

AMBIENTE DE SIMULAÇÃO AEROESPACIAL: CAPACIDADES E POTENCIAIS BENEFÍCIOS PARA A INDÚSTRIA DE DEFESA BRASILEIRA

Gabriel Henrique Gobi¹
Pedro Lustosa Rege Botelho²
Thiago Lobo Ferreira³
Thiago Lopes de Araujo⁴
João Paulo de Andrade Dantas⁵

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar ferramentas de simulação militares no panorama internacional e brasileiro, bem como explicar as áreas beneficiadas por este tipo de análise, quer seja no nível tático (avaliar como um alvo será atacado), no âmbito operacional (planejar o emprego de meios aéreos no teatro de operações) ou no contexto estratégico (decidir sobre aquisição de tecnologias para uso militar). Nesse sentido, a plataforma de simulação utilizada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, o AFSIM (*Advanced Framework for Simulation, Integration and Modeling*), é a principal referência que inspirou o Instituto de Estudos Avançados, organização militar de pesquisa da Força Aérea Brasileira, a desenvolver ferramentas próprias brasileiras. O projeto ASA (Ambiente de Simulação Aeroespacial), uma grande iniciativa nacional na criação de um *framework* de simulação, auxilia em diversas problemáticas, no campo prático e teórico. O ASA pode beneficiar processos de aquisição, planejamento e preparo de meios, e contribuir com frentes de pesquisa e de desenvolvimento, como o emprego de Inteligência Artificial para os treinamentos dos pilotos, análises de estratégias de combate e controle de sistemas autônomos de aeronaves, dentro do contexto da Força Aérea Brasileira. Por fim, o presente trabalho tem como objetivo expor os métodos e modelos comuns que podem ser usados para a criação de um ambiente de simulação conjunto multifuncional para atender aos interesses das três forças armadas brasileiras, possibilitando, inclusive, simulações com interoperabilidade entre elas.

Palavras-Chave: simulação, guerra do futuro, planejamento e gestão de recursos de defesa, ambiente de simulação aeroespacial.

¹ 5º ano de Engenharia de Computação no Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

² 5º ano de Engenharia Eletrônica no Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

³ 5º ano de Engenharia Eletrônica no Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

⁴ 5º ano de Engenharia de Computação no Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

⁵ Doutorando em Engenharia Eletrônica e Computação no Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10144605>

1 INTRODUÇÃO

Tanto na imprensa tradicional quanto nas revistas especializadas em tecnologia, têm sido comuns reportagens e análises que tratam da importância que os veículos aéreos não tripulados vêm desempenhando em diversos conflitos atuais, inclusive considerando a operação desses sistemas de modo totalmente autônomo ou semiautônomo. A presença desse tipo de plataforma militar foi relatada em noticiários que acompanhavam operações na guerra civil da Líbia (FELTON, 2021); na disputa entre Azerbaijão e Armênia pelo território de Nagorno-Karabakh (HECHT, 2022); bem como usados pela Ucrânia no combate contra separatistas pró-russos na região do Donbas (LIEBERMANN, 2023) – para citar alguns exemplos de conflitos recentes.

O analista Gerrit De Vynck, do caderno de tecnologia do jornal *Washington Post*, destaca como o emprego de armas autônomas controladas remotamente torna difícil o debate sobre a proibição de Inteligência Artificial (IA) nesse tipo de equipamento e até mesmo inviável a confecção de um tratado em torno desse assunto (DE VYNCK, 2021). Nessa perspectiva, o autor ainda informa que um grupo de especialistas da Organização das Nações Unidas (ONU) enviados para monitorar o conflito armado na Líbia apontou em relatório fortes indícios de que drones das forças armadas da Turquia, capazes de operar sem controle humano, foram utilizados para “caçar” soldados leais ao líder Khalifa Hifter, chefe do Exército Nacional Líbio - grupo irregular que desafia o governo nacional reconhecido pelos países da ONU. No mesmo artigo, também é mencionado que o governo da Turquia monitora sua fronteira com a Síria usando drones autônomos. Segundo o repórter da revista *Scientific American*, Jason Sherman, com mais de 25 anos de experiência em cobertura jornalística nas áreas de formulação de política de defesa, orçamento militar e aquisição de sistemas de armas, o Pentágono definiu que um dos campos-chaves a ser perseguido para inovação em tecnologias de defesa é IA voltada para enxames de drones (SHERMAN, 2022). A subsecretária de defesa para pesquisa e engenharia, do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD), Heydiu Shyu, mencionada na reportagem, publicada em 14 de fevereiro de 2022, esclarece que o principal tipo de cenário vislumbrado para o uso militar dessa tecnologia é quando há necessidade de combater em áreas muito bem defendidas. No mais, reforça a importância da confiabilidade da IA que vai ser implantada nesse tipo de plataforma de combate. Além das possibilidades militares direcionadas para o setor de Defesa, o Dr. John A Sauter, que já trabalhou em vários projetos da *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA), relaciona na revista *Scientia* várias aplicações não relacionadas à Defesa que envolvem enxame de drones:

XVIII Congresso Acadêmico sobre Defesa Nacional

mapeamento de incêndio florestal; monitoramento de eventos climáticos extremos, prevendo a severidade e a direção com que uma tempestade vai evoluir; uso em operações de busca e salvamento; monitoramento de colheitas agrícolas; e acompanhamento do tráfego de veículos nas grandes cidades (SAUTER, 2021).

Outra demanda militar existente desde que os primeiros exércitos foram formados é a antecipação de possíveis resultados dos engajamentos entre forças oponentes. Embora a utilização de computadores neste contexto não seja recente, nos últimos anos, com o aumento da capacidade dos meios computacionais e a evolução da IA, as possibilidades expandiram-se consideravelmente, tornando este desejo antigo em uma imposição para forças armadas que buscam atuar de forma eficiente e eficaz no contexto internacional.

Dentro dessa necessidade, no âmbito do Ministério da Defesa, adota-se atualmente como metodologia de planejamento estratégico o Planejamento Baseado em Capacidades (PBC). Essa metodologia prevê uma etapa de avaliação diagnóstica das capacidades atuais, uma de definição de metas para as capacidades, e outra de identificação de suficiências e insuficiências. Além de avaliar probabilidades de combate em um cenário de guerra, a metodologia ajuda a mensurar os custos necessários envolvidos no dimensionamento de recursos de um combate.

No entanto, é necessário que haja uma tecnologia de simulação computacional para reduzir os custos necessários tanto para o desenvolvimento de agentes autônomos quanto para a avaliação e previsão de cenários de guerras. O treinamento de um agente autônomo exige uma grande quantidade de dados que seriam inviáveis de serem adquiridos diretamente de situações reais. Na mesma linha, o avanço da tecnologia possibilita que vários cenários sejam testados em um tempo muito menor do que se fossem avaliados um a um pela metodologia PBC.

Nesse sentido, o artigo explana os potenciais dessa tecnologia ao primeiro explicar o conceito de simulação, essencial para compreensão do estado-da-arte no que tange às ferramentas internacionais e a posição atual das capacidades brasileiras para, ao final, apresentar o Ambiente de Simulação Aeroespacial (ASA) e suas possibilidades. Assim, o artigo tem como objetivo revisar, analisar e apresentar as principais ferramentas de simulação militar existentes no mercado e nas forças armadas, trazendo o ASA, um *framework* de simulação aeroespacial desenvolvido pelo Instituto de Estudos Avançados (IEAv), organização militar da Força Aérea Brasileira (FAB), como possível solução.

2 O CONCEITO DE SIMULAÇÃO

Do exposto anteriormente, faz-se necessário, para fins de compreensão, a definição do conceito de simulação utilizado no presente trabalho, bem como as subdivisões desse conceito. Simulação, segundo definido pelo Glossário das Forças Armadas - MD35-G-01, constitui a caracterização de um evento ou sequência de eventos interdependentes por meio de uma modelagem que mimetize de forma fidedigna o comportamento do cenário de interesse. Outra forma de definição abordada no glossário compreende simulação como uma técnica de treinamento militar a fim de modelar ações praticadas pela operação de determinados recursos (equipamentos e efetivo), com utilização ou não de tecnologia da informação como suporte a fim de prover caráter verossímil (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2016).

Uma vez definido o que é simulação no contexto das Forças Armadas (FA), é possível subdividir esse conceito em três modalidades: simulação viva, virtual e construtiva. A simulação viva emprega recursos (agentes e equipamentos) reais, com engajamento simulado para fins de treinamento. A simulação construtiva toma a direção oposta, tendo agentes, equipamentos e engajamentos simulados. Por fim, a simulação virtual utiliza agentes reais com equipamentos e engajamentos simulados (LOMBARDI, 2019).

