

A GUERRA AÉREA AUTÓNOMA E A TRANSFORMAÇÃO DO PODER AÉREO

JOÃO PAULO NUNES VICENTE

joao.vicente.6@gmail.com

Coronel Piloto Aviador da Força Aérea Portuguesa (Portugal). Doutor em Relações Internacionais pela Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa. Docente do Doutoramento em Ciências Militares do Instituto Universitário Militar e Investigador integrado no Centro de Investigação e Desenvolvimento do Instituto Universitário Militar (CIDIUM). Autor de vários livros e artigos na área do Poder Aéreo, em particular no emprego de sistemas aéreos não tripulados.

Resumo

O paradigma da Guerra Aérea Autónoma (GAA) revela uma profunda transformação resultante da exploração da inteligência artificial e de Sistemas Aéreos com Funcionalidades Autónomas (SAFA), num modelo de colaboração em combate entre o homem e a máquina, afetando as funções operacionais do Poder Aéreo e a sua utilidade política.

O objetivo desta investigação é analisar os modelos operacionais emergentes de GAA por forma a identificar tendências e implicações para a transformação do Poder Aéreo. A análise destes modelos operacionais será feita nas dimensões que traduzem a aptidão de uma Força Aérea para gerar e empregar o Poder Aéreo, nomeadamente, os conceitos de emprego, as capacidades para operacionalizar os conceitos, a organização que estabelece o referencial para o uso da força e as pessoas que o tornam possível.

A análise revelou vantagens qualitativas e quantitativas na aptidão de uma força para gerar e empregar o Poder Aéreo, em termos de eficácia operacional e eficiência de custo e risco, mas também alguns desafios tecnológicos, organizacionais e humanos. O paradigma emergente da GAA potencia o aumento da utilidade do Poder Aéreo, melhorando a disponibilidade, acessibilidade e aceitabilidade do emprego operacional, resultantes da utilização isolada de SAFA ou em combinação com aeronaves tripuladas em conceitos de operação em equipa, ou da colaboração entre múltiplos SAFA com elevados níveis de autonomia. Confirma também a tendência de afastamento gradual do homem do ciclo de decisão e da operação de SAFA individuais, para funções de supervisão de múltiplos sistemas, auxiliado por inteligência artificial, mas ambicionando reter um controlo significativo sobre a decisão de emprego de força letal.

Palavras-chave

Poder Aéreo; Guerra Aérea Autónoma; Sistemas Aéreos com Funcionalidades Autónomas; Inteligência Artificial; Transformação

Abstract

The Autonomous Air Warfare (AAW) paradigm reveals a profound transformation resulting from the exploration of artificial intelligence and Aerial Systems with Autonomous Functionalities (ASAF), in a model of collaboration in combat between man and machine, affecting the operational functions of Air Power and its political utility.

The aim of this research is to analyse emerging AAW operational models to identify trends and implications for the transformation of Air Power. These operational models will be analysed in terms of the dimensions that reflect an Air Force's ability to generate and employ Air Power, namely the concepts of employment, the capabilities to operationalise the concepts, the organisation that sets the benchmark for the use of force, and the people who make it possible.



The analysis revealed qualitative and quantitative advantages in a force's ability to generate and employ Air Power, in terms of operational effectiveness and cost and risk efficiency, but also some technological, organisational and human challenges. The emerging AAW paradigm enhances the utility of Air Power, improving the availability, accessibility, and acceptability of operational employment, resulting from the isolated use of ASAF, or in combination with manned aircraft in teaming operational concepts, or from collaboration between multiple ASAF with high levels of autonomy. It also confirms the trend towards the gradual removal of man from the decision cycle and from the operation of individual ASAF, towards functions of supervision of multiple systems, aided by artificial intelligence, but with the ambition of retaining significant control over the decision to use lethal force.

Keywords

Air Power, Autonomous Air Warfare, Aerial Systems with Autonomous Functionalities, Artificial Intelligence, Transformation

Como citar este artigo

Vicente, João Paulo Nunes (2023). *A Guerra Aérea Autónoma e a transformação do poder aéreo*. *Janus.net, e-journal of international relations*, Vol14 N2, Novembro 2023-Abril 2024. Consultado [em linha] em data da última consulta, <https://doi.org/10.26619/1647-7251.14.2.6>

Artigo recebido em 30 de Junho de 2023 e aceite para publicação em 22 de Agosto de 2023





A GUERRA AÉREA AUTÓNOMA E A TRANSFORMAÇÃO DO PODER AÉREO

JOÃO PAULO NUNES VICENTE

Introdução

“Victory smiles upon those who anticipate the changes in the character of war, not upon those who wait to adapt themselves after the changes occur.”

Giulio Douhet (1921)

A transformação do Poder Aéreo no último século, no sentido de incorporar as evoluções tecnológicas e as lições aprendidas dos conflitos militares, tem mantido inalterada a natureza das suas funções operacionais, enquanto vem modificando substancialmente o método como são executadas, as capacidades que são empregues, assim como a magnitude e precisão dos efeitos obtidos (Melville, 2014: 10-14).

Os imperativos estratégicos para a transformação atual do Poder Aéreo resultam da identificação, por parte dos Estados Unidos da América (EUA), de lacunas de capacidades para lidar com a crescente complexidade do ambiente operacional, nomeadamente em cenários de combate de larga escala (United States Air Force [USAF], 2022). Isto porque, a elevada complexidade e custo das aeronaves tripuladas modernas, assim como os longos prazos de desenvolvimento, impedem a acumulação de massa a custos acessíveis, necessária para alcançar superioridade aérea em ambientes contestados.

Assim, à semelhança da superioridade militar obtida com base nas duas estratégias de compensação anteriores, assentes na tecnologia nuclear nos anos 50, e nas tecnologias de bombardeamento de precisão nos anos 70, os EUA iniciaram uma 3ª estratégia de compensação focada na exploração da inteligência artificial e de sistemas autónomos, num modelo de colaboração em combate entre o homem e a máquina (Department of Defense [DoD], 2016).

Desta forma, a mudança acelerada do ambiente operacional resultante da emergência de tecnologias disruptivas, como a autonomia nos sistemas de armas (North Atlantic Treaty Organization [NATO], 2020), impõe alterações no pensamento estratégico em termos de formulação e aplicação da estratégia militar. A própria NATO, no seu Plano de Implementação da Autonomia (2022), ao fomentar o desenvolvimento e emprego



responsáveis dos sistemas autónomos em apoio das tarefas principais da Aliança, incentiva os aliados a serem capazes de empregar de forma coletiva “sistemas-de-sistemas” interoperáveis e gerir de forma eficaz diferentes níveis de autonomia.

Apesar dos sistemas de armas com funcionalidades autónomas existirem há mais de 80 anos (Work, 2021: 5-7), os avanços na área da inteligência artificial introduzem novas capacidades que incentivam o desenvolvimento e emprego destes sistemas em diversos ambientes operacionais, por forças armadas ou atores não-estatais (Russell, 2022).

Estamos perante uma nova transformação tecnológica e operacional que resulta do potencial combinatório de aeronaves tripuladas de combate, armamento e sensores avançados, com plataformas aéreas não tripuladas com níveis crescentes de autonomia (Birkey, Deptula, & Stutzriem, 2018), mais concretamente, Sistemas Aéreos com Funcionalidades Autónomas (SAFA). O seu emprego, com custos mais acessíveis e num espetro alargado de funções operacionais, permite ampliar os efeitos operacionais e estratégicos do Poder Aéreo, abrindo portas à emergência de um novo paradigma de Guerra Aérea, em última análise, Autónoma.

Este artigo expõe algumas das tendências potenciadoras da emergência de um novo paradigma de Guerra Aérea em resultado da convergência da aceleração tecnológica exponencial, dos imperativos estratégicos dos Estados e dos incentivos operacionais de diversos atores para o emprego de SAFA.

Esta mudança no carácter da Guerra acrescenta inúmeros dilemas para quem decide e emprega o Poder Aéreo, requerendo uma avaliação das transformações no emprego das forças, em particular no que concerne à interferência humana, e na forma como as organizações militares se organizam, treinam e adquirem equipamentos, para explorar os modelos operacionais emergentes (Kainikara, 2018: 19).

Face aos pressupostos em apreço, importa refletir, ao nível estratégico-militar e operacional, sobre o ambiente operacional futuro, analisando a aceleração dos níveis crescentes de autonomia nos sistemas de armas aéreos e as suas implicações nos processos de transformação em curso nas organizações militares de referência.

Assim, o objetivo desta investigação é analisar os modelos operacionais emergentes de Guerra Aérea Autónoma (GAA) por forma a identificar tendências e implicações da transformação do Poder Aéreo com potencial para alterar a utilidade deste instrumento do Poder Militar.

Partindo da observação das realidades específicas de Forças Aéreas de referência em termos de desenvolvimento, geração e emprego do Poder Aéreo, é possível identificar tendências que no futuro irão ser replicadas e influenciar a transformação de organizações militares congéneres. Numa perspetiva de estudo de caso das realidades nos EUA, Reino Unido e Austrália, a recolha de evidências da aplicação do paradigma da GAA será feita nas dimensões que traduzem a aptidão de uma Força Aérea para gerar e empregar o Poder Aéreo, nomeadamente, os conceitos de emprego, as capacidades para operacionalizar os conceitos, a organização que estabelece o referencial para o uso da força e as pessoas que o tornam possível (Kainikara, 2019: 10-11).



