



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 01/2023

**GUSTAVO TOLEDO DE AZEVEDO**, Cap Eng

**Sistema de Enxame de Drones:** uma alternativa disruptiva para o cenário de guerra moderna

Rio de Janeiro

2023

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 01/2023

**GUSTAVO TOLEDO DE AZEVEDO**, Cap Eng

**Sistema de Enxame de Drones:** uma alternativa disruptiva para o cenário de guerra moderna

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 da Força Aérea.

Orientador: Eduardo Mendes Marcondes, Maj Av

Rio de Janeiro

2023

**GUSTAVO TOLEDO DE AZEVEDO, Cap Eng**

**Sistema de Enxame de Drones:** uma alternativa disruptiva para o cenário de guerra moderna

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

Aprovado por:

---

Eduardo Mendes **Marcondes**, Maj Av  
EAOAR

---

**Mellina** dos Santos Ferreira Barbosa, Maj Int  
EAOAR

Rio de Janeiro

2023

## RESUMO

Apesar de o Brasil ser considerado um Estado pacífico, constantes tensões em fronteiras obrigam o país garantir um poder de persuasão e pronto emprego da força. Uma das formas de se obter esse poder é possuir aeronaves, tripuladas ou não, de última geração. Dado que esses meios dispõem de capacidade tecnológica elevada, normalmente, possuem grande custo. Altos custos em Forças que não tem orçamento compatível geram problemas relacionados à disponibilidade para emprego desses meios. Uma alternativa emergente nos últimos anos é a utilização de um enxame de *drones*, composto por UAVs mais simples e menores. Neste sentido, é defendida que a FAB inicie a utilização de sistemas de enxame de *drones* dentro de um possível teatro de operações, de forma a expandir a sua atuação e causar um efeito disruptivo dentro de um conflito. Para isso, primeiramente, argumenta-se que esse tipo de tecnologia é capaz de garantir superioridade aérea em relação a sistemas de armas mais avançadas do adversário, pois se adapta a dinâmica do inimigo atacando múltiplos alvos simultaneamente em diversas direções diferentes. Um segundo ponto é que o enxame tem capacidade de suplantar o sistema de defesa do opositor, já que se trata de veículos com características físicas que possibilitam uma não detecção pelos radares inimigos. Além disso, a FAB pode ter um ganho indireto, pois esse tipo de sistema também pode ser utilizado em cenários de catástrofes ambientais, como deslizamentos, permitindo que múltiplos focos consigam ser identificados simultaneamente aumentando a área de cobertura a ser analisada.

**Palavras-chave:** Enxame. *Drone*. Superioridade Aérea. Tecnologia Disruptiva. Teatro de Operações.

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar de, historicamente, o Brasil ser considerado um país pacífico, as tensões observadas no cenário mundial e, principalmente, as ameaças existentes nas fronteiras vizinhas (DURING, 2019) exigem a busca constante por uma Força Aérea forte, de forma a garantir um poder de dissuasão e, caso necessário, o pronto emprego da força.

Uma das formas de se garantir esse poder de dissuasão e de se encontrar sempre pronto para um possível conflito é a capacidade de emprego de aeronaves modernas. Caças de última geração, como os F-35 e F-22 americanos e os veículos aéreos não tripulados (UAVs, sigla advinda do termo em inglês) ou, simplesmente, *drones*, como os RQ-900, são exemplos desse tipo de aeronaves.

Em 2011, a Força Aérea Brasileira (FAB), entendendo a importância da utilização dos UAVs, inaugurou um esquadrão aéreo (esquadrão Hórus) empregando estes meios em missões de reconhecimento e inteligência de forma a criar a doutrina necessária para o melhor aproveitamento de toda a capacidade oferecida por esses veículos.

É sabido, porém, que esses sistemas complexos como as aeronaves tripuladas modernas ou os UAVs possuem um alto custo, tanto para sua aquisição (VALDUGA, 2022), quanto para a formação dos pilotos (HOUSE PERMANENT SELECT COMMITTEE ON INTELLIGENCE, 2012), fazendo com que apenas algumas potências militares consigam ter esses recursos em quantidades adequadas, garantindo, pois, uma soberania no domínio aéreo dentro de um possível teatro de operações (TO).