3 FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO INTERNACIONAIS

Ambientes de simulação para fins militares já estavam em desenvolvimento pouco mais de uma década depois da revolução dos microprocessadores nos anos 70 (MOORE, 1997). Por exemplo, a *Joint Theater Level Simulation (JTLS)* começou seu desenvolvimento em 1983 por meio de investimentos do governo americano e ainda é utilizada como suporte em treinamentos militares (JTLS-GO, 2021).

No entanto, para os fins deste trabalho, o *Advanced Framework for Simulation, Integration and Modeling (AFSIM)* é o caso mais interessante por se tratar de uma iniciativa mais recente que, entre 2003 e 2020, recebeu 50 milhões de dólares em investimento, com mais 6 milhões anuais previstos para os anos seguintes (WEST; BIRKMIRE, 2020). A confiança do *Air Force Research Laboratory (AFRL)* no retorno sobre o investimento é justificada com base na capacidade da ferramenta de gerar cenários polivalentes, desde submarinos até espaciais, com a inclusão de guerra eletrônica e cibernética em modelamento de resolução múltipla. (BIRKMIRE, 2021).

XVIII Congresso Acadêmico sobre Defesa Nacional

De fato, o *framework* suporta o desenvolvimento de projetos conceituais ao permitir a análise da efetividade das ideias no nível de missão (CLIVE, 2015). Ademais, as simulações no nível de engenharia garantem a integração e a performance das arquiteturas concebidas. Por fim, jogos de guerra simulados possibilitam a previsão do impacto de novas tecnologias no nível de campanha e dos possíveis problemas que emergem com a aplicação em larga escala (BIRKMIRE, 2021).

A priori, as economias em pesquisa e desenvolvimento obtidas pela prematura identificação dos requerimentos de projeto e dos problemas de design já seriam fundamento suficiente para o emprego do AFSIM (WEST; BIRKMIRE, 2020). Além disso, modelagem, simulação e análise são essenciais para o desenvolvimento de agentes autônomos e, portanto, com o suporte para aprendizado de máquina, a ferramenta mostra-se ainda mais interessante ao facilitar desenvolvimentos e testes, seja de algoritmos, seja de capacidades autônomas (BIRKMIRE, 2021).

Mantendo-se o escopo na vanguarda do desenvolvimento técnico-científico de ambientes de simulação, cabe mencionar o projeto *Anytime Reasoning and Analysis for Kill-Web Negotiation and Instantiation across Domains* (ARAKNID) (DETERRENCE, 2022). De autoria da empresa *Raytheon Intelligence and Space* como parte do programa *Adapting Cross-Domain Kill-Webs* (ACK) de iniciativa da DARPA, o ARAKNID visa auxiliar a tomada de decisão ao fornecer, para os operadores do sistema, uma série de cursos de ação - *courses of action* (COA) - sugeridos em tempo real com base nos dados, coletados por sensores nos equipamentos, e técnicas de IA.

Realmente, o projeto ACK e o ARAKNID vão ao encontro da visão estratégica do “*Mosaic Warfare*” (MOSAIC) conceituada pelo departamento (DARPA, 2018). O MOSAIC abrange a necessidade de utilizar-se os diversos sistemas de operação em monitoramento das FA não como fragmentos autônomos, mas sim como peças de um mosaico as quais se comuniquem e promovam novos COAs até então inexplorados.

Sob a ótica MOSAIC, entende-se que, a despeito da evolução do sistema em si - tal como o aumento do poderio bélico de uma aeronave - faz-se necessário a comunicação entre as diversas vertentes de um combate de forma a prover COAs integrados e, conseqüentemente, de maior adaptabilidade. Nesse viés, aumenta-se a capacidade de resposta às ameaças e robustez no cumprimento da missão, sendo, por conseguinte, a abordagem MOSAIC crucial e evidenciada pela DARPA como necessária para os projetos desenvolvidos e em desenvolvimento.

XVIII Congresso Acadêmico sobre Defesa Nacional

Em resumo, no palco contemporâneo da guerra, onde armas autônomas já exercem influência significativa em conflitos tangíveis (DE VYNCK, 2021), os ambientes de simulação se tornam indispensáveis para a expansão do domínio tecnológico futuro (BIRKMIRE, 2021). Inquestionavelmente, os aportes financeiros direcionados para plataformas como AFSIM e ARAKNID, bem como para tecnologias comerciais disponíveis no mercado – incluindo o framework FLAMES (FLAMES, 2022), o simulador SWORD (MASA SWORD, 2023) e os ambientes sintéticos VR-Forces (VR-FORCES, 2023) – sublinham a urgência de investimentos em modelagem, simulação e integração, fatores vitais para o fortalecimento de qualquer força armada.