Em termos de organização, após a introdução é efetuado um enquadramento conceptual, seguido da análise da aplicação do paradigma da GAA por organizações militares que lideram a transformação do Poder Aéreo. Por fim, serão apresentadas as conclusões da investigação.

1. Enquadramento Concetual

1.1 Poder Aéreo

A análise da doutrina de Forças Aéreas de referência e da estratégia do Poder Aéreo da NATO ajuda a compreender os aspetos fundamentais deste conceito, nomeadamente os atributos, as funções operacionais, a definição e a utilidade enquanto instrumento militar. Apesar das variações contextuais é possível encontrar pontos comuns que importa realçar.

A concetualização do Poder Aéreo ao longo da sua evolução mostra que a sua natureza e o seu carácter são distintos de outros instrumentos do poder militar (Vicente, 2013). A essência e a especificidade deste instrumento derivam da exploração do contexto geofísico onde se desenvolve, através dos atributos de Altura, Velocidade e Alcance, que permitem o acesso sem restrições físicas a qualquer ponto do globo, com rapidez e precisão para projetar força, controlar e condicionar o acesso ao espaço aéreo e de superfície, recolher informação e/ou influenciar comportamentos através de efeitos letais, se necessário (NATO, 2018).

A interação entre os atributos do Poder Aéreo permite obter efeitos através de quatro funções operacionais que, para serem efetivas, têm de ser integradas e sincronizadas, numa perspetiva conjunta de operações multidomínio, através de uma arquitetura de Comando e Controlo (C2) robusta e em rede (Figura 1).

Figura 1 – Funções Operacionais do Poder Aéreo



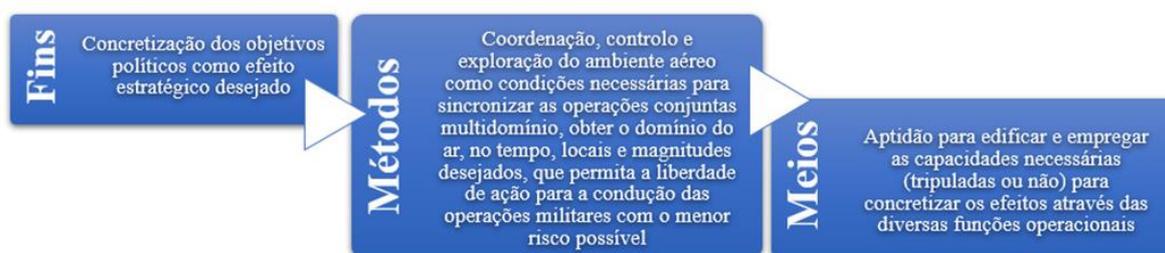
Fonte: Adaptado de USAF (2021), Royal Australian Air Force (RAAF) (2022), Ministry of Defence (MoD) (2022a) e NATO (2018).



Apesar da geração de Poder Aéreo provir de várias componentes militares, as Forças Aéreas têm como responsabilidade, competências e capacidades, garantir a aplicação transversal das funções operacionais em todo o espectro de conflito (Gray, 2012: 277-278).

Assim, a definição de Poder Aéreo adotada é a da NATO (2018), designadamente, a “aptidão para coordenar, controlar e explorar o domínio aéreo na prossecução dos objetivos da Aliança”. Esta definição, que considera o contributo das componentes militares, assenta numa formulação estratégica em termos de Fins, Métodos e Meios (Figura 2).

Figura 2 – Formulação estratégica do Poder Aéreo



Fonte: Adaptado de Vicente (2019: 798).

Considerando o constructo em apreço, é possível identificar a utilidade do Poder Aéreo face ao contributo para alcançar os objetivos políticos (Clodfelter, 1989: 215), estando diretamente relacionada com a disponibilidade, acessibilidade e aceitabilidade das opções que apresenta aos decisores, por forma a permitir projetar poder militar e influência, no espaço e tempo apropriados, para alcançar os efeitos desejados de forma transversal ao espectro das operações (Blount, 2017: 112-113).

1.2 Guerra Aérea Autónoma

O conceito de GAA não é definido explicitamente na literatura. Assim, para efeitos desta investigação, entende-se GAA como um paradigma emergente, caracterizado pela operacionalização de sensorização e letalidade distribuídas, tendo por base a proliferação de SAFA cada vez mais evoluídos, empregues sob supervisão humana, de forma isolada, em equipas colaborativas com aeronaves tripuladas, ou em grupos alargados de máquinas, com potencial para afetar qualitativamente e quantitativamente as funções operacionais do Poder Aéreo, e com isso, alterar a utilidade deste instrumento militar.

Neste âmbito, os SAFA assumem-se como o centro de gravidade de onde emana o potencial para transformação do Poder Aéreo. Enquanto sistema inclui os componentes de plataforma aérea (sem piloto a bordo), a carga útil, o elemento humano de controlo e decisão, a rede de comunicações e todo o equipamento e pessoal necessário para controlar a plataforma (NATO, 2010: 3). Contudo, o potencial diferenciador deste conceito reside na aptidão destes sistemas para executarem tarefas complexas com



níveis elevados de autonomia, afastando o homem da operação das plataformas para uma função de decisão.

A qualificação dos SAFA pode ser efetuada através da análise dos seus elementos essenciais, nomeadamente, autonomia, intervenção e controlo humano, capacidade adaptativa e propósito de uso (Taddeo & Blanchard, 2022: 10).

A autonomia, enquanto expressão do grau de aptidão de uma máquina para executar uma tarefa de forma independente, deve ser vista como um conceito tridimensional, assente em três variáveis funcionais (Scharre, 2018: 34-40):

- O tipo de tarefa realizada, em termos de importância, complexidade e risco;
- A relação Homem-Máquina durante a execução da tarefa;
- A sofisticação da máquina, expressa em operação automática, automatizada ou autónoma.

Assim, é mais adequado pensar num espectro de autonomia e em termos de “autonomia de certas funcionalidades nos sistemas de armas” em detrimento da designação de “sistema totalmente autónomo” (Scharre & Horowitz, 2015). É precisamente este enfoque em sistemas aéreos com “funcionalidades autónomas” (SAFA) que fornece uma perspetiva mais inclusiva na análise da autonomia e da intervenção humana no processo de tomada de decisão.

Nesta perspetiva, de intervenção e controlo humano, mantém-se inalterada a competência humana de Comando (na determinação dos objetivos e tarefas a cumprir pelas forças), enquanto a função de Controlo (na forma de executar as tarefas) poderá transferir-se gradualmente para as máquinas, de acordo com a complexidade do sistema, missão e ambiente operacional (Australian Defence Force [ADF], 2020: 29). No entanto, autonomia e controlo humano não são mutuamente exclusivos, porque, apesar da intervenção humana ser cada vez mais limitada à medida que os níveis de autonomia aumentam, deverão garantir-se as medidas necessárias de aprovação humana para o uso da força letal pelos SAFA (Taddeo & Blanchard, 2022: 11).

A capacidade adaptativa resultante de avanços de inteligência artificial exprime o nível de sofisticação do sistema em termos de execução de tarefas de forma cada vez mais autónoma. Isto permite a exploração de novos conceitos de operação resultantes da agregação de sensores num sistema-de-sistemas, em equipas colaborativas Homem-Máquina (*Loyal Wingman*) ou em grupos cooperativos de “enxames” de SAFA (*Swarming*), incluindo capacidades letais (Hoehn, Sayler, & DeVine, 2022: 13-19).

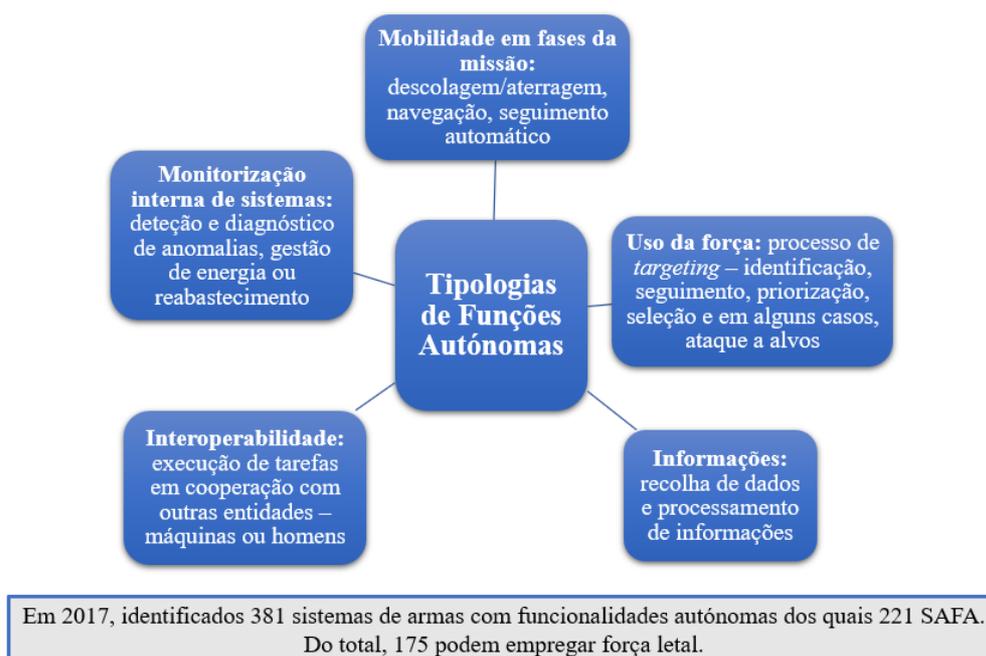
O desenvolvimento do conceito de equipa Homem-Máquina assenta em três elementos: o Homem, a Máquina, e a interação e natureza da relação Homem-Máquina (Chahal & Konaev, 2021). Neste contexto de equipa, o Homem tem de compreender a sua função e o sistema de inteligência artificial, e como interagir com ele e com os outros parceiros humanos (Puscas, 2022: 19). Assim, a evolução deste conceito foca-se numa maior eficiência da interação entre o combatente, os sistemas tripulados e os SAFA, sendo expectável (DoD, 2017: 32):



- Inicialmente, a introdução de maior automação e controlo de múltiplas plataformas por operador;
- A curto prazo, a introdução de sistemas com sensores e carga útil mais diversificada que reduzam o número de missões tripuladas;
- A médio/longo prazo, consoante os avanços da inteligência artificial e a crescente confiança do operador na máquina, aumentar a integração em cenários e com forças multidomínio.