Para que essas limitações possam ser contornadas, uma aplicação que vem ganhando força nos últimos anos é a utilização de enxames de *drones* para fins militares. A utilização desse sistema permite que se tenha uma alternativa capaz de trazer vantagens dentro do TO, uma vez que missões típicas, como as de suporte aéreo aproximado, que estariam restritas com a utilização de aeronaves tripuladas ou UAVs podem ser cumpridas com o enxame de *drones*, composto por veículos menores, autônomos, mais simples e baratos e capazes de se auto-organizarem.

Nesse sentido, defende-se que a FAB inicie a utilização de sistemas de enxame de *drones* dentro de um possível TO, de forma a expandir a sua atuação e causar um efeito disruptivo dentro do conflito.

Argumenta-se, inicialmente, que esse sistema possui capacidade de garantir superioridade aérea mesmo em um cenário com sistemas de armas mais avançadas por parte do inimigo, pois o enxame é capaz de adaptar sua dinâmica de acordo com o comportamento do inimigo, conseguindo realizar ataques simultâneos em vários alvos com uma grande quantidade de veículos.

O segundo ponto a ser considerado é a sua capacidade de suplantar o sistema de defesa do opositor, uma vez que a capacidade de detecção desses veículos fica comprometida devido as suas características físicas.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

Segundo Lachow (2017), um enxame de *drones* é um sistema colaborativo, autônomo, composto por muitas aeronaves pequenas, baratas e não tripuladas. Embora esse sistema apresente certas vantagens, sua tecnologia ainda se encontra em desenvolvimento.

Nos últimos anos, houve uma explosão na pesquisa deste tipo de tecnologia. Os Estados Unidos, por meio dos programas Perdix (U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE, 2017) e Locust (RICHARDSON, 2019), tem buscado desenvolver essa tecnologia que, até então, tem apresentado resultados interessantes. Israel fez uso, com sucesso, desse instrumento em um conflito contra o Hamas em 2021 (HAMBLING, 2022). A FAB, inclusive, entende a importância do desenvolvimento dessa tecnologia e inseriu, em seu Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação, como tecnologia a ser pesquisada, o voo em enxame (BRASIL, 2021).

A utilização, por conseguinte, de um sistema de enxame de *drones* poderá revolucionar o formato de guerra, permitindo que diversas missões possam ser executadas de forma segura e mais eficiente, colocando menos em risco a vida.

### **2.1 Capacidade de garantir superioridade aérea mesmo em um cenário em que o inimigo apresenta sistemas de armas mais avançadas**

Desde as Guerras Napoleônicas, os exércitos tentam concentrar suas forças em um ponto de fraqueza do inimigo para estabelecer passagem por meio de uma defesa inimiga (DEPARTMENT OF ARMY, 2015). Como os *drones* que compõem um enxame são mais simples do que as aeronaves tripuladas e os UAVs

tradicionalmente utilizados, eles tendem a ter menor custo, permitindo, assim, que haja uma saturação do sistema inimigo, proporcionando a concentração de todos os agentes em um único alvo, garantindo uma clara vantagem sobre o opositor.

Para que se possa entender o quanto mais barato é esse sistema, os *drones* Loccust custam, aproximadamente, 15 mil dólares por veículo (RICHARDSON, 2019), enquanto que o custo do MQ-9 Reaper é de, aproximadamente, 32 milhões de dólares (HAMBLING, 2020). Assim, quase 2200 pequenos *drones* Loccust poderiam ser adquiridos pelo preço de um único Reaper.

Apesar de esse sistema ser composto por uma grande quantidade de veículos, um enxame de *drones* fornece mais do que, apenas, uma vantagem quantitativa. Eles representam um sistema de armas interconectadas que podem se adaptar reativamente ao ambiente e a um inimigo dinâmico.

