



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

ÉDEN SCHIAVINATO DE SOUZA, Cap Av

Sistemas de energia dirigida: o futuro da defesa antiaérea na Força Aérea Brasileira

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

ÉDEN SCHIAVINATO DE SOUZA, Cap Av

Sistemas de energia dirigida: o futuro da defesa antiaérea na Força Aérea Brasileira

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Ciência, Tecnologia e Inovação

Orientador: Pedro Nolasco Duarte, Maj Av

Rio de Janeiro

2024

ÉDEN SCHIAVINATO DE SOUZA, Cap Av

Sistemas de energia dirigida: o futuro da defesa antiaérea na Força Aérea Brasileira

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola
de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Presidente, Pedro Nolasco Duarte, Maj Av - EAOAR

Patrícia Fernanda Barros Pereira Dias, Cap Dent - EAOAR

Rio de Janeiro

2024

RESUMO

A Força Aérea Brasileira (FAB) possui a ação de defesa antiaérea como uma de suas atribuições para garantir a soberania do espaço aéreo brasileiro. Para isso, seus Grupos de Defesa Antiaérea utilizam o IGLA-S, um sistema altamente eficaz dentro do seu envelope de operação. No entanto, além de ser a única plataforma de armas utilizada para essa finalidade, o sistema se encontra obsoleto frente às novas ameaças empregadas nas guerras contemporâneas. Para suprir essas lacunas, este trabalho propõe a implantação de uma linha de pesquisa com foco em sistemas de energia dirigida no Instituto de Estudos Avançados, de forma a alicerçar o desenvolvimento de tecnologias voltadas à defesa antiaérea e, assim, contribuir para a manutenção continuada da soberania nacional. Para sustentar essa tese, leva-se em conta que o domínio de conhecimentos em áreas científicas voltadas à defesa fomenta o desenvolvimento nacional de tecnologias emergentes, promovendo autossuficiência estratégica nas capacidades defensivas do Brasil. Ressalta-se, ainda, que uma tecnologia complementar àquela já utilizada pela FAB para defesa antiaérea proporciona maior polivalência diante das possíveis ameaças que atualmente operam nos cenários de conflito. Ademais, a versatilidade da aquisição de competências nessa área amplia suas possibilidades de emprego como uma tecnologia dual, com aplicações tanto no campo militar quanto em setores industriais e tecnológicos. Portanto, ao dominar essa tecnologia estratégica, o Brasil fortalece sua soberania, não apenas pela expansão de seu poder dissuasório, mas também pelo fortalecimento da indústria nacional, podendo consolidar-se como referência global no desenvolvimento e aplicação de sistemas de energia dirigida.

Palavras-chave: sistemas de energia dirigida; defesa antiaérea; soberania nacional; pesquisa e desenvolvimento.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Constituição Federal de 1988, compete à União assegurar a defesa nacional. Para isso, o artigo 142 (Brasil, 1988) estabelece que o papel das Forças Armadas é, dentre outros, o de serem destinadas à defesa da pátria. Nesse sentido, como um dos braços armados da nação brasileira, a Força Aérea Brasileira atua para manter a soberania do espaço aéreo (Brasil, 2018) por meio de Ações de Força Aérea específicas para esse fim.

Atualmente, por meio dos Grupos de Defesa Antiaérea (GDAAE), a FAB utiliza unicamente o “Sistema de Defesa IGLA-S” para o cumprimento da ação de defesa antiaérea (DAAe), cuja definição envolve o emprego de Meios de Força Aérea com a finalidade de neutralizar, a partir da superfície, vetores aéreos oponentes que ameacem pontos ou áreas sensíveis (Brasil, 2020). Apesar de ser um sistema adequado contra ameaças que emitem assinaturas térmicas, dentro de seu envelope de operação, não é eficaz quando se lida com um grande número de ameaças simultâneas e drones, os quais se tornaram parte fundamental das estratégias de guerras contemporâneas (Kunertova, 2023a).

Conseqüentemente, mesmo países com robustos e renomados sistemas de defesa antiaérea, como Israel e Reino Unido, já se posicionaram à vanguarda tecnológica ao desenvolverem modernos sistemas de energia dirigida para fortalecer ainda mais suas soberanias, utilizando tecnologias a *laser* para contrapor ameaças que não poderiam ser interceptadas por seus meios antiaéreos convencionais.