Considerando o propósito de uso, em 2020, mais de 102 países operavam SAFA (Gettinger, 2020), identificando-se na Figura 3 as tipologias de funções autónomas em fase de desenvolvimento.

Figura 3 – Tipologias de funções autónomas



Fonte: Adaptado de Boulanin e Verbruggen (2017: 19-35).

No que concerne ao emprego operacional, o uso massivo no Afeganistão e Iraque incidiu em sistemas controlados remotamente em missões de ISR¹, ataque e relé de comunicações, sendo que a expansão futura irá abranger todas as funções operacionais do Poder Aéreo (Hoehn et al., 2022).

¹ Atividades de Informações, Vigilância e Reconhecimento que visam obter uma maior consciência do espaço de batalha através da recolha, processamento, exploração e disseminação de informações precisas e atuais (AJP-3.3, 2016: 1-15-1-16).



A utilidade operacional dos SAFA, quando comparada com a opção tripulada, decorre dos seus atributos morfológicos (aeronave sem tripulação a bordo) e funcionalidades autónomas, sendo particularmente relevantes em atividades “*dull, dirty, dangerous, demanding, different*” (Alkire, Kallimani, Wilson, & Moore, 2010: 25-26). Para além de eliminarem o risco físico para o piloto, mitigam os desafios operacionais resultantes das limitações humanas, ao nível fisiológico (duração e esforço) e cognitivo (fusão de informação e tomada de decisão), promovendo maior eficiência económica no ciclo de vida útil da capacidade (Hoehn & Kerr, 2022: 2). Isto inclui também uma diminuição dos recursos humanos necessários para a operação de SAFA mais avançados, possibilitando uma tipologia de supervisão humana de múltiplas plataformas, com consequentes poupanças na formação e treino operacional (Boulanin & Verbruggen, 2017: 63).

Assim, a crescente autonomia possibilitará uma maior consciência situacional do espaço de batalha, resultante da vigilância persistente autónoma, fusão de informação e apoio à decisão, permitindo uma resposta mais rápida, se necessário com força letal, através de maior eficiência do processo de *targeting* (Laird, 2021: 12). Para além disso, exprime uma maior aceitabilidade para atrição material face ao custo e risco envolvidos, bem como um aumento de flexibilidade e rapidez de atualização das plataformas, fruto da redução de complexidade dos processos de engenharia, logísticos e de sustentação ao longo do ciclo de vida (Laird, 2021: 14).

Nesse sentido, e considerando a redução de população disponível para o serviço militar, a motivação para o emprego crescente de SAFA estará dependente da eficácia militar, custo e risco, comparativamente com as capacidades tripuladas (Noyes, 2019: 33-34).

Apesar da utilidade dos SAFA resultante dos atributos em apreço, a sua operacionalização apresenta vários desafios que importa analisar.

A proliferação destes sistemas entre atores com menores constrangimentos éticos e legais, contribui para uma corrida aos armamentos e um alargamento da conflitualidade (Torossian et al., 2021: 23-25). Isto porque, apesar do desenvolvimento, aquisição e operação de SAFA avançados requererem atualmente um investimento substancial, à medida que a disseminação tecnológica progride, também se reduzem os custos de edificação, alargando a base de utilizadores.

Uma análise de emprego de sistemas aéreos não tripulados por parte de atores não-estatais identificou 440 casos de ataques letais entre 2016 e 2020, a sua grande maioria no Médio Oriente e África (Haugstvedt & Jacobsen, 2020). Do Hezbollah no Líbano, aos Houtis no Iémen, o Estado Islâmico no Iraque e Síria, ou os cartéis de droga no México, a utilização destes sistemas é recorrente, bastando apenas incorporar o *software* disponível *on-line* em plataformas comerciais ou fabricadas localmente. Desta forma, níveis crescentes de autonomia e letalidade conferem novas capacidades aéreas a atores não-estatais. Enquanto os sistemas mais sofisticados, pelo seu custo, complexidade tecnológica e logística, estão reservados a Estados, verifica-se uma democratização do emprego de sistemas civis “militarizados”, incorporando níveis crescentes de inteligência artificial, facilmente transformados para uso da força letal.

As lições e conhecimento adquiridos durante o conflito da Ucrânia, com o emprego de milhares de sistemas aéreos, de forma distribuída e integrados em rede, ameaça



acentuar a magnitude deste desafio acelerando a democratização da letalidade da Guerra Aérea. Isto porque, a proliferação de plataformas baratas e descartáveis, com armamento letal, permite uma capacidade de ataque de precisão a baixo custo, que apesar da elevada atrição, pode ser facilmente reposta em resultado da sua acessibilidade comercial. Contudo, à medida que são introduzidas plataformas com níveis mais elevados de inteligência artificial, integradas num sistema-de-sistemas, é possível confirmar as tendências transformadoras que irão afetar o emprego futuro de forças.

Na vertente defensiva, a proliferação da ameaça obriga a considerar contramedidas para (ADF, 2020: 44-50): disrupção da forma como o sistema percebe o ambiente (e.g. empasteladores, lasers, micro-ondas, etc); interferência nos seus elementos de controlo (e.g. operações ciber ou de guerra eletrónica); alteração da qualidade dos dados necessários para execução de funcionalidades autónomas (e.g. manipulação ou alteração de dados); e destruição física da plataforma.

Em termos de C2, verificam-se desafios adicionais associados ao conceito de emprego, nomeadamente (Wassmuth & Blair, 2018):

- No conceito de *Loyal Wingman* os desafios são mais reduzidos, uma vez que esta modalidade tem atributos similares às operações tradicionais entre aeronaves tripuladas, em que o piloto comandante tem conhecimento e confiança nas capacidades do parceiro, efetua a comunicação e estabelece as táticas adequadas de apoio mútuo;
- No contexto de *Swarming*, o homem deixa de ter controlo direto sobre as ações individuais dos elementos do enxame, e a sua ação de comando é efetuada sobre o grupo, selecionando algoritmos que regem o comportamento e as capacidades da entidade coletiva.

Os desafios em apreço aumentam quando se debate a legalidade de emprego de SAFA letais.² Ao fim de uma década de discussão nas Nações Unidas, apenas foi possível concordar em 11 princípios orientadores relativos ao desenvolvimento e emprego destes sistemas (United Nations, 2019). Contudo, 70 países, liderados pelos EUA, incluindo Portugal, reconhecem a necessidade de um enquadramento normativo e operacional que regule os SAFA letais (United Nations, 2022). Assim, a moldura legal que vier a ser acordada terá de contemplar um determinado nível de controlo humano que permita antecipar, administrar e monitorizar a operação, desempenho e efeitos dos SAFA letais (Boulanin, Bruun, & Goussac, 2021).

Existem diferentes perspetivas sobre os mecanismos para operacionalizar um princípio de controlo humano significativo (Ekelhof, 2019; Eklund, 2020; Kwik, 2022), onde se destacam os parâmetros (Boulanin, Davison, Goussac, & Carlsson, 2020: 36-37): de uso do sistema de armas (medidas de restrição de ataque); o ambiente onde é empregue

² Para uma análise mais detalhada ver Vicente, J. (2023). The Dilemma of Human Interference in War: The Coming Revolution of Autonomous Air Warfare.



(limitando a áreas onde não estejam civis presentes); e a interação Homem-Máquina (permitindo ao homem a intervenção direta na ação do sistema).

Esta amplitude do controlo humano sobre os SAFA deve ser vista mediante as perspetivas sistémicas do ciclo de vida (da fase de desenho, produção, teste, operação e abate), da complexidade funcional (por forma a identificar os componentes com funções autónomas), e do ciclo de decisão (com enfoque primordial na fase de “decisão” de emprego de armamento) (Chavannes & Arkhipov-Goyal, 2021: 64-68).

Uma vez que a intervenção humana no processo de tomada de decisão de uma missão (por exemplo no ciclo de *targeting*) ocorre de forma distribuída pela cadeia de comando, dos níveis táticos ao nível estratégico e mesmo político, também a definição dos parâmetros de controlo humano significativo deve ser feita ao nível da organização militar, e não exclusivamente em referência à relação entre o homem (operador) e o sistema de armas (autónomo) (Ekelhof & Paoli, 2021).

2. Aplicação do paradigma da Guerra Aérea Autónoma

O processo de transformação em curso é liderado pelos EUA e em particular pela USAF, enquanto líderes das iniciativas de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (ID&I), industrialização e operação de SAFA numa panóplia alargada de capacidades e tipologias de emprego. Adicionalmente, este processo está também em curso, numa magnitude mais reduzida, no Reino Unido e Austrália.

