



**ESCOLA DE PERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2021**

**GIESER AUGUSTO RAUBER DUARTE, Maj Av**

**Desenvolvimento de simulador para situações em nível tático baseado em  
agentes**

Rio de Janeiro  
2021

**ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2021**

**GIESER AUGUSTO RAUBER DUARTE, Maj Av**

**Desenvolvimento de simulador para situações em nível tático baseado em agentes**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação em Gestão Pública com ênfase em Projetos e Processos.

Linha de Pesquisa: Doutrina de Emprego

Orientador: Israel Cordeiro Rocha, Maj Eng

Rio de Janeiro  
2021

GIESER **AUGUSTO** RAUBER DUARTE, Maj Av

**Desenvolvimento de simulador para situações em nível tático baseado em agentes**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no Curso de Aperfeiçoamento  
de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

---

**Janiny** Mancini Rodrigues Silva de Paiva Valente, Maj Med  
EAOAR

---

**Israel** Cordeiro dos Santos Rocha, Maj Eng  
EAOAR

Rio de Janeiro  
2021

## RESUMO

Desde tempos imemoriais os comandantes militares utilizam-se de diversos métodos para lidar com as incertezas inerentes ao combate. Um dos mais antigos e ainda hoje largamente utilizado pelas maiores potências militares do planeta é a simulação. Desenvolvidas em diversos formatos, simulações buscam modelar o conflito militar, permitindo estudá-lo a fundo, na busca por fortalecer a assertividade dos tomadores de decisão. Atualmente, vem sendo adotado por diversas potências militares o paradigma das simulações baseadas em agentes, que é uma forma específica de simulação. Nesse contexto, esse ensaio defende a tese de que é necessário desenvolver um *software* de simulação baseada em agentes, de nível tático, incluindo-o na preparação e emprego do poder aéreo na Força Aérea Brasileira. Para fundamentar este ponto de vista, são abordados dois argumentos. O primeiro é que o uso dessa ferramenta permitirá melhorar diversos processos decisórios relevantes para a Força Aérea. O segundo aponta a possibilidade de evolução da tática aérea para os vetores atualmente em uso, assim como o desenvolvimento de táticas para vetores futuros em desenvolvimento. É também mostrado que a FAB possui capacidade para desenvolver este tipo de *software*. Ao fim, enfatiza-se que são possíveis grandes ganhos em eficiência em diversos processos diretamente ligados ao emprego do poder aéreo, culminando em relevante vantagem estratégica para a FAB e para o Brasil, o que torna indispensável o desenvolvimento e implementação dessa importante ferramenta.

**Palavras-chave:** Simulação. Baseada em agentes. Nível tático. *Military Software*.

## 1 INTRODUÇÃO

“A guerra é reino da incerteza”, como bem pontuou o grande analista militar prussiano Carl Von Clausewitz ao cunhar o termo “a névoa da guerra” (CLAUSEWITZ, 1996), em que cada lado precisa tomar decisões sem ter o conhecimento completo das capacidades e planos de ação do inimigo. Assim, os comandantes militares pautam o processo decisório em análises que avaliam o risco e as chances de sucesso, baseadas nas informações disponíveis, mas permeadas por incertezas.

Para auxiliar nessas análises, os militares empregam há muito tempo simulações de confrontos militares para estudar o inimigo e suas possíveis reações. Comumente chamados de “jogos de guerra”, essas simulações ocorrem das mais diversas formas possíveis. São realizadas em tabuleiros, mapas e por vezes com o uso coordenado de tropas físicas utilizando *lasers* ou armas de *paintball*. E cada vez mais na modalidade da simulação computacional.

O uso de simulações computacionais para avaliar táticas, sequências de ações e emprego de recursos militares no campo de batalha é um procedimento amplamente difundido em forças armadas de vanguarda, sendo um ativo valioso para o desenvolvimento e aprimoramento tático, bem como para a capacitação e treinamento do efetivo (CIOPPA, LUCAS e SANCHEZ, 2004). É especialmente útil para o desenvolvimento de táticas para confrontos entre aeronaves, dados os enormes custos que estariam envolvidos em um número significativo de exercícios reais. E por sua flexibilidade, é adequado para lidar com cenários complexos e em constante modificação, como é característico daqueles envolvendo o emprego do poder aéreo.

