

DRONES FPV NA GUERRA DE QUARTA GERAÇÃO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA COM AERONAVES A-29 SUPER TUCANO UTILIZANDO O MODELO NK

Thiago Alves Silva¹, Dino Lincoln Figueirôa Santos², Augusto José Venâncio Neto², Válber César Cavalcanti Roza², Alysson Nascimento de Lucena², Adriano Marinho dos Santos²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil
(thiagosilvaalvess@gmail.com)

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Resumo: Com o aumento do emprego de drones nas guerras convencionais e não convencionais, o presente trabalho analisa o emprego de drones FPV armados na Guerra de Quarta Geração, em substituição a aeronaves convencionais A-29 Super Tucano. Para tal, articulam-se três referenciais: geoestratégia das aeronaves remotamente pilotadas de pequeno porte, mecânica tática dos FPV e modelagem pelo Modelo NK de Kauffman, aplicando a comparação adaptativa para maximizar a interdependência ($K=0$, $K=1$). Ao final, a análise confirma a equifinalidade do emprego de drones FPV para ataques ao solo em substituição às aeronaves de combate tradicionais.

Palavras-chave: Drones FPV; Guerra de Quarta Geração; Modelo NK; Geoestratégia; Sistemas Adaptativos Complexos.

INTRODUÇÃO

Os conflitos armados contemporâneos têm sido profundamente reconfigurados pela disseminação de aeronaves remotamente pilotadas de pequeno porte, especialmente os drones FPV (First-Person View). O registro mais emblemático dessa transformação ocorreu na Guerra russo-ucraniana, iniciada em 2022, na qual drones comerciais adaptados passaram a exercer funções de reconhecimento, apoio de fogo e ataques kamikaze com precisão cirúrgica (Ibrahim, 2024; Kozatskyi, 2023). Esse fenômeno insere-se no quadro teórico da Guerra de Quarta Geração (G4G), caracterizada pela descentralização do poder de combate, pela dissolução das fronteiras entre combatentes e não combatentes e pelo emprego de tecnologias de uso dual por atores estatais e não estatais (Lind, 2004).

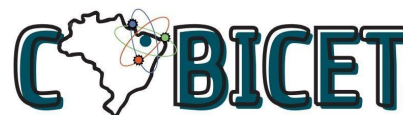
Diante desse cenário, três perspectivas analíticas mostram-se complementares: (i) a geoestratégia dos veículos aéreos não tripulados, que examina como os drones alteram os fatores geográficos clássicos — distância, topografia e vias de comunicação (Rosa et al., 2024); (ii) a mecânica de voo e as capacidades táticas dos drones FPV, com especial atenção ao emprego em altitudes elevadas e ambientes negados ao GPS (Phadtare, 2025); e (iii) a modelagem sistêmica baseada no Modelo NK de Kauffman (1993), que permite descrever matematicamente o comportamento de enxames de aeronaves remotamente pilotadas de pequeno porte (AR3P)

(Assis, 2022). O objetivo deste trabalho é articular essas três perspectivas, demonstrando sua complementaridade para a compreensão das implicações militares e estratégicas dos drones FPV na G4G.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa é de natureza bibliográfica e qualitativa, fundamentada em três fontes primárias: (i) a dissertação de Assis (2022), que aplica o Modelo NK ao emprego bélico de AR3P na Força Aérea Brasileira, comparando enxames de 7 e 22 drones ao perfil de um Embraer A-29 Super Tucano em configuração ar-solo; (ii) o artigo de Rosa et al. (2024), que analisa a geoestratégia dos drones aéreos militares a partir do método geoestratégico de Coutau-Bégaire (2010), com evidências dos conflitos de Nagorno-Karabakh, Ucrânia e Gaza; e (iii) o issue brief de Phadtare (2025), baseado em experiência operacional direta com drones FPV na Linha de Controle (LC) de Ladakh, que descreve a mecânica de voo, os desafios de alta altitude e as lições aprendidas no treinamento de operadores.