Esta análise será feita nas dimensões de conceitos de emprego, capacidades, organização e pessoas.

2.1 Estados Unidos da América

O imperativo político para a transformação resulta da identificação de uma lacuna de capacidades derivada da complexidade e custo elevado das aeronaves tripuladas, que impedem a sua produção e emprego em quantidades suficientes para alcançar o domínio tático aéreo em determinados ambientes operacionais futuros, em particular na zona do Pacífico num conflito com a China (USAF, 2022).

Esta lacuna será mitigada através da iniciativa *Next Generation Air Dominance* que inclui uma nova aeronave tripulada de combate de 6ª geração, armamento e sensores avançados, e um conjunto de SAFA, a desenvolver sob a égide do programa “Aeronave de Combate Colaborativa”, formando um sistema-de-sistemas e operando num conceito em equipa que permite a massificação de plataformas a custos acessíveis (Trevithick, 2023). A modularidade permite o ajustamento de capacidades consoante o tipo de missão, contribuindo para uma redução de custos de produção em resultado da maior especialização tática dos SAFA (Losey, 2022). Adicionalmente, os SAFA poderão ser empregues de forma colaborativa, controlados a partir de múltiplas aeronaves tripuladas ou estações de superfície. Contudo, em termos de prioridade, a USAF pretende adquirir uma frota inicial de 1.000 SAFA, primariamente para operar em equipa com 300 F-35 e com 200 aeronaves de 6ª geração (Trevithick, 2023).



Em termos de conceito de emprego, este ecossistema diverso, distribuído e disruptivo, de sensores, armamento e equipamentos de guerra eletrônica dedicados, integrados em equipas tripuladas e de SAFA especializados, contribui para uma maior flexibilidade e agilidade de resposta aos cenários de emprego do Poder Aéreo (Trevithick & Rogoway, 2022). Desta forma, a especialização de funções, a massificação de força e a penetração em profundidade em ambientes contestados, permitem saturar os adversários com maior complexidade, imprevisibilidade e quantidade (USAF, 2019: 8).

As vantagens de conectar vários SAFA em equipa com uma aeronave tripulada num conceito de *Loyal Wingman* são óbvias, em termos de alocação de tarefas nas diversas fases da missão (Hoehn et al., 2022, p. 14), aumentando a (Patti, s.d.: 26):

- Consciência situacional do piloto resultante da sensorização distribuída;
- Capacidade letal e da resistência à interferência eletromagnética adversária;
- Sobrevivência da aeronave tripulada, permitindo uma maior assunção de risco na operação em ambientes com ameaças.

Em termos de tipologia de operações aéreas, o emprego de SAFA em equipa com aeronaves tripuladas tem utilidade transversal às funções operacionais do Poder Aéreo, conforme Figura 4.

Figura 4 – Ecossistema de Plataformas Colaborativas Autônomas



Fonte: Adaptado de Lee e Gunzinger (2022: 9).

Para além do foco nas funções de combate e ISR, a aplicabilidade destas capacidades estende-se a diversas tipologias de missões, como ações de decepção, funcionando como chamarizes para ajudar a identificar e saturar defesas antiaéreas adversárias, contribuindo para aumentar a sobrevivência das plataformas tripuladas (Nurkin, 2020).



Adicionalmente, têm potencial de aplicação na Mobilidade Aérea e nas suas tipologias táticas de transporte aéreo (carga, apoio médico, busca e salvamento) e reabastecimento aéreo (Hetherington, 2022). Podem também ser empregues em apoio ao treino das tripulações, em funções de aeronaves adversárias, permitindo uma redução de custos e uma maior eficiência na gestão das aeronaves tripuladas.

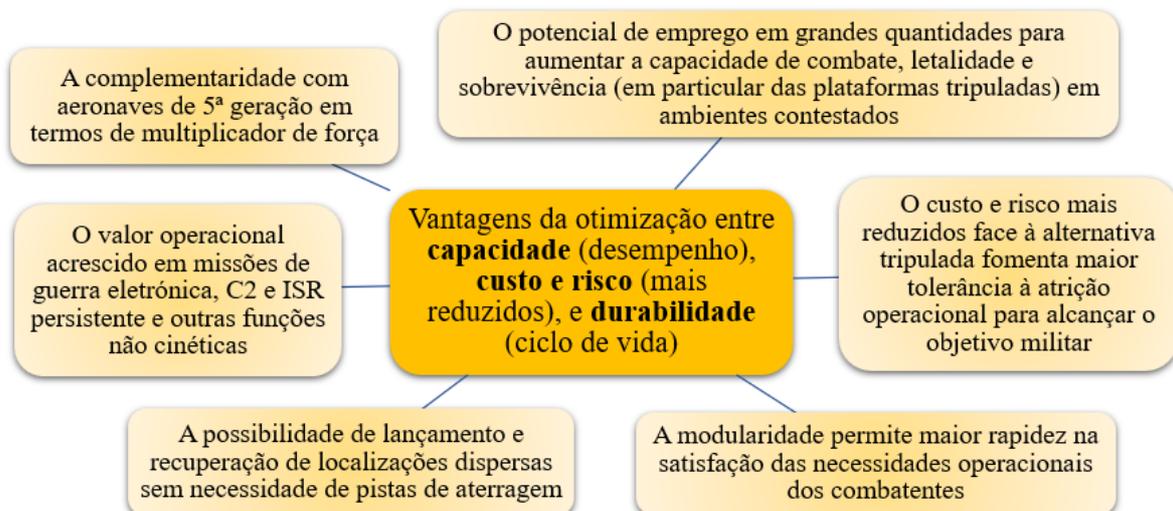
Outro conceito em desenvolvimento na USAF envolve a gestão humana de “enxames” de SAFA (*Swarming*) com elevada consciência do ambiente externo e do estado dos elementos da equipa, capazes de operar numa rede colaborativa de Máquina-Máquina (USAF, 2016: 43). Este conceito tem inúmeras aplicações operacionais em tarefas de ISR, vigilância e proteção de infraestruturas, deteção de alvos e ataque distribuído, saturação de defesas adversárias, proteção da força ou contramedidas face a enxames adversários (Ekelhof & Paoli, 2020: 49).

Figura 5 – Espectro de capacidades



Fonte: Gunzinger e Autenried (2020: 12).

Figura 6 – Vantagens de SAFA reutilizáveis



Fonte: Adaptado de Gunzinger e Autenried (2020: 28-29).



Em termos de edificação de capacidades, a tendência que serve de referência ao desenvolvimento e operacionalização dos diversos projetos assenta em SAFA reutilizáveis (Figura 5), com vantagens como indicado na Figura 6.

A experimentação em curso funciona como mecanismo de redução de risco, permitindo acelerar o desenvolvimento das capacidades e a integração de SAFA semiautónomos de combate com as aeronaves tripuladas de 5ª geração, assim como melhorar a compreensão dos desafios e requisitos organizacionais resultantes da sua inserção nas Esquadras de Combate, em termos de planeamento de missão, táticas e técnicas de operação, programas de manutenção e estruturas de força (Insinna, 2022).

Dessa forma, ao nível dos fatores organizacionais, a introdução operacional de SAFA estará dependente da forma gradual como o conceito de equipa Homem-Máquina for integrado na estrutura de força (DoD, 2017: 21):

- A curto prazo, a evolução ocorrerá na melhoria da segurança e eficiência operacional, nomeadamente, na separação de tráfego aéreo de modo a evitar colisões;
- Posteriormente, o foco será no apoio operacional em diversos cenários, como o acompanhamento em formação de aeronaves tripuladas;
- No futuro, a condução de operações integradas Homem-Máquina em ambientes contestados, através de “enxames” de SAFA heterogéneos, capazes de apoiar forças no terreno através de ISR ou ataque.

Apesar dos avanços registados, ainda não existem certezas acerca das alterações organizacionais ao nível das esquadras de voo, nem do perfil formativo das pessoas que as integram, sendo cruciais as competências especialistas nas áreas de computação e tratamento de informação (Trevithick, 2022).

Em termos dos fatores humanos, as capacidades disponibilizadas irão permitir o exercício de C2 humano sobre o SAFA, desde a atribuição pelo piloto de ordens de execução específicas, até à possibilidade de delegação de tarefas dedicadas, executadas com base em funcionalidades autónomas (Altman, 2022). Necessariamente, isto obrigará também a uma evolução das funcionalidades autónomas das aeronaves tripuladas, em áreas como a fusão de informação, proteção da aeronave e uma interface Homem-Máquina mais eficiente. Desta forma, será possível ultrapassar os constrangimentos da modalidade tradicional de pilotagem por controlo remoto, libertando o homem das tarefas táticas específicas para se concentrar na imagem tática alargada, enquanto gestor de sistemas (Rogoway, 2020).

Assim, à medida que os níveis de autonomia aumentam, verifica-se uma redução do esforço imposto ao elemento humano para controlar, dirigir ou atribuir tarefas ao SAFA (Penney & Olsen, 2022: 12). Neste sentido, o modelo colaborativo Homem-Máquina assenta num conceito de autonomia flexível que permite explorar o espetro de controlo humano face à tipologia de missão, às condições do ambiente operacional e aos níveis de sofisticação do SAFA (Endsley, 2015: iv-v).