Nesse contexto, esse ensaio defende a tese de que é necessário desenvolver um *software* de simulação baseada em agentes, de nível tático, incluindo-o na preparação e emprego do poder aéreo na Força Aérea Brasileira.

Para fundamentar essa tese, serão abordados dois argumentos principais. O primeiro, é que o uso dessa ferramenta permitirá aprimorar diversos processos decisórios relevantes para a Força Aérea. O segundo aponta a possibilidade de evolução da tática aérea para os vetores atualmente em uso, assim como o desenvolvimento de táticas para vetores futuros em desenvolvimento, incluindo a construção de comportamentos ótimos para aeronaves não-tripuladas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 O que é Simulação Baseada em Agentes

Conforme Weiss (1999, tradução nossa), “agentes são objetos de *software* que percebem seu ambiente através de sensores e atuam naquele ambiente”. Segundo Macal e North (2006), as características de um agente são: (1) ser identificável – um objeto de *software* discreto com um conjunto de características e regras que governam seu comportamento e capacidade de tomada de decisões; (2) estar situado – habitar em um ambiente com o qual interage e também no qual interage com outros agentes; (3) ser orientado por objetivos; (4) ser autônomo; (5) ser flexível, com habilidade para aprender e adaptar seu comportamento através do tempo baseado em experiências.

As simulações baseadas em agentes (*ABS – Agent Based Simulations*) usam a ideia de que é possível representar digitalmente o comportamento de entidades que são ativas no mundo, sendo possível representar o comportamento coletivo emergente que resulta das interações de um conjunto de agentes autônomos (FERBER, 1999). O combate entre forças militares possui características que o tornam adequado para simulação baseada em agentes, conforme concluíram (CIOPPA, LUCAS e SANCHEZ, 2004, tradução nossa), ao observar que “forças de combate são compostas por um grande número de partes organizadas em uma hierarquia de comando e controle, que interagem entre si de forma não previsível”.

Neste contexto, simulações militares em nível tático possuem como agentes aeronaves, mísseis, veículos, radares, instalações, tropas entre outros. Estes agentes possuem características próprias. Tomando uma aeronave como exemplo, diremos que ela possui assinatura radar, assinatura infravermelha, derivadas aerodinâmicas, performance de propulsão, capacidades de detecção por radar, armamentos etc. Possui regras que governam seu comportamento, como pilotagem básica da aeronave, padrões de voo em formatura, regras para empregar o armamento (parâmetros de emprego, sequência de disparo na formação) etc.

Os agentes habitam um ambiente que simula a realidade de todos os processos físicos e cognitivos pertinentes à simulação. Possuem objetivos que os orientam no cumprimento de suas missões (como defender uma área, destruir um alvo, escoltar uma aeronave). Podem comunicar-se, tomar decisões, perceber o ambiente e tentar atingir objetivos múltiplos simultaneamente. Se forem dotados de

ferramentas específicas de inteligência artificial, podem adaptar seu comportamento com base em experiências anteriores.

## 2.2 Apoio ao processo decisório

O uso de simulações computacionais para estudar situações militares é bastante disseminado entre as forças armadas de vanguarda em âmbito global. Segundo Cioppa, Lucas e Sanchez (2004, tradução nossa):

“[...] O Departamento de Defesa (DoD) usa modelos de simulação para aprimorar o treinamento e apoiar a tomada de decisões. Esses modelos ajudam a testar planos de guerra contra adversários, influenciar decisões de estruturação das forças (militares), determinar quais equipamentos adquirir, decidir a melhor combinação e uso de armas e explorar possíveis mudanças na doutrina ou táticas”

Conforme citado pelo autor acima, a utilização de uma ferramenta de simulação computacional adequada e completa pode auxiliar de forma significativa em diversos processos decisórios relevantes e diretamente relacionados ao emprego do poder aéreo.