O arcabouço teórico integra a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) de Bertalanffy (2010), o Modelo NK de Kauffman (1993) e o conceito de equifinalidade, segundo o qual o mesmo estado final pode ser alcançado por diferentes configurações iniciais. A abordagem dedutiva parte da hipótese de que enxames FPV constituem Sistemas Adaptativos



Complexos (SAC), cujo desempenho segue a dinâmica de paisagens de aptidão previstas pelo Modelo NK. As análises dos três trabalhos são articuladas sinteticamente, sem reprodução dos cálculos originais, buscando a ressonância entre os referenciais e a construção de uma síntese integradora.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Geoestratégia dos drones na G4G

Rosa et al. (2024) identificam três modalidades geoestratégicas de emprego de drones militares: o sensoriamento remoto, que amplia a consciência situacional e reduz a incógnita operacional; a decapitação de lideranças, que neutraliza estruturas de poder independentemente de obstáculos geográficos; e os ataques contra alvos fixos e móveis, que redimensionam o conceito de profundidade estratégica. A geoestratégia é compreendida como “a geografia aplicada ao domínio da estratégia” (Célérier apud Correia, 2018), e o drone, ao operar no domínio aéreo, atenua fatores geográficos histórico-limitantes: a topografia acidentada, o relevo e as grandes distâncias perdem eficácia protetora. No conflito russo-ucraniano, a tridimensionalidade inserida pelos FPV — que podem voar rente ao solo e contornar obstáculos — revelou-se um fator geoestratégico decisivo, ao lado dos efeitos psicotrópicos gerados pela ubiquidade e permanência dessas plataformas (Rosa et al., 2024).

Mecânica tática dos drones FPV

Phadtare (2025) descreve os drones FPV como sistemas de seis graus de liberdade (6DOF) controlados por quatro eixos — arfagem, rolamento, guinada e aceleração — que conferem agilidade superior às aeronaves convencionais e aos mísseis guiados anticarro (ATGM). Enquanto um ATGM segue trajetória predominantemente fixa, o drone FPV pode abortar, redirecionar e atacar por múltiplos ângulos em tempo real, com custo unitário estimado em torno de R\$ 25.000 — fração do valor de um ATGM. A autonomia reduzida (inferior a dez minutos por bateria) e a sensibilidade às condições ambientais são as principais limitações operacionais. No contexto de alta altitude (HAA), ventos imprevisíveis, baixa densidade do ar e temperaturas extremas exigem ajustes de motor-hélice, aquecimento de baterias e posicionamento cuidadoso das antenas VTX. Numa turma de dois meses de treinamento em nível de batalhão, apenas 5 de 20 soldados selecionados alcançaram proficiência de voo, evidenciando a curva de aprendizado íngreme e a necessidade de seleção por aptidão (Phadtare, 2025).

Modelagem pelo Modelo NK e equifinalidade

Assis (2022) adaptou o Modelo NK ao emprego de AR3P, onde N representa o número de aeronaves no enxame e K o grau de interdependência tática, expresso pela quantidade de drones atuando simultaneamente sobre o mesmo ponto focal. O Modelo NK descreve a aptidão média do sistema pela equação $W = (1/N) \sum w_i$, em que w_i representa a contribuição individual de cada AR3P. As simulações demonstraram que a máxima probabilidade de êxito ocorre para $K = 0$ ou $K = 1$, tanto para $N = 7$ quanto para $N = 22$: enxames com baixa interdependência — drones atuando de forma majoritariamente independente sobre alvos distintos — maximizam a eficácia sistêmica. À medida que K aumenta, a rugosidade da paisagem de aptidão cresce e a probabilidade média de êxito decresce. Confirmou-se a equifinalidade: enxames de 7 e 22 AR3P podem produzir efeitos de dano equivalentes ao de um A-29 Super Tucano, validando a hipótese de Bertalanffy (2010) de que estados finais idênticos são alcançáveis por diferentes configurações iniciais.