Tendo em vista que a manutenção da soberania do espaço aéreo brasileiro está diretamente relacionada à ampliação das capacidades da FAB, o Instituto de Estudos Avançados (IEAv) possui um papel relevante devido à sua missão de promover o domínio de tecnologias estratégicas por meio de pesquisa básica e aplicada.

Portanto, este trabalho defende que a implantação de uma linha de pesquisa focada em sistemas de energia dirigida no IEAv viabiliza o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à defesa antiaérea, promovendo a continuada manutenção da soberania nacional.

De forma a fundamentar a tese, argumenta-se que a garantia da soberania nacional é alicerçada na autossuficiência na produção de seus sistemas de defesa, o que reflete diretamente os deveres constitucionais da União.

Além disso, este trabalho se vale do argumento de que é necessária uma maior versatilidade do sistema de defesa antiaérea da FAB, tendo em vista que o sistema IGLA-S já se encontra obsoleto em relação às possíveis ameaças que o Brasil pode lidar.

2 DESENVOLVIMENTO

Em sua diretriz de comando, o Comandante da Aeronáutica enaltece os projetos relacionados aos campos da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) como meios que possam representar um fator estratégico para a nação brasileira (Damasceno, 2023). Além disso, ele menciona que a pesquisa e desenvolvimento em tecnologias de sistemas de energia dirigida deve ser um dos focos para os próximos vinte anos, o que vai ao encontro da visão da FAB para o ano de 2041, em que é citada a sua grande capacidade dissuasória e modernidade operacional (Brasil, 2018).

Os sistemas de energia dirigida, quando utilizados como meios de contraposição de ameaças, podem ser divididos em dois principais segmentos de armas: emissores de micro-ondas de alta potência (HPM, do inglês *High-Power Microwave*) e os baseados em tecnologia a *laser* (Ávila; Martins; Cepik, 2009). Os sistemas HPM utilizam pulsos eletromagnéticos para interferir eletronicamente em seus alvos, implicando em sobrecargas em seus sistemas e colapsando seus circuitos (Rao *et al.*, 2002). Já os baseados em emissão a *laser* objetivam danificar fisicamente os objetos para os quais seus feixes forem direcionados, causando queima e/ou desintegração devido à alta concentração de energia térmica que emitem (Kar; Mazumder, 1990).

Portanto, para a garantir a possibilidade de implantação de tecnologias similares para complementar os meios de defesa antiaérea da FAB, deve haver um sólido domínio do conhecimento na Base Industrial de Defesa brasileira, o qual somente pode ser obtido por meio de pesquisas aprofundadas nesse ramo científico que podem ser desenvolvidas no IEAv.

2.1 A AUTOSSUFICIÊNCIA TECNOLÓGICA EM NAÇÕES SOBERANAS

Ao se mencionar poderio militar e soberania nacional, os EUA figuram como uma das principais referências globais (Ávila; Martins; Cepik, 2009). De modo a alcançar os objetivos de sua estratégia nacional de defesa, a diretora de tecnologia do Departamento de Defesa enfatiza a necessidade de se dominar tecnologias emergentes, garantindo todo o alicerce necessário para que a pesquisa e o desenvolvimento sejam fomentados (EUA, 2023a). Quando se analisa a íntegra do documento, nota-se que há preocupação em desenvolver tecnologias que sejam, de fato, relevantes para o contexto de segurança nacional, evitando desperdício de recursos em corridas tecnológicas que não proporcionem ampliação de suas capacidades. Dentre os tópicos críticos descritos como específicos para defesa, encontra-se a necessidade de avanços na área de energia dirigida (EUA, 2023b).

Assim como os EUA, países com extenso histórico de envolvimento em conflitos armados também possuem, como foco, o desenvolvimento de seus próprios meios defensivos (Shapir, 2013). Israel, por exemplo, em resposta às contínuas ameaças de países vizinhos, desenvolveu um sistema de defesa antiaérea em múltiplas camadas: o *Iron Dome* para interceptações de curto alcance (cerca de 70 km), o *David's Sling* para médio alcance e o escudo *Arrow*, contra mísseis balísticos (Shapir, 2013). Além disso, para contrapor ameaças a baixas altitudes e curtíssimo alcance, como drones e morteiros, o país também desenvolveu o sistema *Iron Beam*, baseado em energia dirigida a *laser* (Landau; Bermant, 2014).

Nesse contexto, a integração e o domínio de sistemas de defesa desenvolvidos nacionalmente garantem a dissuasão e fortalecem a soberania da nação israelense. O controle sobre essas tecnologias assegura que o país não dependa exclusivamente de potências estrangeiras para sua segurança, permitindo maior autonomia estratégica e reforçando sua capacidade de defesa mesmo em cenários de crise internacional.