No que concerne à operacionalização de “enxames” de SAFA, verifica-se uma maior complexidade do envolvimento humano no processo de controlo e decisão, uma vez que (Ekelhof & Paoli, 2020: 3):

- O controlo direto sobre um número elevado de plataformas torna-se impossível ou contraprodutivo em termos operacionais, obrigando a confiar nos algoritmos responsáveis pela gestão do “enxame” (voo em formação, navegação, distribuição de tarefas, identificação de alvos etc);
- Em adição à interação Homem-Máquina verifica-se uma colaboração Máquina-Máquina entre os elementos do “enxame” que dificulta a definição das regras individuais e de comportamentos desejados.

Assim, a conversão do conceito em capacidade operacional implica primordialmente um desempenho efetivo e a confiança dos pilotos que irão operar de forma colaborativa com os SAFA, e dos decisores responsáveis pelo emprego de força letal. Isto requer a compreensão das dinâmicas da equipa Homem-Máquina, por forma a orientar o desenvolvimento tecnológico, nomeadamente, no desempenho e confiabilidade dos SAFA, às modalidades de controlo humano em ambientes contestados e na gestão da carga de trabalho resultante das operações em equipa (Penney, 2022: 35-37).

Por enquanto, verifica-se um desfasamento de perceções entre operadores (pilotos) e engenheiros, acerca dos níveis de autonomia necessários para atingir os comportamentos desejados e os requisitos de desempenho operacional para a rápida implementação de sistemas efetivos (Penney & Olsen, 2022: 2). Logo, a evolução futura será ditada pela comunidade operacional, com base na melhoria da ligação entre efeitos operacionais e as soluções tecnológicas para os alcançar, requerendo orientação estratégica que garanta maior coerência nos esforços de desenvolvimento (Penney & Olsen, 2022: 4).

Por outro lado, o desenvolvimento de sistemas autónomos letais depende também da regulamentação legal e ética vigente. No caso dos EUA, a regulamentação não proíbe o uso de sistemas autónomos, mas obriga à sua aprovação por um painel de alto nível, tendo por base uma análise rigorosa dos requisitos técnicos, em termos de verificação, validação, teste e avaliação operacional do *software* e *hardware* (DoD, 2023). Para além disso, estipula o cumprimento dos princípios éticos definidos na Política de Inteligência Artificial do DoD (2022), bem como, garante a necessidade de mecanismos adequados de controlo humano no processo de decisão de força letal, incluindo sistemas cinéticos e não-cinéticos e munições guiadas, capazes de selecionar e atacar alvos de forma independente (DoD, 2023).

Considerando o estado atual da inteligência artificial, que ainda não permite adaptações a mudanças drásticas nas tarefas ou ambiente, ou as contramedidas que interferem no desempenho das máquinas, a que acresce a tendência humana de confiar em demasia na tecnologia (*bias* de automação), pode-se incorrer num elevado potencial de erro, com danos colaterais e fratricídio, ou agravamento da conflitualidade (Gray & Ertan, 2021: 11-12). Contudo, as ameaças e lacunas de capacidades com que os EUA se confrontam



podem motivar a assunção de maiores riscos para operacionalizar rapidamente SAFA, em detrimento de soluções totalmente fiáveis, mas mais morosas (Lee & Gunzinger, 2022: 23).

2.2 Reino Unido

A *Royal Air Force* (RAF) considera imperativo o desenvolvimento de um sistema-de-sistemas distribuído, integrando capacidades tripuladas, armamento e sensores sofisticados, e SAFA, para alcançar, a custos sustentáveis, os níveis de letalidade e sobrevivência necessários para operar no ambiente operacional futuro (Bronk, 2021: 5).

Este imperativo assenta no programa *Future Combat Air System*, com horizonte 2035, que congrega um ecossistema de aeronaves tripuladas (aeronave de 6ª geração *Tempest* capaz de operar em modo não tripulado) e SAFA de diversas categorias (RAF, s.d.). Tal como nos EUA, o desenvolvimento de tecnologias e conceitos ocorre no âmbito de um ecossistema alargado de aceleradores, laboratórios tecnológicos e Esquadras de voo dedicadas ao teste, avaliação, verificação e validação das soluções, congregando um conjunto de parcerias entre entidades militares, indústria e academia (Payne, 2022: 31).

Na visão futurista e ambiciosa do Chefe da RAF, o processo de transformação envolve a demonstração de conceitos e a exploração de novos modelos escaláveis de SAFA, recorrendo à manufatura aditiva ou sistemas comerciais modificados com sensores especializados, culminando na entrega de uma capacidade operacional capaz de operar de forma colaborativa com aeronaves tripuladas (incluindo F-35 ou *Typhoon* já existentes no inventário) ou em modalidades de *Swarming* (Wigston, 2022).

A aposta no *Swarming* levou a RAF a edificar uma Esquadra de Teste e Avaliação dedicada à experimentação de SAFA, tendo já realizado voos com 20 plataformas em operação colaborativa (Payne, 2022: 17). Os resultados revelam o potencial para confundir e saturar as defesas aéreas adversárias, indicando uma capacidade operacional útil e relevante para ser empregue em combate (Wigston, 2022).

Na dimensão das capacidades, é possível deduzir que (MoD, 2018: 54-55):

- É crucial explorar os desenvolvimentos tecnológicos no setor comercial através de parcerias entre a Defesa e a Indústria;
- Os avanços tecnológicos das funcionalidades autónomas (e.g. precisão, navegação, reconhecimento de imagem, armamento) tornam mais acessível a exploração de sistemas comerciais, permitindo o alargamento de utilizadores de capacidades operacionais, até ao momento, restritas apenas a Forças Aéreas avançadas;
- A massificação de SAFA de baixo custo, tecnologicamente avançados, levará a uma alteração da estratégia aérea ocidental de superioridade qualitativa com base nos atributos da plataforma tripulada, para uma valorização dos atributos da força, em modalidade de emprego em equipa Homem-Máquina.



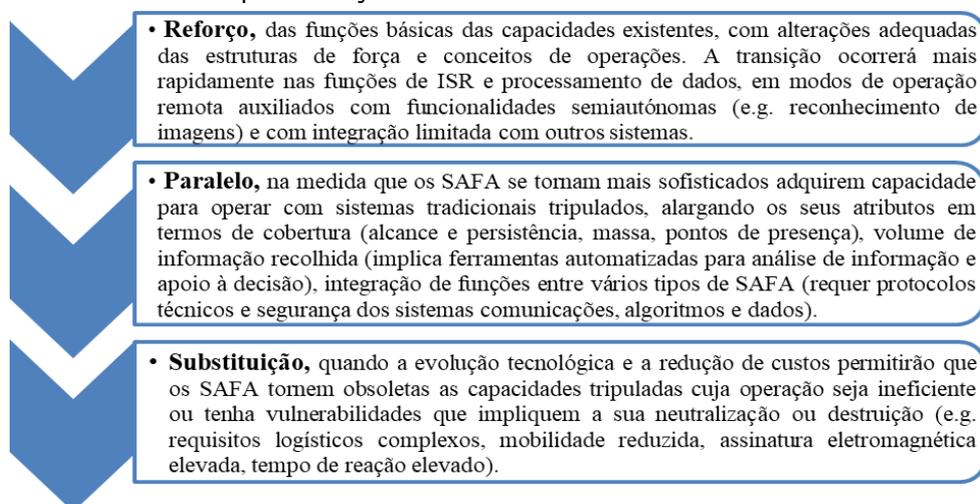
No que concerne aos aspetos organizacionais, apesar da introdução massiva de SAFA e de níveis de automação crescente em diversas tarefas, ainda não são claras as implicações estruturais práticas, quer seja em termos de organização tática (e.g. comando em combate) ou estratégica (e.g. impacto na organização por componentes) (Payne, 2022: 31-32).

Em termos das pessoas, a introdução de maior autonomia nos SA tem como requisito subjacente o controlo humano sobre os SAFA, respeitando os princípios legais e éticos basilares (MoD, 2022b). Apesar da RAF operar sistemas ofensivos capazes de identificar e atacar alvos previamente programados, ainda não dispõe de sistemas que integrem as funções de reconhecimento e ataque de forma completamente autónoma (Payne, 2022: 15). Nesse sentido, ao nível político, reafirma-se a intenção de não desenvolver sistemas aéreos armados totalmente autónomos, definindo-se que a sua operação será sempre efetuada sob controlo humano, como garantia de supervisão, autoridade e responsabilização (MoD, 2022a: 12).

A evolução futura das capacidades dos SAFA será condicionada, não só pela tecnologia, mas antes de tudo, pela confiança neles depositada por quem os emprega, em particular, da forma como respondem ao comando humano, cada vez mais abstrato à medida que os níveis de inteligência artificial aumentam, obrigando a mecanismos que assegurem a segurança do funcionamento, incluindo no domínio eletromagnético, a eficácia operacional e a responsabilização humana (MoD, 2018: 54).

O investimento imediato na educação terá reflexos a longo prazo. Neste contexto, são necessárias novas competências humanas, em termos de análise de dados e engenharia digital, que deverão ser adquiridas de forma rápida e ágil, a par com uma nova forma de treinar as pessoas, com recurso a meios virtuais e sintéticos (Mehta, 2021). Contudo, a especialização técnica implica maior dificuldade de recrutamento e retenção face à concorrência do mercado civil (Macfarlane & Christie, 2022: 3).

Figura 7 – Processo de implementação de SAFA no Reino Unido



Fonte: Adaptado de MoD (2018: 12-13).



Face aos pressupostos em apreço, e tendo a ambição de alcançar, em 2040, um rácio de SAFA/plataformas tripuladas de 80/20 (Bronk, 2021: 9), é possível antecipar três fases de implementação operacional de SAFA (Figura 7).

