



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2023

VICTOR HUGO SFREDO SARAIVA, Cap Av

Drones e SAR: um estudo sobre os ganhos da utilização dos vetores não tripulados para coordenação do Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico

Rio de Janeiro

2023

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2023

VICTOR HUGO SFREDO SARAIVA, Cap Av

Drones e SAR: um estudo sobre os ganhos da utilização dos vetores não tripulados para coordenação do Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso 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: Emprego de Força Aérea
Orientador: Raphael Osório de Oliveira, Maj Av

Rio de Janeiro

2023

VICTOR HUGO SFREDO SARAIVA, Cap Av

Drones e SAR: um estudo sobre os ganhos da utilização dos vetores não tripulados para coordenação do Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Raphael Osório de Oliveira, Maj Av
EAOAR

Alexandre Fontoura da Silva, Ten Cel Inf
EAOAR

Rio de Janeiro

2023

RESUMO

Uma análise da legislação de busca e salvamento vigente revela que não há previsão para a utilização de drones em qualquer nível das operações SAR, sendo visível a existência de uma lacuna para o aproveitamento dessas novas tecnologias. Este ensaio trata das operações de Busca e Salvamento (SAR) e propõe a incorporação dos veículos aéreos não tripulados e suas tecnologias nas missões, a fim de aprimorar a Coordenação do Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico (SISSAR). O estudo argumenta que a utilização dos drones irá conferir maior rapidez às operações, em virtude da possibilidade da sua utilização por grupos de busca terrestre, onde um conjunto de drones cobre uma área específica de forma rápida e sistemática, além da tecnologia de múltiplas redes de celular para controlar veículos em regiões distantes, inclusive, em alto mar, servindo de auxílio para as aeronaves de busca convencionais, quando deslocadas em missões marítimas. Também são apresentados expressivos benefícios para o comando e controle, pois existem tecnologias que possibilitam envio de fotos do local alvo das buscas em tempo real e, principalmente, a apuração das imagens de forma automática. Ao final, verifica-se que a utilização dos drones trará grande ganho operacional para a coordenação do sistema, tornando possível o salvamento do maior número de vidas nos mais diversos campos de operações, servindo, ainda, como uma ferramenta poderosa de projeção da capacidade da Força Aérea Brasileira durante a prestação do serviço SAR para as diversas nações que utilizam dos 22 milhões de km² sob responsabilidade brasileira.

Palavras-chave: Drone. Força Aérea Brasileira. SAR.

1 INTRODUÇÃO

A aviação desempenhou um papel crucial na evolução da sociedade ao longo do último século. No entanto, com o avanço das tecnologias aeronáuticas, surgiu a necessidade de uma regulamentação consistente e sistemas de suporte para garantir a segurança das tripulações e das máquinas. Dentro deste contexto, a atividade de Busca e Salvamento (SAR) ganhou grande destaque, devido à sua primordial importância humanitária.

Dentro da estrutura do SAR mundial, emergiu a necessidade de um aparato regulatório, o que resultou na formulação do Anexo 12 da Convenção Internacional de Aviação Civil (ICAO, 2019). No Brasil, em resposta a estes compromissos internacionais, foi criado o Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico (SISSAR) (BRASIL, 2020). A coordenação das missões de busca é realizada pelos *Sar Mission Commander* (SMC), militares formados pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). O Papel dos SMC é gerenciar todas as etapas das missões, desde a detecção inicial de uma emergência até a conclusão do resgate e a elaboração do relatório SAR (BRASIL, 2019). As atividades são realizadas a partir do Centro de Coordenação de Salvamento Aeronáutico (ARCC) (BRASIL, 2023).

No Brasil, um exemplo notável da complexidade da prática de coordenação SAR foi o caso do voo Air France 447, desaparecido em maio de 2009. O avião, no momento do desaparecimento, possuía autonomia para voar nove horas. Isso implicava que ele poderia estar em uma área aproximada de inacreditáveis 190.000.000 km² a partir do último ponto de visualização da aeronave no radar, dificultando a rapidez para encontrar os destroços. Adicionalmente, das 19 aeronaves que participaram das buscas, nenhuma possuía capacidade de enviar imagens em tempo real e todas eram controladas e tripuladas de forma convencional por tripulações de quatro diferentes países, gerando diversas dificuldades de comando e controle (MONTEIRO JUNIOR, 2022).