Em meio aos conflitos envolvendo Israel e o grupo terrorista Hamas, o governo americano sugeriu a possibilidade de suspender o fornecimento de determinadas armas a Israel como forma de interromper a campanha militar em Rafah (Gaza). No entanto, esse tipo de coação não os impediu de manter o planejamento da incursão, visto que a nação israelense já dispunha de todo o armamento que necessitava (Israel [...], 2024).

Em contextos de impasses diplomáticos como esse, é possível que países que possuam vínculos de dependência em relação aos seus meios defensivos sofram fragilização em suas soberanias, visto que há uma latente possibilidade de interrupção do apoio militar aliado.

Desse modo, países que não são autossuficientes em seus meios de defesa podem comprometer suas soberanias ao confrontarem, mesmo no campo diplomático, nações das quais dependem em parcerias estratégicas. Como exemplo, em 2023, um pronunciamento oficial do governo colombiano gerou atrito nas relações de seu país com Israel, levando o Estado israelense a suspender suas exportações de materiais de defesa à Colômbia (Israel [...], 2023).

Ao notar que países com reconhecida experiência em conflitos armados, como os Estados Unidos e Israel, investem no desenvolvimento e domínio de tecnologias emergentes para preservar sua soberania e fortalecer sua capacidade de dissuasão, torna-se evidente a importância de iniciativas análogas no contexto brasileiro. Segundo Fernandes *et al.* (2020), alcançar independência tecnológica em áreas estratégicas de defesa é essencial para o fortalecimento da soberania nacional.

Assim, ao implantar uma linha de pesquisa em sistemas de energia dirigida no IEAv, a Força Aérea Brasileira posiciona o Brasil na vanguarda das defesas antiaéreas em nível global.

Tal iniciativa permite ao país atingir autonomia em um campo científico voltado à segurança nacional, reforçando sua soberania e capacidade de dissuasão.

2.2 A VERSATILIDADE DEFENSIVA CONTRA NOVAS AMEAÇAS

Assim como outros sistemas de defesa aérea portáteis (MANPADS, do inglês *Man-Portable Air-Defense Systems*), o IGLA-S, também nomeado por “SA-24 *Grinch*” pela Organização do Tratado do Atlântico Norte, foi desenvolvido com o objetivo de engajar vetores aéreos dotados de assinaturas térmicas significativas, como aeronaves de asa fixa e helicópteros (Ashkenazi *et al.*, 2013). Seu sistema de guiamento autônomo se orienta a partir da identificação de um determinado espectro infravermelho, possuindo probabilidade de interceptação de seus alvos de 50% a 75% (Fiszer; Gruszczynski, 2002 *apud* Ashkenazi *et al.*, 2013).

À época em que foi operacionalizado pela Rússia, no início dos anos 2000, era um sistema de defesa antiaérea eficaz contra grande parte das aeronaves possíveis de ameaçar a soberania do espaço aéreo brasileiro, visto que ainda era comum o emprego de helicópteros em missões de assalto envolvendo o contato direto com forças inimigas, como foi o caso das guerras travadas pelos EUA no Iraque e no Afeganistão.

De acordo com Unterseher (2008), cerca de 10% das aeronaves implantadas na região de conflito no Oriente Médio foram abatidas por defesas antiaéreas. O atrito foi tão significativo que ocorreram profundas mudanças na estratégia de uso de tais aeronaves, planejando-se a implementação de drones armados como possíveis plataformas de combate substitutas.

Shaw (2013) explora como essa estratégia marcou uma transformação no modo como os EUA passaram a conduzir suas operações militares, destacando que, em 2012, o diretor da Agência Central de Inteligência (CIA, do inglês *Central Intelligence Agency*) americana, David Petraeus, solicitou a aquisição de dez drones MQ-1 e MQ-9 à frota já existente de aproximadamente 35 unidades, um aumento que reflete o crescente interesse dos EUA nessa tecnologia e consolida os drones como elemento central em sua política de segurança nacional.

Na atual guerra entre Rússia e Ucrânia, foi possível observar uma escalada ainda maior desse fenômeno. Conforme exposto por Kunertova (2023b), o que era um meio, até então, de realizar missões semelhantes às já praticadas por aeronaves tripuladas de asa fixa e de asas rotativas, tornou-se um campo de inúmeras possibilidades de atuação: desde drones comerciais carregados com granadas até ações simultâneas de drones “suicidas” autônomos.