Síntese integradora

A articulação dos três referenciais revela convergências significativas. Do ponto de vista geoestratégico, os FPV confirmam e ampliam a tese de que a tridimensionalidade redefine os fatores geográficos clássicos (Rosa et al., 2024), ao mesmo tempo em que novos condicionantes ambientais emergem no domínio aéreo de baixa altitude — demandando adaptações doutrinas específicas para cada teatro (Phadtare, 2025). Do ponto de vista sistêmico, o parâmetro N quantifica o poder bruto do enxame, diretamente vinculado à capacidade industrial, enquanto K expressa a escolha doutrinária sobre concentração versus dispersão. A conclusão de que K baixo maximiza a eficácia (Assis, 2022) tem implicação geoestratégica direta: enxames dispersos sobre áreas amplas sobrecarregam sistemas de defesa anti-drone projetados para ameaças sequenciais, produzindo efeitos psicotrópicos amplificados. A equifinalidade, por sua vez, tem implicações defensivas relevantes: se diferentes configurações de enxame produzem efeitos equivalentes, contramedidas eletrônicas baseadas em interferência de frequências específicas podem ser contornadas por mudanças imediatas de configuração tática, exigindo abordagens de defesa em profundidade.

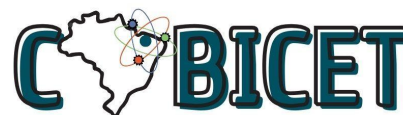


Tabela 1. Síntese comparativa: FPV versus ATGM versus UAV convencional.

Critério	Drone FPV	ATGM	UAV Conv.
Custo unitário	~R\$ 25.000	Centenas de mil	Milhões
Graus de liberdade	6DOF	Trajatória fixa	Autônomo
Função dual ISR+ataque	Sim	Não	Sim
GPS-denied	Vantagem	Neutro	Desvantagem

Fonte: elaborado com base em Assis (2022) e Phadtare (2025).

CONCLUSÃO

A articulação entre geoestratégia, mecânica tática e modelagem NK demonstrou que os drones FPV constituem um fenômeno multidimensional, irreduzível a qualquer das três perspectivas isoladas. A equifinalidade confirmada por Assis (2022) — enxames de AR3P produzindo efeitos equivalentes a aeronaves de combate convencionais — tem implicações diretas para o planejamento operacional: a capacidade de substituição entre configurações aumenta a resiliência do atacante e a imprevisibilidade para o defensor. A regra de K baixo ($K = 0$ ou $K = 1$) como otimizador sistêmico traduz-se, no plano geoestratégico, na superioridade de enxames dispersos sobre defesas baseadas em neutralização sequencial. Os desafios de alta altitude identificados por Phadtare (2025) reforçam que adaptações doutrinas e de treinamento são indispensáveis para que o potencial do Modelo NK se converta em eficácia real.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus. À minha família, pela compreensão e paciência diante de minhas eventuais ausências durante esta jornada. Ao meu orientador, Prof. Dino Lincoln, pela confiança depositada em mim e por acreditar no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Assis, L. D. Aeronaves remotamente pilotadas de pequeno porte: estudo comparativo para emprego bélico na Força Aérea Brasileira. Dissertação (Mestrado). Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2022.

Bertalanffy, L. von. Teoria Geral dos Sistemas. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 2010.

Correia, P. D. P. Manual de Geopolítica e Geoestratégia. Lisboa: Edições 70, 2018.

Ibrahim, A. Employment of FPV drones in Russia-Ukraine war: lessons and future outlook. Modern Diplomacy, 14 dez. 2024.

Kauffman, S. A. The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution. New York: Oxford University Press, 1993.

Kozatskyi, S. FPV drones: weapons that changed the modern war. Militarnyi, 12 out. 2023.

Lind, W. S. Understanding Fourth Generation War. Military Review, v. 84, n. 5, p. 12-16, 2004.

Phadtare, A. S. The Art and Science of Combat Flying of FPV Armed Drones. Issue Brief, n. 469. Nova Deli: Centre for Land Warfare Studies (CLAWS), set. 2025.

Rosa, C. E. V.; Silva, E. A.; Ribeiro, P. B. C. A Geoestratégia dos Drones Aéreos. Revista de Geopolítica, v. 15, n. 1, p. 1-21, 2024.