Não obstante, as últimas décadas trouxeram um grande avanço para a aviação: a introdução de aeronaves não tripuladas, que neste trabalho serão chamadas genericamente de “drones”. Esses vetores apresentam prospecção de grande avanço tecnológico em pouco espaço de tempo. Porém, o SISSAR ainda não contempla a utilização dessa ferramenta em seus manuais e treinamentos, portanto não reconhece oficialmente os possíveis ganhos dessa tecnologia para o SAR (BRASIL, 2023).

Com base nas experiências dos SMC, no Brasil e no mundo, em missões coordenadas de forma convencional, reguladas pelo Manual Internacional de Busca e salvamento Aeronáutico e Marítimo (ICAO, 2019), o presente ensaio defende que a incorporação dos veículos aéreos não tripulados e suas tecnologias irá aprimorar a coordenação das missões do Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico com base nas premissas da rapidez e comando e controle.

Os drones terão o potencial de aumentar a rapidez das operações SAR, ao se utilizar equipes desses veículos aéreos, ou enxames, com voos em formação para cobrir áreas específicas, incluindo alto mar, em um tempo significativamente menor. Esta melhoria na velocidade aumentará a probabilidade de uma ágil localização (BELACQUA *et al.*, 2015).

Além disso, a utilização de drones permite um aprimoramento do comando e controle das missões SAR, uma vez que eles podem transmitir imagens ao vivo para a coordenação e realizar voos e detecções autônomas, servindo como uma ferramenta avançada para a tomada de decisões do SMC durante as missões.

2 DESENVOLVIMENTO

Rapidez e comando e controle são conceitos-chave para garantir a eficiência na coordenação e execução de missões SAR (BRASIL, 2019). Os estados que, assim como o Brasil, fazem parte da Convenção Internacional de Aviação Civil (ICAO), se comprometeram a prestar o serviço de busca e salvamento de acordo com os padrões internacionais e os meios adequados às possibilidades particulares dos membros (ICAO, 2019).

Como descrito no MCA 64-3 (BRASIL, 2019), é função do coordenador SAR fornecer ao grande comando responsável as informações que contribuam para a tomada de decisão sobre qual plataforma mais adequada para a missão em questão. Além disso, o coordenador é responsável por planejar e coordenar o deslocamento dos recursos SAR até a cena do incidente, garantindo que a unidade SRU (*Search and Rescue Unit*) envolvida seja a mais apropriada.

Nesse sentido, torna-se crucial que o DECEA se mobilize rapidamente e esteja preparado para integrar veículos não tripulados em suas missões SAR, cujos benefícios serão discutidos neste trabalho.

2.1 A influência dos drones na rapidez das missões SAR

Nas missões SAR, a vastidão das áreas de busca é um problema significativo que muitas vezes compromete a rapidez da operação. Essas áreas podem ser categorizadas em três tipos principais: área de possibilidade, área de probabilidade genérica ou ampliada e área de probabilidade específica (BRASIL, 2019). Para este trabalho serão consideradas as áreas de probabilidade e de probabilidade específica.

A área de probabilidade é um subconjunto da área de possibilidade e é identificada por meio de análises mais detalhadas, como o último ponto conhecido, o local programado de pouso, padrões de vento e correntes marítimas, entre outras variáveis. É a área mais utilizada para buscas. Geralmente há uma impossibilidade de voar toda área em uma só missão e ela pode ser subdividida entre mais aeronaves de busca ou em mais dias de voo. Já a área de probabilidade específica é um recorte ainda menor, geralmente identificado quando existem dados de localização mais precisos, como sinais de emergência, destroços encontrados ou testemunhas oculares, nela podem ser utilizadas aeronaves menores ou equipes terrestres por conta de seu tamanho (COOPER; FROST; ROBE, 2003).

Desse modo, especialmente nas áreas de probabilidade específica, o uso de drones por equipes terrestres tem o potencial de acelerar substancialmente a cobertura, ou seja, o sobrevoo dessas áreas, com a introdução de uma técnica chamada "*Layered Search and Rescue*" (LSAR). Essa técnica propõe o emprego de uma equipe, ou enxame, de drones para maximizar o número de vítimas identificadas no menor tempo possível. Belacqua *et al.* (2015), em estudos de simulação, revelaram que os drones operando com o algoritmo LSAR conseguem, em média, resgatar cerca de 74% dos sobreviventes.