Essa versatilidade de emprego dos vetores proporciona uma vantagem estratégica relevante, visto que necessidades específicas de cada missão podem ser cumpridas por

diferentes meios. Um ponto a ser considerado para a escolha desses objetivos é a autonomia devido à sua matriz energética. Os drones semelhantes aos adquiridos pela CIA possuem motores à combustão, enquanto os de dimensões reduzidas, atualmente sendo utilizados na guerra entre Ucrânia e Rússia, são eletricamente propulsados (Kardasz *et al.*, 2016).

Considerando o sistema propulsivo desses vetores menores, devido à sua maior eficiência energética em relação aos motores à combustão, suas emissões de energia térmica são significativamente menores quando comparadas às de aeronaves militares de asa fixa e de asas rotativas, o que implica em uma reduzida assinatura infravermelha (Andraši *et al.*, 2017).

De acordo com Takizawa (2009), a capacidade de detecção do míssil utilizado no sistema IGLA-S está diretamente relacionada à intensidade de radiação infravermelha emitida pelo alvo. Seu avançado sistema de fotodetectores (do tipo *two-color*) abrange duas relevantes faixas de comprimentos de onda, sendo uma delas relativa às emissões típicas da exaustão de gases em motores à combustão e superfícies aerodinamicamente aquecidas, e outra focada em identificar assinaturas térmicas comumente relacionadas à queima de *flares* de magnésio.

Considerando esse contexto, identifica-se uma defasagem entre as capacidades operacionais do IGLA-S e as exigências necessárias para uma efetiva ação de defesa antiaérea a ser realizada pela FAB. Em uma situação que demande engajamento com ameaças que se encontrem fora do envelope operacional do único sistema de defesa antiaérea disponível, poderá haver prejuízo à manutenção da soberania do espaço aéreo brasileiro.

Desse modo, torna-se relevante considerar a complementação e o fortalecimento dos meios disponíveis para o cumprimento da missão fim da FAB (Brasil, 2020). Para a conjuntura da guerra contemporânea e seus atrelados avanços tecnológicos, não é possível utilizar-se somente de MANPADS para contraposição às ameaças. Conforme apontado por Zhao, Xie e Wan (2020), os sistemas de energia dirigida se destacam como o meio mais eficiente para defesa contra drones. Dentre suas vantagens, Calcara *et al.* (2022) destacam a alta precisão, velocidade de interceptação incomparável (especificamente para os sistemas baseados em *lasers*), custo de operação por disparo irrelevante (quando comparado ao custo unitário de mísseis terra-ar) e operação sem interrupções, enquanto houver abastecimento energético.

Assim, considerando que o Sistema IGLA-S se encontra obsoleto frente às possíveis ameaças que o Brasil pode lidar, torna-se evidente a necessidade de ampliar a versatilidade e eficácia de seus meios de defesa antiaérea. Dessa forma, a implantação de uma linha de pesquisa em sistemas de energia dirigida no IEAv apresenta-se como uma solução estratégica, pois, ao investir no desenvolvimento de tecnologias voltadas a esse ramo científico, a Força Aérea Brasileira amplia sua capacidade defensiva fortalecendo, assim, a soberania do país.

3 CONCLUSÃO

A Força Aérea Brasileira é responsável por garantir a soberania do espaço aéreo nacional, possuindo como uma de suas atribuições a ação de defesa antiaérea. Atualmente, os Grupos de Defesa Antiaérea da FAB dependem exclusivamente do sistema IGLA-S, o qual, apesar de eficiente para sua proposta inicial, encontra-se obsoleto em relação às possíveis ameaças decorrentes de vetores aéreos modernos.

Com o crescente desenvolvimento tecnológico na área de defesa, os sistemas de energia dirigida têm sido explorados para complementar sistemas de defesa antiaérea de países que possuem considerável experiência em conflitos.

Ao desenvolver e dominar tais conhecimentos, países como os EUA, Reino Unido e Israel ampliaram suas capacidades defensivas e fortaleceram suas soberanias, visto que a autossuficiência em setores correlatos à defesa permite maior autonomia em decisões que possam gerar tensões diplomáticas com países aliados. Dessa forma, nota-se que investir na pesquisa e desenvolvimento de uma tecnologia emergente, como sistemas de energia dirigida, confere ao Brasil as mesmas características estratégicas obtidas pelas nações supracitadas.