4 PANORAMA BRASILEIRO

Do arcabouço apresentado, ressalta-se que a utilização de simulações constitui uma demanda das FA nas últimas décadas. Uma vez que se tem um *software* implementado e capaz de prover o treinamento necessário para cenários de engajamento em combate no escopo das simulações construtivas e virtuais consegue-se reduzir drasticamente o gasto de recursos, demandando infraestrutura computacional e manutenção a despeito de equipamentos reais.

Analisando o escopo do Exército Brasileiro, convém ressaltar a tentativa de desenvolvimento de softwares construtivos no âmbito nacional justamente para sanar a demanda em questão, os quais visavam ser⁴ aplicados pelo Comando de Operações Terrestres (COTER) para disposição e definição do plano de ação das tropas. Dessas tentativas, o autor salienta o pioneirismo no desenvolvimento de simuladores construtivos por meio da cronologia de utilização iniciada pelo SPADA (década de 90), aprimorando-se com o Guarani (2000-2004), o SISTAB (2005-2012) e o SABRE (2005-2011) (FAN, 2016).

No cenário atual, a fim de apoiar a Escola de Comando e Estado-Maior do Exército (ECEME) (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2017) no planejamento de operações de Jogos de Guerra simulados, o COTER utiliza o software Combater de simulação construtiva de autoria nacional por meio da empresa RustCon.

[...] O Combater pode ser utilizado em exercícios de nível Unidade, Brigada e Divisão. Permite simular operações de combate nos diversos ambientes operacionais do território brasileiro, em exercícios que duram vários dias. Hoje em dia, tais exercícios são realizados nos Centros de Adestramento e Simulação de Posto de Comando (CAS/PC). [...] (FAN, 2016)

XVIII Congresso Acadêmico sobre Defesa Nacional

Dentro da Marinha do Brasil, cabe mencionar o Sistema Simulador de Guerra Naval (SSGN), sendo de autoria nacional por meio do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV). O SSGN apresenta semelhanças com o Combater no viés de caracterizar-se como um simulador construtivo de apoio à decisão e execução de Jogos de Guerra, sendo utilizado pela Escola de Guerra Naval (EGN) no contexto de engajamento naval e aeronaval simulado (MARINHA DO BRASIL, 2018).

[...] Empregando uma interface essencialmente gráfica, o SSGN retrata eficazmente diversos aspectos do cenário tático real, a capacidade logística empregada, os resultados dos engajamentos entre unidades, detecção dos meios, informações geográficas e condições climáticas. Esta funcionalidade permite aos jogadores coletar rapidamente um grande número de informações para apoio à decisão, possibilitando o aprimoramento profissional dos partícipes. [...] (MARINHA DO BRASIL, 2018)

O SSGN começou a ser utilizado em 2003 e sua implementação substituiu o Sistema Computacional de Jogo Versão 1 (SCJ1), de autoria do próprio CASNAV. O SCJ1, datado de 1985, configura-se como o primeiro simulador de Jogos de Guerra de autoria sul-americana.

Ressalta-se que o SSGN se configura como um simulador construtivo com enfoque em abordar os diferentes COAs em cenários de guerra naval, de forma a servir como suporte no contexto de Jogos de Guerra envolvendo Forças Navais e Aeronavais. Nesse viés, uma análise comparativa com o ASA permite salientar as seguintes diferenças: o ASA propõe uma ampliação do escopo apresentado no sentido de fornecer simulação construtiva e virtual, bem como ampliação dos cenários de interesse para além do panorama naval.

No contexto da FAB, utiliza-se o Sistema MARTE, de autoria e manutenção por parte do Centro de Computação da Aeronáutica de São José dos Campos (CCA-SJ), possibilitando a elaboração de engajamentos aéreos simulados no contexto de Jogos de Guerra elaborados pela Escola de Comando e Estado Maior da Aeronáutica (ECEMAR) (FORÇA AÉREA BRASILEIRA, 2018).