2.3 Austrália

A RAAF não tem doutrina específica publicada referente aos SAFA, optando por integrar os sistemas autónomos no âmbito da estratégia de transformação holística para uma Força Aérea de 5ª geração, assente no reforço da inteligência humana com inteligência artificial (RAAF, 2019).

Adicionalmente, grande parte das vantagens e preocupações identificadas são transversais às organizações congêneres estudadas, revelando assim, a relevância da aplicação do paradigma de GAA, mesmo para um Estado com recursos e ambições mais reduzidas.

Em termos de conceitos e capacidades, a perspetiva do Chefe da RAAF (Laird, 2021: 19-20) permite compreender a natureza da transformação em curso, em que o potencial da GAA será operacionalizado através de um processo de inovação e novas formas de pensar:

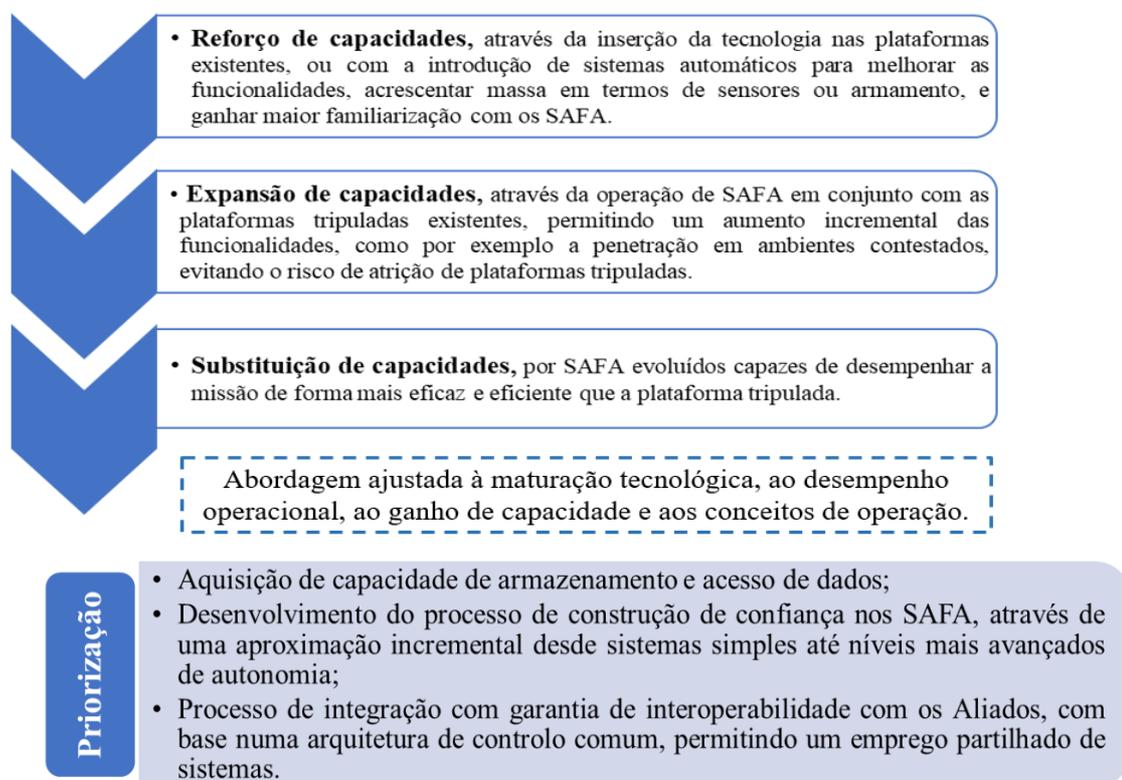
- Os sistemas autónomos irão permitir uma vantagem militar significativa em termos de decisões mais rápidas, eficiência de alocação de recursos e novas formas de criar efeitos militares, onde a convergência de inteligência artificial e a modalidade de operação em equipa Homem-Máquina terão um impacto fundamental no Poder Aéreo do futuro;
- O objetivo é fornecer uma vantagem de capacidade através da integração de plataformas existentes tripuladas de combate, C2 e ISR, com SAFA de diversas tipologias, experimentando conceitos de emprego inovadores, que irão alterar a forma como o risco do emprego do Poder Aéreo é calculado;
- Neste paradigma de GAA, o produto operacional das capacidades aéreas deve ser visto, não de forma individual ou isolada, mas numa perspetiva multidomínio integrada num sistema-de-sistemas, em que a ligação em rede de sensores distribuídos permite a fusão de informação em conhecimento, a velocidades até aqui inalcançáveis;
- Alguns dos sistemas de armas em operação (F-35 e P-8) e em aquisição (SAFA MQ-4C *Triton* com entregas para 2024) estão preparados para operarem em rede numa modalidade de equipa Homem-Máquina;
- Estão em curso esforços de integração de sistemas tripulados novos e existentes com SAFA, com diferentes níveis de controlo humano, sendo o protótipo MQ-28A *Ghost Bat*, desenvolvido em parceria da indústria australiana com a *Boeing* no âmbito do projeto *Loyal Wingman*, um exemplo central na estratégia de transformação, com aplicabilidade nas funções operacionais de Luta Aérea, Ataque e ISR. Este projeto serve como embrião para o desenvolvimento dos algoritmos de inteligência artificial que vão modelar as funcionalidades autónomas dos conceitos de operações futuros;



- Os SAFA são o vetor mais visível do processo de transformação da RAAF, que reflete a necessidade de introdução da automação e inteligência artificial nos processos organizacionais e operacionais, com ênfase nas tarefas humanas previsíveis, repetitivas e pouco criativas. Contudo, não se trata de substituir pessoas por máquinas, mas expandir as funções operacionais, através da sinergia da operação Homem-Máquina, em que o elemento humano, o recurso mais escasso nas organizações militares do futuro, irá focar-se nas tarefas mais remuneradoras, que exijam criatividade.

Na dimensão organizacional, a doutrina conjunta (ADF, 2020) reflete os princípios orientadores para o desenvolvimento e integração dos sistemas autônomos na estrutura da Defesa, nomeadamente, através dos requisitos de capacidade essenciais para enquadrar o processo de transformação. Nesse sentido, será crucial determinar um equilíbrio entre quantidade e qualidade no sistema de forças, garantindo que a maior tolerância à atrição de sistemas de baixo custo é balanceada com a aquisição de sistemas tripulados sofisticados (ADF, 2020: 39).

Figura 8 – Processo de Implementação de SAFA na Austrália



Fonte: Adaptado de ADF (2020: 54-56).



Ao nível das pessoas, em linha com as congéneres, também a Austrália destaca a confiança no desempenho dos SAFA como um atributo essencial para a exploração plena das suas capacidades, e enquanto processo contínuo, deve ser testado, validado e treinado num conjunto alargado de cenários simulados e reais, por forma a criar uma compreensão detalhada do funcionamento, em termos de potencialidades e vulnerabilidades (ADF, 2020: 32). De igual forma, ao nível ético, é também reafirmado o requisito do controlo humano significativo sobre o uso da força letal, confirmando a objeção a que uma máquina possa tirar uma vida humana por decisão independente (ADF, 2020: 24-25).

Em termos de implementação de SAFA no sistema de forças e a priorização de esforços, estes podem incluir três modalidades sequenciais ou simultâneas conforme indicado na Figura 8.

Em suma, o debate australiano acerca dos sistemas autónomos foca-se, entre outros fatores (Troath, 2023: 15):

- Na função determinante da interação entre a Defesa, Academia e a Indústria para o desenvolvimento das capacidades;
- Na centralidade da modalidade de controlo humano;
- Na ênfase da confiança na autonomia;
- Na necessidade de um enquadramento ético para o desenvolvimento e operação;
- No requisito de interoperabilidade com parceiros e aliados;
- No desejo de reduzir o risco para os militares;
- No requisito para o desenvolvimento de sistemas baratos, pequenos e de uso especializado.

Conclusões

O homem continuará a ser o centro de gravidade da Guerra Aérea futura, onde a natureza permanece constante, mas cujo carácter será inexoravelmente alterado em resultado da proliferação de sistemas aéreos com funcionalidades cada vez mais autónomas.

A contextualização do paradigma da GAA, sob a perspetiva da utilidade operacional e desafios associados ao emprego generalizado de SAFA cada vez mais evoluídos, permite identificar a sua relevância militar e o impacto nas funções operacionais, e como tal, na formulação estratégica do Poder Aéreo. Ao mesmo tempo, revela a natureza do debate acerca dos constrangimentos para o desenvolvimento e integração futura dos SAFA nos sistemas de forças militares. Este processo de transformação irá continuar a decorrer à medida que novas funcionalidades são validadas operacionalmente, à semelhança do processo iterativo, centrado na comunidade operacional, que tem sustentado o desenvolvimento do Poder Aéreo ao longo da sua história.

Considerando a imprevisibilidade do ambiente operacional futuro, e tal como os conflitos do Afeganistão e Iraque tiveram efeito detonador para a emergência e proliferação inicial



de sistemas aéreos operados remotamente, também a renovada perspectiva de conflitualidade entre grandes potências permite antecipar a mitigação de alguns dos obstáculos e acelerar o desenvolvimento e introdução de sistemas mais complexos e novos modelos operacionais.