Tendo em vista as limitações do sistema IGLA-S para o contexto em que drones com reduzida assinatura térmica se tornaram uma possível ameaça, os sistemas de energia dirigida se destacam como um complemento eficaz. Além da maior versatilidade para que a FAB possa contrapor vetores aéreos de distintas categorias, ainda há vantagens significativas em relação a custos de operação, alta precisão e velocidade de interceptação.

Nesse sentido, verificou-se que a implantação de uma linha de pesquisa focada em sistemas de energia dirigida no IEAV viabiliza o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à defesa antiaérea, promovendo a continuada manutenção da soberania nacional.

Por fim, é importante ressaltar que as possibilidades de aplicação dos conhecimentos resultantes das pesquisas não se esgotam no emprego em armamentos para defesa antiaérea. A versatilidade da utilização de energia dirigida proporciona, ainda, o desenvolvimento de tecnologias duais, podendo ser aplicadas tanto na área operacional militar, como em sistemas de propulsão aeroespacial a *laser*, quanto para fortalecimento da indústria nacional em outros ramos, como por exemplo na medicina, por meio do avanço da tecnologia em operações cirúrgicas não invasivas. Dessa forma, além de ampliar seu poder dissuasório ao dominar uma tecnologia estratégica, o Brasil poderá se consolidar como referência no desenvolvimento e aplicação de sistemas de energia dirigida em diversos setores tecnológicos e industriais em âmbito global.

REFERÊNCIAS

- ANDRAŠI, P. *et al.* Night-time detection of UAVs using thermal infrared camera. **Transportation Research Procedia**, Amsterdã, v. 28, p. 183-190, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517311043>. Acesso em: 3 out. 2024.
- ASHKENAZI, M. *et al.* MANPADS: A terrorist threat to civilian aviation?. **Bonn International Center for Conversion (BICC) briefs**, Bonn, v. 47, p. 2-158, 2013. Disponível em: https://www.files.ethz.ch/isn/160759/BICC_brief_47.pdf. Acesso em: 2 out. 2024.
- ÁVILA, F. S.; MARTINS, J. M.; CEPIK, M. Armas estratégicas e poder no sistema internacional: o advento das armas de energia direta e seu impacto potencial sobre a guerra e a distribuição multipolar de capacidades. **Contexto internacional**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 49-83, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cint/a/BmSRRJSg74wXWS7ksg3dBtw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 set. 2024.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria n° 1.225/GC3, de 10 de novembro de 2020. Aprova a edição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira – Volume 2: DCA 1-1. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 205, p. 195-241, 12 nov. 2020. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=36605&tipoMidia=0>. Acesso em: 23 set. 2024.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria n° 1.597/GC3, de 10 de outubro de 2018. Aprova a reedição da DCA 11-45 “Concepção Estratégica – Força Aérea 100”: DCA 11-45. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 180, p. 116-158, 15 out. 2018. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=3081&tipoMidia=0>. Acesso em: 22 set. 2024.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 22 set. 2024.
- CALCARA, A. *et al.* Will the Drone Always Get Through? Offensive Myths and Defensive Realities. **Security Studies**, Filadélfia, v. 31, n. 5, p. 791-825, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09636412.2022.2153734>. Acesso em: 2 out. 2024.
- DAMASCENO, M. K. **Diretriz do Comandante da Aeronáutica**. Brasília, 29 mar. 2023. Disponível em: https://issuu.com/portalfab/docs/diretrizes_do_comandante_-_2023_ten_brig_damasceno. Acesso em: 27 set. 2024.
- EUA. U.S. Department of Defense. **DoD Releases National Defense Science and Technology Strategy**. Washington, 9 maio 2023a. Disponível em: <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3389118/dod-releases-national-defense-science-and-technology-strategy/>. Acesso em: 28 set. 2024.

EUA. U.S. Department of Defense. **National Defense Science & Technology Strategy 2023**. Washington, 2023b. Disponível em: <https://media.defense.gov/2023/May/09/2003218877/-1/-1/0/NDSTS-FINAL-WEB-VERSION.PDF>. Acesso em: 28 set. 2024.

FERNANDES, L. L. *et al.* The triple helix approach in the defence industry: a case study at the Brazilian Army. **World Review of Science, Technology and Sustainable Development**, Genebra, v. 16, n. 1, p. 22-43, 2020. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/WRSTSD.2020.105584>. Acesso em: 30 set. 2024.

FISZER, M.; GRUSZCZYNSKI, J. On Arrows and Needles. **Journal of Electronic Defense**, Gainesville, v. 25, n. 12, p. 46-52, 2002. Disponível em: <https://www.tib.eu/en/search/id/olc:OLC163779942X/On-Arrows-and-Needles?cHash=84d843079d219ada4c6aee683345ec61>. Acesso em: 2 out. 2024.