Por fim, a necessidade e a importância das simulações no contexto das FA podem ser vistas por meio dos esforços integrados das três forças ao promoverem anualmente o exercício de simulação construtiva AZUVER por meio da participação dos alunos da EGN, ECEMAR e ECEME (FORÇA AÉREA BRASILEIRA, 2018). Nesse viés, o AZUVER configura-se como o maior exercício de engajamento simulado de operações militares no escopo nacional, demandando alto grau de cooperação a fim de atingir o propósito estratégico estabelecido e, nesse sentido, configura-se também como maior corroboração da demanda vigente por mecanismos de simulação no contexto das FA brasileiras.

[...] O Exercício AZUVER é dividido em três etapas. Na primeira delas, de forma conjunta com os alunos das três escolas, realiza-se o Exame de Situação, no qual

são propostas as Linhas de Ação para o cumprimento da missão. (...) Na segunda etapa, denominada Planos e Ordens, é elaborado o Plano Operacional, também conhecido como “Plano de Campanha”, o qual detalha e regula as operações militares, no âmbito do Teatro de Operações. Finalmente, no âmbito de cada Força Componente, desencadeia-se o planejamento tático, e, em seguida, a última etapa do AZUVER, chamada de Controle da Operação Planejada. Nessa fase, em cada escola, ocorre a simulação dos engajamentos propriamente ditos, por meio de Sistemas de Simulação de Guerra. [...] (FORÇA AÉREA BRASILEIRA, 2018).

5 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO AEROESPACIAL

Ainda que cada força tenha já alguma solução de simulação construtiva, todas sofrem de algumas carências. De certa maneira, alguns sistemas, como o SSGN, por exemplo, já podem ser chamados de sistemas legados pelas tecnologias que foram escolhidas durante sua implementação, o que dificulta sua extensão e manutenção de *software*. Outro aspecto importante é a dificuldade de aquisição de dados por esses sistemas, visto que a maioria se baseia puramente em interfaces gráficas para o usuário.

Nesse contexto, dentro do IEAv percebeu-se a ausência de uma figura na FAB responsável por centralizar e coordenar as ações nesse domínio, o que acaba por favorecer a busca por soluções comerciais pontuais, sem quaisquer perspectivas de integração e interoperabilidade.

O Ambiente de Simulação Aeroespacial (ASA) (DANTAS, 2022) surgiu como uma resposta à necessidade de prover a FAB de ferramental nacional relacionado ao campo da Modelagem e Simulação, a fim de avaliar cenários operacionais de interesse, antever prováveis resultados e apoiar o processo decisório em todos os níveis: tático, operacional e estratégico.

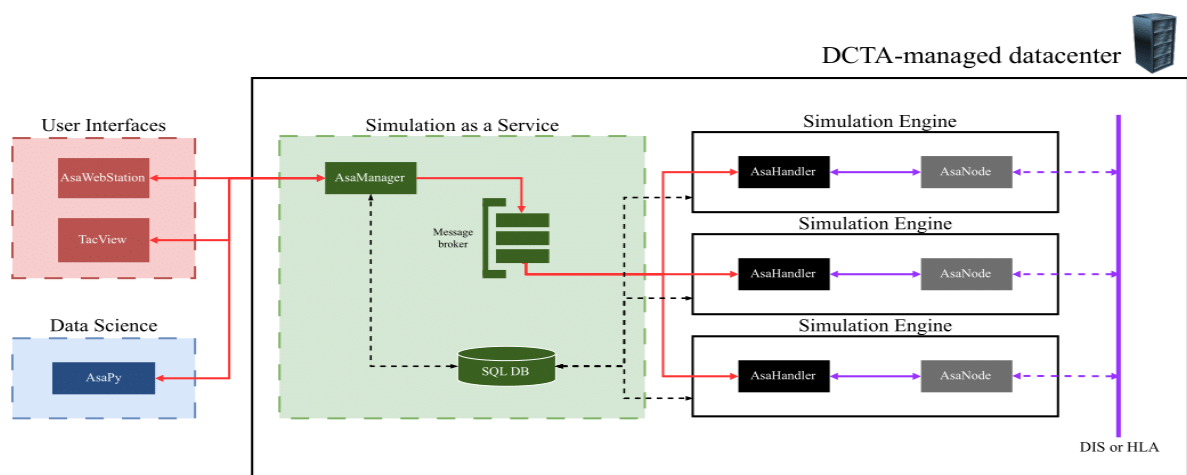
O projeto visa à concepção de uma arquitetura de sistema que permita a realização de simulações construtivas e virtuais a partir de um ambiente computacional único. A ideia central é estabelecer um *framework* para acomodar o maior número possível de demandas relacionadas à simulação no setor de defesa, favorecendo o desenvolvimento incremental e a integração de novas funcionalidades e modelos, inclusive de outras FA além da FAB.