Poder-se citar, por exemplo, a compra ou desenvolvimento de novos equipamentos e armamentos, através da avaliação do impacto desses novos vetores no campo de batalha, por meio do desempenho mensurado através de diversos cenários simulados. A avaliação proporcionada através da análise estatística de diversas rodadas de simulação proporciona aos tomadores de decisão uma assessoria de alta robustez, a qual dificilmente poderia ser obtida de outra forma. Assim, mitiga-se a possibilidade de aquisição ou desenvolvimento de um vetor de pouca serventia no cenário tático, tornando mais categórico o emprego dos recursos do contribuinte e enfatizando o compromisso da Força Aérea na construção de uma força militar moderna e eficiente.

Recentemente, a Marinha dos EUA utilizou simulações baseadas em agentes para auxiliar no desenvolvimento dos requisitos de sua nova geração de embarcações de superfície e de uma força de veículos não-tripulados (CARES, 2002).

Outro exemplo de auxílio no processo decisório seria para apoiar a resolução de deflagrar ou não uma dada missão, avaliando através das simulações sua probabilidade de sucesso e risco envolvido (PUTRE, 1994). Como geralmente não há informações completas sobre o cenário tático com o qual as forças irão se deparar, o

uso de técnicas *multi-start scenario*<sup>1</sup> e abordagem estatística robusta<sup>2</sup> é indicado nesse tipo de situação, permitindo uma avaliação que engloba a média dos cenários possíveis, lidando com as incertezas envolvidas.

Nesse ponto, devemos enfatizar que desenvolver uma ferramenta de simulação baseada em agentes com capacidade para simular a guerra aérea moderna é, sem dúvida, uma tarefa que demanda muitos recursos humanos e financeiros (GÓMEZ-SANZ; GARIJO; PAVÓN, 2005), portanto acessível para poucos países.

Existem algumas soluções de prateleira, como o *framework* FLAMES, da empresa Ternion, ou o STK da AGI. Ambos são utilizados por diversos entes governamentais, incluindo a Força Aérea dos EUA. No entanto, são geralmente utilizados para propósitos específicos, como por exemplo otimizar a campanha de testes de voo do F-35 *Lightning II*. Ainda que use softwares de terceiros, a Força Aérea dos EUA faz questão de ter seus próprios *software* ABS, como o veterano UTSAF (MANOJLOVICH et al., 2003) e o AFSIM (CLIVE et al., 2015), em desenvolvimento.

Há dois problemas fundamentais nos *softwares* ABS de prateleira: o primeiro diz respeito ao custo de suas licenças, o segundo à incerteza da assertividade dos modelos “caixa-preta”. O alto valor a ser pago em licenças poderia, a médio ou longo prazo, cobrir os custos de desenvolvimento de *software* nacional, o que estaria alinhado com a Estratégia Nacional de Defesa, a qual prevê o desenvolvimento de soluções nacionais inovadoras de ferramentas de inteligência artificial e sistemas de apoio à tomada de decisão (BRASIL, 2012). Quanto aos modelos “caixa-preta”, o fato de não conhecer a totalidade das características dos agentes pode levar a conclusões não confiáveis. Por exemplo, ao final de muitas rodadas de simulações de combates BVR (*Beyond Visual Range*) entre o F-5M e o Su-30 percebe-se uma tática que aumentaria as chances de vitória para o F-5M. O que garante que as derivadas aerodinâmicas inseridas pelo fabricante do *software* representam a realidade das aeronaves? A dúvida fragilizaria as conclusões do estudo. Em um *software* próprio é fácil saber onde está a incerteza dos parâmetros. Em um *software* de terceiros, parâmetros incertos podem estar em qualquer lugar.

---

<sup>1</sup> *Multi-start scenario* refere-se a técnicas de otimização nas quais as condições iniciais da simulação são levemente alteradas de forma a permitir o estudo de diversos cenários

<sup>2</sup> Abordagem estatística robusta é um conjunto de métodos que buscam estimadas que não sejam afetadas indevidamente por variações pequenas relacionadas as hipóteses dos modelos

Uma prova de que a FAB é capaz de desenvolver seu próprio *software* ABS é o projeto ASA, em desenvolvimento no IEAv/DCTA. O projeto está completando agora seu primeiro ciclo, no qual uma prova-conceito de combate BVR entre caças F-5M está em fase final de implementação (MARIA, 2018).