ISRAEL diz ter as armas que precisa, mesmo sem fornecimento dos EUA. **CNN Brasil**, São Paulo, 9 maio 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/israel-diz-ter-as-armas-que-precisa-mesmo-sem-fornecimento-dos-eua/>. Acesso em: 30 set. 2024.

ISRAEL suspende exportações para a Colômbia após fala de presidente colombiano sobre bloqueio a Gaza. **Portal G1**, São Paulo, 16 out. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2023/10/16/israel-suspende-exportacoes-para-a-colombia.ghtml>. Acesso em: 30 set. 2024.

KAR, A.; MAZUMDER, J. Two-dimensional model for material damage due to melting and vaporization during laser irradiation. **Journal of Applied Physics**, Nova Iorque, v. 68, n. 8, p. 3884-3891, 1990. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aip/jap/article-abstract/68/8/3884/19372>. Acesso em: 28 set. 2024.

KARDASZ, P. *et al.* Drones and possibilities of their using. **Journal of Civil & Environmental Engineering**, Beijing, v. 6, n. 3, p. 1-7, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Piotr-Kardasz/publication/305273853_Drones_and_Possibilities_of_Their_Using/links/57ddadac08ae4e6f1849aac7/Drones-and-Possibilities-of-Their-Using.pdf. Acesso em: 8 out. 2024.

KUNERTOVA, D. Drones have boots: Learning from Russia's war in Ukraine. **Contemporary Security Policy**, Filadélfia, v. 44, n. 4, p. 576-591, 2023b. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13523260.2023.2262792>. Acesso em: 3 out. 2024.

KUNERTOVA, D. The war in Ukraine shows the game-changing effect of drones depends on the game. **Bulletin of the Atomic Scientists**, Chicago, v. 79, n. 2, p. 95-102, 2023a. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00963402.2023.2178180>. Acesso em: 23 set. 2024.

LANDAU, E. B.; BERMANT, A. Iron Dome protection: missile defense in Israel's security concept. **The Lessons of Operation Protective Edge**, Tel Aviv, p. 37-42, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Azriel-Bermant/publication/322096282_Iron_Dome_Protection_Missile_Defense_in_Israel's_Securi

ty_Concept/links/5a44b6f90f7e9ba868a7d050/Iron-Dome-Protection-Missile-Defense-in-Israel-Concept.pdf. Acesso em: 29 set. 2024.

RAO, G. V. *et al.* Electromagnetic interference by high power microwaves. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE AND COMPATIBILITY*, 2002, Bangalore. **Anais [...]**. [s.l.]: IEEE, 2002. p. 20-22. *Online*. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1006455>. Acesso em: 29 set. 2024.

SHAPIR, Y. Lessons from the iron dome. **Military and Strategic Affairs**, Tel Aviv, v. 5, n. 1, p. 81-94, 2013. Disponível em: https://www.inss.org.il/wp-content/uploads/sites/2/systemfiles/MASA5-1Eng4_Shapir.pdf. Acesso em: 29 set. 2024.

SHAW, I. G. R. Predator empire: The geopolitics of US drone warfare. **Geopolitics**, Filadélfia, v. 18, n. 3, p. 536-559, 2013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14650045.2012.749241>. Acesso em: 3 out. 2024.

TAKIZAWA, N. S. **Análise da aplicação do sistema antiaéreo IGLA 9K38 na execução de defesa antiaérea**. 2009. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) – Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: https://redebria.direns.aer.mil.br/index.php?codigo_sophia=63937. Acesso em: 3 out. 2024.

UNTERSEHER, L. **Military Intervention and Common Sense: Focus on Land Forces**. Berlin – Greifswald: Ryckschau, 2008.

ZHAO, S.; XIE, R.; WAN, J. Design of anti-drone laser weapon systems. *In: HIGH-POWER LASERS AND APPLICATIONS*, 11., 2020, Bellingham. **Anais [...]**. [s.l.]: SPIE, 2020. p. 24-30. *Online*. Disponível em: https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11544/115440A/Design-of-anti-drone-laser-weapon-systems/10.1117/12.2575171.short?origin_id=x4323&start_year=2020&webSyncID=46e9e6ec-7a49-dab6-a0cb-ad059329ad88&sessionGUID=3c9d902b-c999-3ced-268b-ead49a28531a. Acesso em: 3 out. 2024.