Já o estudo realizado por Gldenring *et al.* (2020), no contexto marítimo, propõe e avalia o conceito de combinar múltiplas redes celulares para uma comunicação altamente confiável com os drones. Seus resultados mostraram que, nesse cenário, os métodos convencionais de controle não são suficientes para garantir a conectividade confiável com o Drone. No entanto, a conectividade de *link* celular fornece disponibilidade de até 99,8% nos cenários analisados. Assim, a abordagem e os dados experimentais apresentados neste trabalho constituem uma sólida e segura contribuição para a melhoria da rapidez das missões SAR com o uso de drones, mesmo em ambientes remotos.

A possibilidade de utilizar, além dos métodos convencionais, drones em alto mar é muito efetiva para melhorar a rapidez, já que esses dispositivos podem ser enviados para checar os indícios encontrados, enquanto a unidade de busca principal pode manter seu padrão voo SAR a procura de novos indícios, evitando perda de tempo com curvas para avistamento. De acordo com o manual MCA 64-3, tais curvas consomem cerca de 15% do tempo de voo que seria utilizado para busca em uma aeronave convencional (BRASIL, 2019).

Para que tal potencial seja devidamente explorado, é imprescindível que o SSSAR se prepare para implementar a utilização segura de drones, por meio da criação de legislações apropriadas e do desenvolvimento de programas de treinamento específicos para capacitar as equipes de resgate a operar drones portáteis, seja junto ao corpo ou guiando-os a partir do solo. Essas medidas diminuirão o tempo de resposta em situações críticas e irão potencializar o número de vidas salvas durante as missões SAR.

Com o exposto, fica evidente que a incorporação dos drones e suas tecnologias trará ganhos significativos para as missões SAR, uma vez que haverá aumento da eficiência através do acréscimo na rapidez das missões ao cobrir áreas amplas, incluindo alto mar, em um tempo notavelmente menor. Esse aumento de velocidade aprimora a chance de localizar e averiguar mais indícios, com maior agilidade.

2.2 Melhora no comando e controle

Outra situação crítica para o Coordenador de Missão SAR é o comando e controle, pois estão entre suas funções: providenciar busca eletrônica por meio de radar, selecionar os padrões de busca a serem empregados, gerenciar os recursos disponíveis e acompanhar a execução dos padrões de busca (BRASIL, 2019). Desta forma, o controle por parte do coordenador deve ser o mais abrangente possível, dentro das possibilidades do caso, e todas as informações devem ser assertivas e confiáveis.

De acordo com Golcarenenji *et al.* (2021), drones representam tecnologias promissoras para diversos cenários de detecção de pessoas em operações de busca e salvamento. No entanto, condições adversas, como variação de altitude, posição da câmera, iluminação variável e movimento do drone, apresentam desafios para uma

detecção eficiente de pessoas. Porém, o uso do novo algoritmo chamado Rede de Agregação de Caminhos (PAN) possibilita a detecção e o posicionamento em tempo real.

Ainda sobre o mesmo trabalho, esse desenvolvimento tem particular relevância para a coordenação de missões SAR, pois produz imagens em tempo real capturadas pelos drones e processadas por algoritmos de detecção de pessoas (GOLCARENARENJI *et al.*, 2021). Logo, fornecem informações valiosas e que não requerem de operadores humanos para seleção. Essas imagens podem ser usadas para manter o SMC informado e auxiliar nas tomadas de decisões no caso de resgates ou infiltração de equipe no terreno, mesmo quando o Coordenador estiver remotamente localizado no ARCC.

Já Lygouras *et al.* (2019) abordam a detecção de pessoas em tempo real por meio de drones totalmente autônomos em missões de resgate. O sistema estudado, que opera embarcado, demonstrou capacidade de identificar nadadores em águas abertas. Tal capacidade habilitou o drone a fornecer assistência de forma precisa e totalmente autônoma, resultando na melhoria das operações dos socorristas.

O grande diferencial deste sistema é a combinação de técnicas de Sistema de Navegação por Satélite Global (GNSS) com algoritmos de visão computacional. Estes são empregados tanto para a detecção de pessoas quanto para o lançamento de equipamentos de resgate (LYGOURAS *et al.*, 2019).

Uma vez que tecnologias envolvidas neste ensaio implicam em redução de trabalho humano via inteligência sintética e diminuição de pilotos (LYGOURAS *et al.*, 2019), necessariamente, haverá redução da carga de trabalho da coordenação que também é responsável pela acomodação, refeições e demais necessidades em solo de toda tripulação SAR (BRASIL, 2019). Este avanço traz implicações diretas para o comando e controle de missões SAR, já que permite uma resposta acurada e precisa em situações emergenciais, reduzindo, simultaneamente, a carga de trabalho humano envolvido.