### 2.3 Desenvolvimento de táticas e doutrinas

Por meio da utilização de uma ferramenta de simulação computacional, do uso estruturado de inteligência artificial para os agentes da simulação e de métodos estatísticos e de otimização é possível testar e desenvolver novas táticas aéreas, envolvendo manobras e emprego de armamento. Isso pode possibilitar não apenas a evolução da tática aérea para os vetores atualmente em uso, como o desenvolvimento de táticas para vetores futuros em desenvolvimento, incluindo a construção de comportamentos ótimos para aeronaves não-tripuladas.

Em (BASPINAR; KOYUNCU, 2018), é estudado o problema do engajamento um contra um para aeronaves F-16, utilizando agentes autônomos, em diversas condições iniciais diferentes. Os resultados são úteis para o treinamento de pilotos e análises de sobrevivência (de acordo com as condições iniciais do combate).

No trabalho de Connors, Miller e Lunday (2016) é proposta uma metodologia para o estudo do impacto tático de vetores em desenvolvimento, baseada no uso de ABS. É aplicada no desenvolvimento de um novo míssil ar-ar da Lockheed Martin, contribuindo especialmente para o ajuste do comportamento ótimo do míssil.

Há diversos trabalhos focados no desenvolvimento de táticas para aeronaves não-tripuladas, especialmente por parte dos EUA e China. Por exemplo, em (GAERTNER, 2013), é abordado o desenvolvimento de táticas para que um enxame de aeronaves não tripuladas possa se contrapor a um enxame inimigo de aeronaves não tripuladas, realizando um ataque de saturação<sup>3</sup>. Utilizando simulações baseadas em agentes e análise pelo processo markoviano<sup>4</sup> o autor consegue desenvolver

---

<sup>3</sup> Um ataque de saturação é caracterizado pelo emprego maciço e simultâneo de vetores atacantes em quantidade que excede a capacidade defensiva do inimigo

<sup>4</sup> Processo markoviano é um processo estocástico (variáveis aleatórias representando a evolução de um sistema de valores com o tempo) que possui a propriedade de Markov (cadeia de eventos ligados, onde o que acontece em seguida depende apenas do estado atual do sistema)

diversas recomendações táticas e observar comportamentos inesperados que podem sugerir o desenvolvimento de novas estratégias de combate. Um estudo semelhante é desenvolvido em (ZONGXIN et al., 2016), focado em um enxame de aeronaves não tripuladas com a tarefa de supressão das defesas antiaéreas do adversário.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A guerra é o terreno da incerteza. Assim, quem estiver melhor preparado, estudado ao inimigo e a si mesmo levará vantagem. Este ensaio apontou que uma das formas mais utilizadas para preparação das forças armadas modernas é o uso ostensivo de simuladores, dentre os quais destacamos aqueles baseados em agentes (ABS). Ao defender a tese de que é necessário desenvolver um *software* de simulação baseada em agentes, de nível tático, incluindo-o na preparação e emprego do poder aéreo na Força Aérea Brasileira, este autor apontou a versatilidade e potencial de tal ferramenta.

Foi visto que ABS podem auxiliar significativamente em diversos processos decisórios diretamente ligados ao emprego do poder aéreo e, de fato, há diversos exemplos pelo mundo de seu uso nesse sentido. Foi destacada a importância do desenvolvimento nacional desse *software*, para evitar problemas como a incerteza quanto a assertividade dos parâmetros dos agentes e os altos custos de licença, além do desenvolvimento próprio estar mais alinhado com a Estratégia Nacional de Defesa. Foi mostrado ainda, que a FAB possui a capacidade de desenvolver seu próprio *software*, ao citar o projeto ASA, desenvolvido no IEAv/DCTA.

Além disto, foi salientado que ABS também são ótimas ferramentas para o desenvolvimento e validação de táticas e doutrinas, tanto para vetores já em uso quanto para vetores em desenvolvimento. Essa finalidade de uso tem sido amplamente empregada em estudos na China e EUA.