O caso do conflito da Ucrânia parece confirmar a tendência de democratização do Poder Aéreo, assente no emprego massivo de sistemas aéreos de baixo custo e descartáveis, maioritariamente adaptados de plataformas civis, capazes de ataques de precisão a alvos de elevado valor. De forma complementar, as potências internacionais desenvolvem SAFA cada vez mais sofisticados e com elevados níveis de autonomia, com o objetivo de colmatar a lacuna atual de operação em ambientes contestados.

O processo de formulação de Estratégia tenta articular, de forma equilibrada, os meios e os fins, procurando submeter opções de resposta que sejam politicamente aceitáveis e exequíveis em termos de risco e recursos. De igual forma, a Estratégia deve servir de ponte para ligar o emprego da força militar com os objetivos políticos e efeitos desejados.

Os conceitos de operação apresentados, assentes em avanços tecnológicos exponenciais da inteligência artificial abrem novas aplicações operacionais que permitem redefinir a Estratégia Aérea. Neste novo modelo operacional será possível orquestrar um ecossistema diverso, distribuído e disruptivo de plataformas tripuladas e sistemas com elevada autonomia, empregues em equipas colaborativas Homem-Máquina e Máquina-Máquina. Desta forma, é possível estratificar o emprego das capacidades aéreas, num espetro de ambientes permissivos a contestados, numa panóplia alargada de missões, de acordo com os efeitos desejados, o nível de ameaça existente e o risco de atrição, potenciando a sobrevivência dos meios tripulados.

Ao remover do cálculo estratégico e do impacto político o risco associado à atrição humana torna-se mais aceitável o emprego do instrumento militar, não como último recurso, mas como modalidade preferencial. Assim, ao limitar os custos apenas ao vetor material, a Guerra poderá tornar-se politicamente mais aceitável e frequente.

A análise da aplicação do paradigma da GAA pelos EUA, Reino Unido e Austrália revelou vantagens qualitativas e quantitativas na aptidão de uma força para gerar e empregar o Poder Aéreo, em termos de eficácia operacional e eficiência de custo e risco, mas também alguns desafios tecnológicos, organizacionais e humanos. As tendências analisadas servem como aviso antecipado acerca das transformações que estão a moldar a geração e emprego do Poder Aéreo futuro, permitindo a identificação das oportunidades, assim como de medidas de mitigação dos desafios.

Neste sentido, a transformação em curso, resultante da proliferação de SAFA evoluídos, tem reflexos nas dimensões de conceitos de emprego, capacidades, organização e pessoas.

Os conceitos de emprego colaborativos, de forma transversal às funções do Poder Aéreo, com reforço das interfaces Homem-Máquina, potenciam uma consciência situacional acrescida resultante da sensorização desagregada e distribuída em rede, assim como um aumento de sobrevivência e da defesa em profundidade, afastando e preservando o piloto dos rigores da frente de combate.



O enfoque na cooperação de ID&I entre entidades militares e civis, e na experimentação e validação operacional de tarefas cada vez mais complexas, procurando alcançar elevados níveis de segurança e de desempenho operacional, irão traduzir-se em maior confiança dos utilizadores, decisores e público.

A integração gradual nas estruturas de forças, em tipologias de missões onde existam ganhos operacionais, económicos e humanos, será feita numa perspetiva de reforço e expansão das capacidades tripuladas existentes ou mesmo, de substituição futura de capacidades.

O sucesso da transformação está dependente da capacidade de recrutar, educar e reter recursos humanos com elevadas competências técnicas, operacionais e de liderança, permitindo uma melhor compreensão das potencialidades, limitações e desafios associados às novas capacidades militares.

Em resultado dos benefícios e dos desafios que envolvem a implementação do paradigma de GAA, antecipa-se um processo de mudança incremental, operacional, organizacional e cultural, com introdução gradual de SAFA sujeitos a um controlo humano significativo, até que as capacidades adaptativas sejam adequadas e confiáveis para lidar com ambientes dinâmicos e incertos. Desta forma, à medida que a tecnologia progride, a confiança aumente e a necessidade operacional cresça, irá acentuar-se a tendência de afastamento do homem do ciclo de decisão e do controlo direto sobre SAFA individuais, para uma função de operação em equipa Homem-Máquina, e gradualmente, de supervisão do enxame através de uma maior abstração do comando.

Conclui-se, reconhecendo que o paradigma emergente da GAA potencia o aumento da utilidade do Poder Aéreo, melhorando a disponibilidade, acessibilidade e aceitabilidade do emprego operacional, resultantes da utilização isolada de SAFA, da combinação com aeronaves tripuladas em conceitos de operação em equipa, ou da colaboração entre múltiplas plataformas com elevados níveis de autonomia.

À medida que se desenvolve este ecossistema diverso, distribuído e disruptivo, governado por complexos algoritmos de inteligência artificial, importa continuar a garantir, enquanto imperativos ético e legal, o controlo humano significativo durante o processo de decisão de uso da força letal.

Referências

- Alkire, B., Kallimani, J., Wilson, P., & Moore, L. (2010). *Applications for Navy Unmanned Aircraft Systems*. Santa Monica: RAND Corporation.
- Altman, H. (2022, 26 de setembro). New Details On The Secretive Air Force Plan For Teaming Fighter Pilots With Drones [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.thedrive.com/the-war-zone/new-details-on-the-secretive-air-force-plan-for-teaming-fighter-pilots-with-drones>
- Australian Defence Force. (2020). *Concept for Robotic and Autonomous Systems*. Canberra: Autor.



- Birkey, D., Deptula, D., & Stutzriem, L. (2018). *Manned-Unmanned Aircraft Teaming: Taking Combat Airpower to the Next Level*. Mitchell Institute Policy Papers Vol. 15.
- Blount, C. (2017). Staying Relevant? The Future Utility of Air Power. *Air Power Review*, 20(1), pp. 108-114.
- Boulanin, V., & Verbruggen, M. (2017). *Mapping the Development of Autonomy in Weapon Systems*. Solna: Stockholm International Peace Research Institute.
- Boulanin, V., Bruun, L., & Goussac, N. (2021). *Autonomous Weapon Systems and International Humanitarian Law*. Solna: Stockholm International Peace Research Institute.
- Boulanin, V., Davison, N., Goussac, N., & Carlsson, M. (2020). *Limits on Autonomy in Weapon Systems. Identifying Practical Elements of Human Control*. Solna: Stockholm International Peace Research Institute.
- Bronk, J. (2021). *Combat Air Power 2021: Competing Visions for the Future*. London: Royal United Services Institute for Defence and Security Studies.
- Chahal, H., & Konaev, M. (2021, 18 de fevereiro). Building trust in human-machine teams. [Página online]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.brookings.edu/techstream/building-trust-in-human-machine-teams/>
- Chavannes, E., & Arkhipov-Goyal, A. (2021). The Ethics of Robotic and Autonomous Systems in a Military Context. Em: *Capstone Report: Robotic and Autonomous Systems in a Military Context* (pp. 51–115). Hague: Hague Centre for Strategic Studies.
- Clodfelter, M. (1989). *Limits of Air Power: The American Bombing of North Vietnam*. New York: Free Press.
- Department of Defense. (2016, 28 de abril). Remarks by Deputy Secretary Work on Third Offset Strategy. [Página online]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.defense.gov/News/Speeches/Speech/Article/753482/remarks-by-deputy-secretary-work-on-third-offset-strategy/>
- Department of Defense. (2017). *Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042*. Washington DC: Autor.
- Department of Defense. (2022). *U.S. Department of Defense Responsible Artificial Intelligence Strategy and Implementation Pathway*. Washington DC: Autor.
- Department of Defense. (2023). *Directive 3000.09. Autonomy in Weapon Systems*. Washington DC: Autor.
- Ekelhof, M. (2019). *The Distributed Conduct of War: Reframing Debates on Autonomous Weapons, Human Control and Legal Compliance in Targeting*. (PhD Thesis). Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Ekelhof, M., & Paoli, P. (2020). *Swarm Robotics: Technical and Operational overview of the next generation of Autonomous Systems*. Geneva: United Nations Institute for Disarmament Research.