Os algoritmos inteligentes utilizados para a dinâmica de movimento do sistema de enxame de *drones* se baseiam na observação dos cientistas ao tentarem estudar, entender e replicar o comportamento natural dos enxames percebidos na natureza, como os cardumes de peixes ou enxame de abelhas. Scharre (2018) observou que os enxames na natureza se organizam por meio de coordenação emergente, na qual elementos individuais reagem aos que os cercam por meio de regras simples que dão origem a comportamentos complexos. Além disso, não se notava a presença de um líder e cada agente, dentro daquele enxame, estava seguindo um conjunto de regras.

Reynolds (1987) foi o primeiro a demonstrar que este comportamento observado, que ele descreveu como uma classe geral de movimento agregado polarizado, sem colisão de um grupo de indivíduos, pode ser criado artificialmente. Reproduzindo-se essa capacidade de comunicação e tomada de decisão de forma autônoma, observa-se que o sistema de enxame ganha uma vantagem operacional muito grande, pois consegue, por meio de manobras características de descentralização e centralização, adaptar seu comportamento a nova dinâmica do sistema inimigo, reagindo, em tempo real, às ações dinâmicas do opositor. Ademais, devido a sua alta capacidade de comunicação, o enxame de *drones* permite que o sistema adversário consiga ser atacado, simultaneamente, em vários pontos vulneráveis e por diversas direções diferentes, concentrando, assim, suas forças em múltiplos pontos de fraqueza do inimigo.

Portanto, essa característica de adaptar sua dinâmica ao comportamento do inimigo e conseguir atacar múltiplos alvos simultaneamente com uma quantidade grande de veículos assegura a esse sistema uma capacidade que garante superioridade aérea mesmo em um cenário com sistemas de armas mais avançadas por parte do inimigo. Por isso, esse trabalho defende que a FAB inicie a utilização de sistemas de enxame de *drones* dentro de um possível TO, de forma a expandir a sua atuação e causar um efeito disruptivo dentro do conflito.

## 2.2 Maior capacidade para suplantar um sistema de defesa do inimigo

Dentro de um ambiente complexo como um TO, o elemento que conseguir detectar e classificar o meio empregado assume uma posição de relativa vantagem sobre o inimigo, já que será capaz de ver, entender e agir primeiro. Logo, a capacidade de não ser detectado é vital.

Uma medida que, normalmente, é utilizada como indicador de quanto um alvo consegue ser identificado é a sua assinatura radar (RCS, sigla oriunda do termo em inglês). De acordo com Shirman (2002), a RCS está relacionada com as características geométricas, de refletividade e de diretividade do alvo.

A tecnologia de radar tradicional consegue detectar objetos com uma grande RCS como aeronaves tripuladas por exemplo. Mas, pode ter dificuldades para detectar *drones* cada vez mais miniaturizados, muitos dos quais têm a RCS do tamanho de um pássaro.

Mesmo que o sistema radar consiga realizar a detecção de um objeto pequeno, dificilmente conseguirá identificá-lo de forma precisa podendo este ser um ponto gerador de confusão contribuindo diretamente para que uma decisão possa ser tomada de forma equivocada. Em um cenário de conflito, em que há pouca margem para erros, é essencial fazer a rápida e correta identificação do objeto.

Dessa forma, ao contrário das aeronaves tripuladas ou dos UAVs de maior porte, que conseguem ser detectados pelo sistema de radar inimigo, a utilização de um sistema de enxame de *drones* pode representar uma vantagem em relação à defesa do inimigo, já que dificilmente serão detectados e se porventura forem, a sua identificação ainda ficará comprometida, dado que existe a possibilidade de ser confundido com alguma ave.

Vale a pena lembrar que o enxame de *drones* é caracterizado por ser um sistema inteligente, autônomo e dinâmico. Nesse contexto, os *drones* que compõem o sistema podem funcionar como um multiplicador de força, podendo ser adaptado a diferentes tipos de missões e cenários com rápida atualização, alta robustez e confiabilidade, melhorando a capacidade de absorção de perdas em relação aos sistemas tripulados (CONTE et al., 2022). Barca e Sekercioglu (2013) ainda acrescentam que essas características do sistema são potencializadas pela sua capacidade de auto reconfiguração.