Portanto, a tese apresentada buscou chamar a atenção para uma ferramenta extremamente versátil e poderosa, adequada inclusive para o uso pela Marinha e Exército e que pode gerar um grande ganho de eficiência em diversos processos diretamente ligados ao emprego do poder aéreo. Todos estes incrementos culminam em relevante vantagem estratégica para a FAB e para o Brasil, na medida em que auxiliam significativamente na tomada de decisões em diversas etapas da construção de uma força armada moderna e eficiente.

## REFERÊNCIAS

- BASPINAR, B.; KOYUNCU, E. **Aerial Combat Simulation Environment for One-on-One Engagement**, American Institute of Aeronautics and Astronautics 2018 In: AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference - Kissimmee, Florida, 2018.
- BRASIL. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, 2012. Disponível em: [https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/estado\\_e\\_defesa/END-PNDa\\_Optimized.pdf](https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/estado_e_defesa/END-PNDa_Optimized.pdf) Acesso em: 12 out. 2020.
- CARES, J.R. **The use of agent-based models in military concept development**. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, San Diego, CA, USA, 2002, Vol. 1 pp. 935-939.
- CIOPPA, T.M.; Lucas, T.W.; Sanchez, S.M. **Military applications of agent-based simulations**. In: Proceedings - Winter Simulation Conference, 2004, Vol.1, pp.171-180.
- CLAUSEWITZ, Carl von. **Da Guerra**. São Paulo: Martins Fontes, 1996.
- CLIVE, P., JOHNSON, J.A.; MOSS, M.; ZEH, J.; BIRKMIRE, B., HODSON, D. **Advanced Framework for Simulation, Integration and Modeling (AFSIM)**. In: Proceedings – International Conference on Scientific Computing, 2015, Vol. 1, pp. 73-77.
- CONNORS, C.D.; MILLER, J.O.; LUNDAY, B.J. **Using agent-based modeling and a designed experiment to simulate and analyze a new air-to-air missile**. The Journal of Defense Modeling and Simulation. 2016; Vol 13, pp. 321-330.
- FERBER, J. **Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence** 1st Ed. Boston, Massachusetts: Addison-Wesley, 1999.
- FUSANO, A.; SATO, H.; NAMATAME, A. **Multi-Agent Based Combat Simulation from OODA and Network Perspective**, Uksim 13th International Conference on Computer Modelling and Simulation, Cambridge, 2011, pp. 249-254.
- GAERTNER, U. **UAV Swarm Tactics: An Agent-Based Simulation And Markov Process Analysis**. 2013. Master Thesis (Naval Postgraduate School) - Monterey, California, 2013.
- GÓMEZ-SANZ, J.J.; GARIJO, F.J.; PAVÓN, J. **Estimating Costs for Agent Oriented Software**. In: Proceedings of Agent-Oriented Software Engineering, 6th International Workshop, Utrecht, The Netherlands, July 25, 2005, pp. 218-230.
- MACAL, C.; NORTH, M. **Tutorial on Agent-Based Modeling and Simulation PART 2: How to Model with Agents**, In: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, Monterey, CA, USA, 2006, pp. 73-83.

MANOJLOVICH, J.; PRASITHSANGAREE, P.; HUGHES, S.; CHEN, J.; LEWIS, M. **UTSAF: a multi-agent-based framework for supporting military-based distributed interactive simulations in 3D virtual environments.** In: Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, New Orleans, LA, USA, 2003, Vol. 1 pp. 960-968.

MARIA, E. Um Olho no combate e outro no futuro. **Revista Aerovisão**, ano 45, nº 258, out/nov/dez 2018, p. 30-35.

PUTTRE, M. **Formulating wartime strategy by simulating combat.** Mechanical Engineering, [s. l.], v. 116, n. 2, p. 118, 1994.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**, 2nd Ed. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2003.

WEISS, G. **Multi-Agent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence.** 1a. Ed. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1999.

ZONGXIN, Y.; MING, L.; ZONGII, C.; RUI, Z. **Mission decision-making method of multi-aircraft cooperatively attacking multi-target based on game theoretic framework.** Chinese Journal of Aeronautics, December 2016, Vol 29, Issue 6, pp. 1685-1694.