001152003.aspx.
24. Barton, *Report of the American Physical Society Study Group*, 242. Esse documento aborda a letalidade real necessária para derrotar uma ogiva nuclear. Para comparar energia cinética à energia química, ver Richard A. Muller, *Physics for Future Presidents: The Science behind the Headlines* (New York: W.W. Norton & Co., 2008), chap. 1. O TNT possui energia química de 4,18 kilojoules por kg. A equação de energia cinética ($1/2$ massa multiplicada pela velocidade ao quadrado) demonstra que um quilograma de massa do interceptor gera 4,18kj de energia, quando a velocidade final de aproximação é de 2,9km/s.
25. Zarchan, *Tactical and Strategic Missile Guidance*, 291–316.
26. Memorando de Ashton Carter, Sub-Secretário de Defesa, encarregado de aquisições, tecnologia e logística aos Secretários de Departamentos Militares et alia. Assunto: Joint Insensitive Munitions Test Standards and Compliance Assessment, 1 Fevereiro 2010.
27. Barton, *Report of the American Physical Society Study Group*, 192–97.
28. Três caças F-16 do 416º Esquadrão de Provas de Voo, Base Aérea Edwards, CA, voaram sob contrato para o Diretor de Tecnologia de Armas Avançadas [Advanced Technology Weapons], Missile Defense Agency, em 5 de dezembro de 2008, observando o lançamento e toda a fase de propulsão de um interceptor terrestre de defesa intermediária [Ground-Based Midcourse Defense Interceptor-GBI] da Base Aérea Vandenberg, CA, com identificador de alvos Sniper.
29. Eugene Fleeman, *Tactical Missile Design*, 2d ed. (Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006), 286.
30. Thomas P. Ehrhard and Robert O. Work, *Range, Persistence, Stealth, and Networking: The Case for a Carrier-Based Unmanned Combat Air System* (Washington, DC: Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2008), http://www.csbaonline.org/4Publications/PubLibrary/R.20080618.Range_Persistence_/R.20080618.Range_Persistence_.pdf.
31. Marina Malenic, “Companies Await MDA Verdict on Air-Launched Hit-to-Kill Programs,” *Defense Daily*, 20 August 2009, http://findarticles.com/p/articles/mi_6712/is_36_243/ai_n35676077/; and “DOD News Briefing with David Altwegg on Fiscal Year 2011 Budget for Missile Defense Agency,” *GlobalSecurity.org*, 1 February 2010, <http://www.globalsecurity.org/space/library/news/2010/space-100201-dod01.htm>.



Coronel Mike Corbett, USAF, Reformado. Recebeu o Bacharelado da *Oregon State University*, Mestrado em Ciências da *Purdue University*, Mestrado em Ciências da *Auburn University*-Montgomery, Alabama. Foi o Diretor de Armas Tecnológicas Avançadas da Agência de Defesa de Mísseis-MDA de 2006 a 2009, liderando pequeno grupo em projetos de apoio a tecnologia de energia cinética e guiada para sistemas de defesa de mísseis balísticos. Liderou o desenvolvimento do conceito de mísseis *Hit-to-Kill* lançados do ar e a avaliação de viabilidade e engenharia de interceptores derivados do *PAC-3* com caças. Também liderou a avaliação de MDAs do Elemento de Defesa Centrado em Rede e Aerotransportado, um programa sob a direção do congresso, a fim de desenvolver novo interceptor de defesa de mísseis, utilizando um míssil de rastreamento ar-ar já existente. Ingressou a MDA em 2005 após aposentar-se da Força Aérea. A experiência militar inclui posições de comando em diversos níveis dentro do *Comando de Combate Aéreo* e *Guarda Nacional* e mais de 5.000 horas em uma variedade de aeronaves, predominantemente caças.



Paul Zarchan Bacharelado em Ciências em Engenharia Elétrica [*Bachelor of Science in Electrical Engineering-BSEE*] do *City College of New York*, Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica [*Master of Science in Electrical Engineering-MSEE*] da *Columbia University*. Conta com mais de 40 anos de experiência projetando, analisando e avaliando sistemas de guia de mísseis. Serviu de engenheiro chefe para a *Raytheon Missile Systems Division*, engenheiro de pesquisa chefe para o Ministério de Defesa de Israel e membro principal do pessoal técnico do *C.S. Draper Laboratory*. Atualmente faz parte do pessoal técnico do *MIT Lincoln Laboratory* em problemas relacionados à defesa de mísseis. É autor de *Tactical and Strategic Missile Guidance*, quinta tiragem, um texto do *American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)* e co-autor de *Fundamentals of Kalman Filtering: A Practical Approach*, terceira tiragem, outro texto da *AIAA*. É editor assistente do *Journal of Guidance, Control and Dynamics*.