- Ekelhof, M., & Paoli, P. (2021). *The Human Element in Decisions About the Use of Force*. Geneva: United Nations Institute for Disarmament Research.
- Eklund, A. (2020). *Meaningful Human Control of Autonomous Weapon Systems*. Stockholm: Swedish Defence Research Agency.
- Endsley, M. (2015). *Autonomous Horizons: System Autonomy in the Air Force – A Path to the Future. Volume I: Human – Autonomy Teaming*. Washington DC: United States Air Force.
- Gettinger, D. (2020). *Drone Databook Update*. Washinton DC: Center for the Study of the Drone at Bard College.
- Gray, C. (2012). *Airpower for Strategic Effect*. Maxwell AFB: Air University Press.
- Gray, M., & Ertan, A. (2021a). *Artificial Intelligence and Autonomy in the Military: An Overview of NATO Member States’ Strategies and Deployment*. Tallinn: NATO CCDCOE.
- Gunzinger, M., & Autenried, L. (2020). *Understanding the Promise of Skyborg and Low-Cost Attritable Unmanned Aerial Vehicles*. Mitchell Institute Policy Paper Vol. 24.
- Haugstvedt, H., & Jacobsen, J. O. (2020). Taking Fourth-Generation Warfare to the Skies? An Empirical Exploration of Non-State Actors’ Use of Weaponized Unmanned Aerial Vehicles (UAVs-‘Drones’). *Perspectives on Terrorism*, 14(5), pp. 26–40.
- Hetherington, M. (2022). *Unmanned Air Mobility for the Australian Defence Force: Future Platforms, Partnerships and Challenges*. Canberra: Air and Space Power Centre.
- Hoehn, J., & Kerr, P. (2022). *Unmanned Aircraft Systems: Current and Potential Programs*. CRS Report R47067. Washington DC: US Congress.
- Hoehn, J., Saylor, K., & DeVine, M. (2022). *Unmanned Aircraft Systems: Roles, Missions, and Future Concepts*. CRS Report R47188. Washington DC: US Congress.
- Insinna, V. (2022, 05 de outubro). US Air Force to start new experiments with Boeing’s MQ-28 Ghost Bat drone [Página online]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://breakingdefense.com/2022/10/us-air-force-to-start-new-experiments-with-boeings-mq-28-ghost-bat-drone/>
- Kainikara, S. (2018). Air Power in the 21st Century: enduring trends and uncertain futures. *Australian Defence Force Journal*, 204, pp. 15-22.
- Kainikara, S. (2019). *Artificial Intelligence and the Future of Air Power*. Working Paper 45. Royal Australian Air Force Air Power Development Centre. Disponível em
- Kwik, J. (2022). A Practicable Operationalisation of Meaningful Human Control. *Laws*, 11(43), pp. 1-21. doi.org/10.3390/laws11030043
- Laird, R. (2021). *Next Generation Autonomous Systems*. Kingston: The Williams Foundation.
- Lee, C., & Gunzinger, M. (2022). *The next frontier: UAVs for great power conflict: Part I - Penetrating Strike*. Arlington: The Mitchell Institute for Aerospace Studies.



Losey, S. (2022, 07 de setembro). Mark your calendar for a planned drone wingmen competition [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.defensenews.com/air/2022/09/07/mark-your-calendar-for-a-planned-drone-wingmen-competition-in-2024/>

Macfarlane, K., & Christie, L. (2022). *Automation in military operations*. London: The Parliamentary Office of Science and Technology.

Mehta, A. (2021, 10 de maio). Britain's Royal Air Force chief talks F-35 tally and divesting equipment [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.defensenews.com/interviews/2021/05/09/britains-royal-air-force-chief-talks-f-35-tally-and-divesting-equipment/>

Melville, C. (2014). *Re-presenting British Air Power Doctrine: a Visual Model of Air Power*. Centre for Air and Space Power Studies.

Ministry of Defence. (2018). *Joint Concept Note 1-18: Human-Machine Teaming*. London: Autor.

Ministry of Defence. (2022a). *Joint Doctrine Publication 0-30: UK Air Power*. London: Autor.

Ministry of Defence. (2022b, 01 de junho). Guidance Robotics and autonomous systems: defence science and technology capability [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.gov.uk/guidance/robotics-and-autonomous-systems-defence-science-and-technology-capability>

North Atlantic Treaty Organization. (2010). *Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems*. Kalkar: Joint Air Power Competence Centre.

North Atlantic Treaty Organization. (2016). *AJP-3.3 - Allied Joint Doctrine for Air and Space Operations*. Brussels: NATO Standardization Office.

North Atlantic Treaty Organization. (2018, 26 de junho). NATO Joint Air Power Strategy [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_156374.htm

North Atlantic Treaty Organization. (2020). *Science & Technology Trends 2020-2040*. Brussels: NATO Science & Technology Organization.

North Atlantic Treaty Organization. (2022, 13 de outubro). Summary of NATO's Autonomy Implementation Plan [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_208376.htm

Noyes, M. (2019). *Autonomous Weapons: The Future Behind Us*. Fort Leavenworth: Army Command and General Staff College.

Nurkin, T. (2020, 21 de dezembro). The importance of advancing loyal wingman technology [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2020/12/21/the-importance-of-advancing-loyal-wingman-technology/?fbclid=IwAR3PYnB81rA%E2%80%A6>



- Patti, R. (s.d.). *Joint Operations with Unmanned Aircraft Systems (UAS) and their Future Development*. Norfolk: Combined Joint Operations from the Sea Centre of Excellence.
- Payne, K. (2022). *Bright Prospects – Big Challenges: Defence AI in the United Kingdom*. Hamburg: Defense AI Observatory.
- Penney, H. (2022). *Five Imperatives for Developing Collaborative Combat Aircraft for Teaming Operations*. Mitchell Institute Policy Paper Vol. 38.
- Penney, H., & Olsen, C. (2022). *Beyond Pixie Dust: a Framework for Understanding and Developing Autonomy in Unmanned Aircraft*. Arlington: The Mitchell Institute for Aerospace Studies.
- Puscas, I. (2022). *Human-Machine Interfaces in Autonomous Weapon Systems Considerations for Human-Control*. Geneva: United Nations Institute for Disarmament Research.
- Rogoway, T. (2020, 04 de maio). Everything We Learned From Boeing About Its Potentially Game-Changing Loyal Wingman Drone [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.thedrive.com/the-war-zone/33271/everything-we-learned-from-boeing-about-its-potentially-game-changing-loyal-wingman-drone>
- Royal Air Force. (s.d.). Team Tempest [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Retirado de <https://www.raf.mod.uk/what-we-do/team-tempest/>
- Royal Australian Air Force. (2019). *At the Edge: Exploring and Exploiting our Fifth Generation Edges*. Canberra: Autor.
- Royal Australian Air Force. (2022). *Air Power Manual (7th Ed.)*. Canberra: Autor.
- Russell, S. (2022, 18 de maio). World Economic Forum. Why we need to regulate non-state use of arms [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.weforum.org/agenda/2022/05/regulate-non-state-use-arms/>
- Scharre, P. (2018). *Army of None: Autonomous Weapons and the Future of War*. New York: W.W. Norton & Company.
- Scharre, P., & Horowitz, M. (2015). *An Introduction to Autonomy in Weapon Systems*. Washington DC: Center for a New American Security.
- Taddeo, M., & Blanchard, A. (2022). A Comparative Analysis of the Definitions of Autonomous Weapons Systems. *Science and Engineering Ethics*, 28(37), pp. 1-22. doi.org/10.1007/s11948-022-00392-3
- Torossian, B., Bekkers, F., Sweijts, T., Roelen, M., Hristov, A., & Atalla, S. (2021). *The Military Applicability of Robotic and Autonomous Systems*. Hague: The Hague Centre for Strategic Studies.
- Trevithick, J. (2022, 19 de novembro). Autonomy With Limits Essential For Future Drones Air Force Generals Say [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.thedrive.com/the-war-zone/coders-in-fighter-squadrons-likely-coming-as-drone-revolution-looms>



Trevithick, J. (2023, 10 de março). 'Affordable Mass' Concept Driving Air Force's New Advanced Drone Initiative [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.thedrive.com/the-war-zone/affordable-mass-concept-driving-air-forces-new-advanced-drone-initiative>

Trevithick, J., & Rogoway, T. (2022, 12 de julho). Vision For Future Manned-Unmanned Air Combat Laid Out By Skunk Works [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.thedrive.com/the-war-zone/vision-for-future-manned-unmanned-air-combat-laid-out-by-skunk-works>

Troath, S. (2023). The development of robotics and autonomous systems in Australia: key issues, actors, and discourses. *Australian Journal of International Affairs*, 77(1), pp. 65-84. doi.org/10.1080/10357718.2022.2095615

United Nations. (2019). *Meeting of the High Contracting Parties to the Convention on Prohibitions or Restrictions on the Use of Certain Conventional Weapons Which May Be Deemed to Be Excessively Injurious or to Have Indiscriminate Effects*. Geneva: Autor.

United Nations. (2022). *Joint Statement on Lethal Autonomous Weapons Systems*. First Committee. 77th United Nations General Assembly. New York: Autor.

United States Air Force. (2016). *Small Unmanned Aircraft Systems Flight Plan 2016-2036*. Washington DC: Autor.

United States Air Force. (2019). *U.S. Air Force 2030 Science and Technology Strategy*. Washington DC: Autor.

United States Air Force. (2021). *Air Force Doctrine Publication 1 - The Air Force*. Washington DC: Autor.

United States Air Force. (2022). *Department of the Air Force Operational Imperatives*. Washington DC: Autor.

Vicente, J. (2013). Uma análise concetual e pragmática acerca do Poder Aéreo. *Revista Proelium Academia Militar*, (5), pp. 199-222.

Vicente, J. (2019). Três décadas de participação da Força Aérea em Operações da NATO. *Revista Militar*, (2609/2610), pp. 795-831.

Vicente, J. (2023). The Dilemma of Human Interference in War: The Coming Revolution of Autonomous Air Warfare. In M. Fissel (Ed.), *The Military Revolution and Revolutions in Military Affairs* (pp. 405-446). Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg. <https://doi.org/10.1515/9783110661415-009>

Wassmuth, D., & Blair, D. (2018, 21 de fevereiro). Loyal Wingman, Flocking, and Swarming: New Models of Distributed Airpower [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://warontherocks.com/2018/02/loyal-wingman-flocking-swarming-new-models-distributed-airpower/>

Wigston, M. (2022, 14 de julho). Chief of the Air Staff speech at Global Air & Space Chiefs' Conference [Página *online*]. [Consult. em 30 de junho de 2023]. Disponível em <https://www.gov.uk/government/speeches/chief-of-the-air-staff-speech-at-global-air-space-chiefs-conference>



Work, R. (2021). *Principles for the Combat Employment of Weapon Systems with Autonomous Functionalities*. Washington DC: Center for a New American Security.