Deste modo, outro ponto a ser destacado como uma forma de suplantar o sistema de defesa inimigo por um sistema de enxame de *drones* é que, mesmo em caso de possível abatimento de alguns veículos, o sistema é capaz de auto reconfigurar as tarefas entre os *drones* restantes permitindo que a missão continue sendo cumprida. Em um cenário de alto desenvolvimento tecnológico, em que as contramedidas são, normalmente, bem mais caras do que os *drones* utilizados para o enxame (LIPTAK, 2017), saber que há a possibilidade de reconfiguração de tarefas em caso de perda de alguns membros do enxame pode ser fator desencorajador para a tentativa de neutralização dos veículos fazendo com que o sistema de enxame de *drones* garanta certa vantagem em relação ao sistema de defesa tradicional do inimigo.

Logo, a dificuldade de detecção de um sistema de enxame de *drones* por um sistema de radar inimigo e a sua capacidade de auto reconfiguração caso haja alguma perda em relação a algum veículo componente do enxame garantem a capacidade de suplantar o sistema de defesa do inimigo. Destarte, defende-se que a FAB inicie a utilização de sistemas de enxame de *drones* dentro de um possível TO, de forma a expandir a sua atuação e causar um efeito disruptivo dentro do conflito.

### **3 CONCLUSÃO**

Apesar das características pacíficas do Brasil, constantes tensões nas fronteiras exigem que o país possua um poder dissuasório e capacidade de pronto emprego da força.

Uma das formas de se obter poder dissuasório é possuir aeronaves modernas e UAVs com alta capacidade tecnológica associada. Porém, esses sistemas

possuem um alto custo de forma que apenas as algumas poucas potências militares possuem um quantitativo adequado para utilização em um confronto.

Uma aplicação que tem ganhado bastante atenção nos últimos anos é o enxame de *drones*, que é composto por veículos bem mais simples, autônomos com capacidade de auto-organização e com um custo reduzido em relação às aeronaves tripuladas e aos UAVs tradicionalmente empregados em conflitos. Essas características podem proporcionar vantagens claras em um TO caso haja necessidade de um conflito.

Um sistema de enxame de *drones* possui a qualidade de adaptar a sua dinâmica ao comportamento do adversário. Dessa forma, consegue atacar, com um quantitativo considerável de veículos, múltiplos alvos por diversas direções diferentes de forma simultânea. Desta forma, o enxame de *drones* possui a capacidade de garantir superioridade aérea mesmo em um cenário com sistemas de armas mais avançadas por parte do inimigo.

Além disso, devido as suas características de fabricação, os radares de detecção possuem dificuldade de identificar os veículos. Ademais, por serem autônomos, caso haja alguma perda de veículos por parte do sistema de enxame, eles possuem a capacidade de se auto reconfigurar e redistribuir as tarefas de forma a continuar executando a missão. Por esses motivos, afirma-se que o sistema possui capacidade de suplantar o sistema de defesa do inimigo.

Portanto, esse trabalho defende que a FAB inicie a utilização de sistemas de enxame de *drones* dentro de um possível TO, de forma a expandir a sua atuação e causar um efeito disruptivo dentro do conflito. A utilização desse sistema poderá revolucionar o formato de guerra, colocando menos em risco a vida humana, trazendo vantagens dentro de um TO, visto que se trata de uma tecnologia inovadora e com ampla possibilidade de utilização.

Além disso, pode-se alcançar um ganho indireto, dado que o enxame de *drones* também pode ser utilizado na busca por sobreviventes em catástrofes ambientais, como enchentes e deslizamentos de terra. Nesse tipo de cenário, em que qualquer segundo pode ser crucial para a sobrevivência da vítima, a utilização do enxame pode contribuir para uma busca de sobrevivente mais eficiente, visto que garante uma cobertura de uma área maior realizada de forma mais rápida e precisa, pois diversos focos podem ser investigados e identificados simultaneamente.