É patente que os drones servem como ferramentas avançadas para o aprimoramento do comando e controle nas missões SAR ao transmitir imagens ao vivo para a coordenação em tempo real e realizar detecções autônomas de objetos de forma a trazer ganhos significativos para a eficiência da coordenação do Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico.

3 CONCLUSÃO

Tendo em vista a primeira premissa, verifica-se que a rapidez nas missões irá ampliar-se a partir das novas tecnologias baseadas em "*Layered Search and Rescue*" (LSAR) e a utilização de múltiplas redes celulares para uma comunicação altamente confiável com os drones. Tal fato ocorre devido à capacidade de se realizar rápidas varreduras, com múltiplos drones, em locais que apresentam uma probabilidade específica de conter o objeto da busca. Também é possível realizar esse serviço em alto mar, utilizando-se os drones de forma complementar para checagem de indícios que possam ser o objeto de busca.

Já sobre o quesito comando e controle, a utilização de tecnologias de rede de agregação de caminhos (PAN) para detecção e envio de posicionamento em tempo real, aliadas à tecnologia de localização de pessoas, por meio de drones totalmente autônomos em missões de resgate com o uso do GNSS, possibilita realizar voos e detecções autônomas, sem a necessidade de uma coordenação direta sobre os voos ou a seleção das imagens. Isso resulta em uma redução significativa da carga de trabalho do coordenador, além de gerar produtos de imagem e localização precisos e acurados em situações emergenciais.

O presente trabalho defende que a incorporação dos veículos aéreos não tripulados e suas tecnologias irá aprimorar a coordenação das missões do SISSAR com base nas premissas da rapidez e comando e controle. Avaliando-se a capacidade de melhoria advinda da utilização dos drones nas duas premissas em voga, em situações complexas como áreas específicas ou em alto mar, além da redução de monitoramento para seleção e identificação de alvos, fica evidente que a ferramenta do veículo não tripulados e suas tecnologias nas missões SAR trarão grande ganho operacional e aprimorarão a Coordenação do SISSAR.

Em suma, a decisão de agregar a operação com drones, partindo de missões de Busca e Salvamento, levará a FAB a aumentar suas capacidades na prestação do serviço SAR para os todos usuários de diversas nações, dentro dos 22 milhões de km² sob responsabilidade brasileira, tanto na terra, quanto no mar e no ar. O domínio dessas capacidades proporcionará à Força Aérea Brasileira não apenas uma projeção expressiva no cenário SAR mundial, como, principalmente, realizar a salvaguarda de vidas humanas em perigo.

REFERÊNCIAS

BEVACQUA, G. *et al.* Mixed-initiative planning and execution for multiple drones in search and rescue missions. **Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling**. p. 315-323, 2015.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 98/DGECEA, de 26 de julho de 2019. Aprova a reedição do Manual de Coordenação Busca e Salvamento Aeronáutico (MCA 64-3). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 144, fl. 10.839, 15 ago. 2019.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 673/DSAR, de 23 de janeiro de 2023. Aprova a reedição da Norma de Sistema que disciplina o sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico (NSCA 64-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 30, fl. 2229, 13 fev. 2023.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 674/DSAR, de 23 de janeiro de 2023. Aprova a reedição do Plano de Busca e Salvamento Aeronáutico (PCA 64-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 30, fl. 2229, 13 fev. 2023.

COOPER, D. C.; FROST, J. R.; ROBE, R. Q. Compatibility of land SAR procedures with search theory. **US Dept. of Homeland Security**, v. 1, p. 18-177, 2003.

GOLCARENARENJI, G. *et al.* Efficient real-time human detection using unmanned aerial vehicles optical imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 7, p. 2440-2462, 2021.

GÜLDENRING, J. *et al.* Reliable long-range multi-link communication for unmanned search and rescue aircraft systems in beyond visual line of sight operation. **Drones**, v. 4, n. 2, p. 16, 2020.

ICAO. **IAMSAR**: manual internacional aeronáutico e marítimo de busca e salvamento. Montreal: ICAO, 2019.

LYGOURAS, E. *et al.* Unsupervised human detection with an embedded vision system on a fully autonomous UAV for search and rescue operations. **Sensors**, v. 19, n. 16, p. 3542, 2019.

MONTEIRO JUNIOR, S. **Voo Air France 447**: desmistificando o maior acidente aéreo brasileiro. 1 ed. Campo Grande: Life Editora, 2022.