## REFERÊNCIAS

BARCA, J. C; SEKERCIOGLU, Y. A. Swarm robotics reviewed. **Robotica**, v. 31, n. 3, p. 345-359, 2013.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação da Aeronáutica: **PCA 11-217**. Brasília, DF, 2021.

CONTE, C. et al. Using Drone Swarms as a Countermeasure of Radar Detection. **Journal of Aerospace Information Systems**, v. 20, n. 2, p. 70-80, 2023.

DEPARTMENT OF ARMY. **Offense and Defense**. Washington, DC, EUA: [s. n.], v. 1, 2015.

DURING, N. F. Exclusivo - Venezuela Posiciona Mísseis S-300 na Fronteira com o Brasil. **Defesanet**, 22 Fev. 2019. Disponível em: <https://www.defesanet.com.br/inteligencia/noticia/32142/exclusivo-%c2%96-venezuela-posiciona-misseis-s-300-na-fronteira-com-o-brasil/>. Acesso em: 1 Abr. 2023.

HAMBLING, D. Why The Air Force Needs A Cheaper Reaper. **Forbes Aerospace & Defense**, 10 Jun. 2020. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/06/10/why-the-air-force-needs-a-cheaper-reaper/?sh=42ce512f946f>. Acesso em: 6 Abr. 2023.

HAMBLING, D. Israel Rolls Out Legion-X Drone Swarm For The Urban Battlefield. **Forbes Aerospace & Defense**, 24 Out. 2022. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2022/10/24/israel-rolls-out-legion-x-drone-swarm-for-the-urban-battlefield/?sh=2cd958374f49>. Acesso em: 3 Mar. 2023.

HOUSE PERMANENT SELECT COMMITTEE ON INTELLIGENCE. **Performance Audit of Department of Defense Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance**. Washington, Abr. 2012. Disponível em: <https://intelligence.house.gov/sites/intelligence.house.gov/files/documents/isrperformanceaudit%20final.pdf>. Acesso em: 1 Abr. 2023.

LACHOW, I. The upside and downside of swarming drones. **Bulletin of the atomic scientists**, v. 73, n. 2, p. 96-101, 2017.

LIPTAK, A. A US ally shot down a \$200 drone with a \$3 million Patriot missile. **The Verge**, 16 Mar. 2017. Disponível em: <https://www.theverge.com/2017/3/16/14944256/patriot-missile-shot-down-consumer-drone-us-military>. Acesso em: 1 Abr. 2023.

REYNOLDS, C. W. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. In: **Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques**. 1987. p. 25-34.

RICHARDSON, J. The Coming Drone Swarm: Swarming UAVs demonstrate enormous attack potential. But the technology still needs to be proven and trusted.

**Defense Procurement International**, 16 Fev. 2017. Disponível em: <https://www.defenceprocurementinternational.com/features/air/drone-swarms>. Acesso em: 3 Mar. 2023.

SCHARRE, P. How swarming will change warfare. **Bulletin of the atomic scientists**, v. 74, n. 6, p. 385-389, 2018.

SHIRMAN, Y. D. **Computer simulation of aerial target radar scattering, recognition, detection, and tracking**. [S. l.]: Artech House, 2002.

U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE. Perdix Fact Sheet. **The Strategic Capabilities Office**. Virginia, EUA , 2017. Disponível em: <https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/Perdix%20Fact%20Sheet.pdf?ver=2017-01-09-101520-643>. Acesso em: 3 Mar. 2023

VALDUGA, F. Marinha Real Tailandesa adquire veículos aéreos não tripulados Hermes 900. **Cavok Asas da Informação**, 22 Set. 2022. Disponível em: <https://www.cavok.com.br/marinha-real-tailandesa-adquire-veiculos-aereos-nao-tripulados-hermes-900#:~:text=Os%20drones%20tamb%C3%A9m%20ajudar%C3%A3o%20em,compria%20custar%C3%A1%20US%24%20107%20milh%C3%B5es>. Acesso em: 1 Abr. 2023.