A solução proposta utiliza como plataforma de simulação base o software open-source *Mixed Reality Simulation Platform* (MIXR) (MIXR, 2021), projeto desenvolvido para auxiliar no desenvolvimento de aplicações de simulações robustas, escaláveis, construtivas e distribuídas. O MIXR começou a ser desenvolvido há mais de uma década no *Air Force Institute of Technology* (AFIT) da força aérea americana foi eleito como máquina de simulação do ASA pelos seguintes motivos: provê uma estrutura já estabelecida para a inserção de modelos físicos, principalmente no domínio aeroespacial; possui código aberto; e é

customizável. O ASA estende as possibilidades do MIXR, adicionando elementos extras para criar um ambiente de trabalho otimizado para desenvolvedores e analistas.

A Figura 1 mostra resumidamente a arquitetura do ASA. Seu design é dividido em três módulos: AsaSimulation, parte responsável por criar e executar as simulações utilizando o MIXR como base, AsaUserInterfaces, que provê ferramentas para a criação de cenários operacionais, visualização e execução em lotes, e AsaDataScience, que permite o pós-processamento e análises dos dados gerados nas execuções.

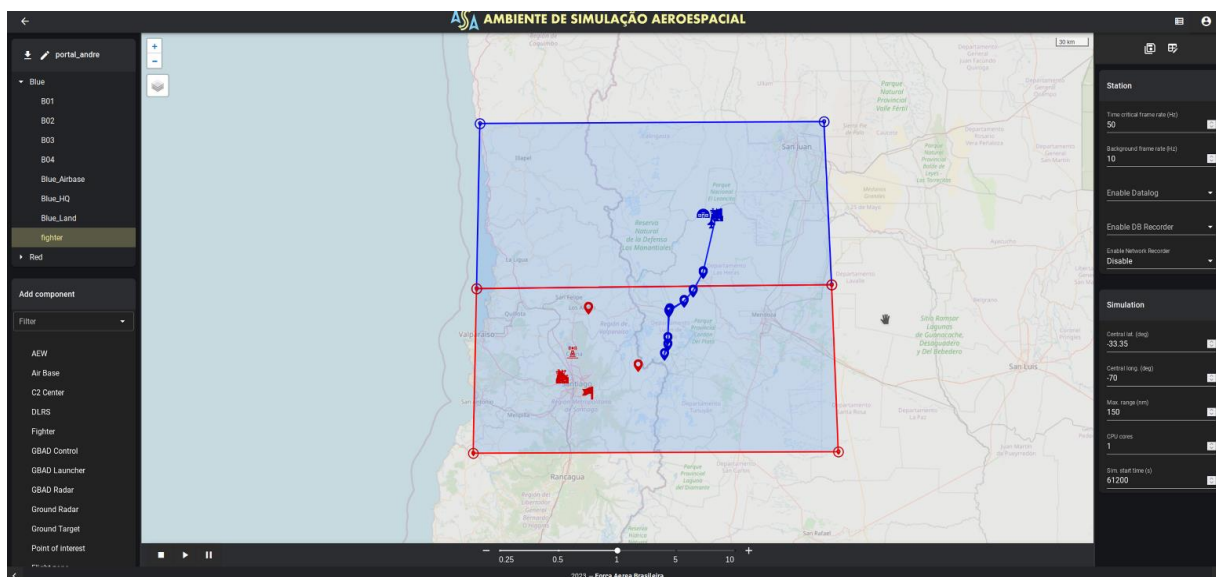
Figura 1 - Diagrama de arquitetura do ASA modularizado.



Um aspecto interessante da arquitetura proposta é a utilização de protocolos DIS (*Distributed Interactive Simulation*) ou HLA (*High Level Architecture*) para a comunicação entre as instâncias de simulação. O uso desses protocolos fornece provisão para que outras ferramentas e modelos de simulação que sigam o protocolo sejam integrados facilmente ao *framework*, ainda que o foco do ASA seja de que esses modelos sejam implementados no próprio sistema.

A montagem e configuração dos cenários são realizadas por meio de uma interface web chamada *ASAWebStation*. Por meio dela, o usuário é capaz de acrescentar diferentes modelos, definir as zonas de voo e missões e comandar a execução das simulações. A Figura 2 mostra como a interface é apresentada ao usuário durante a criação de um cenário. Dentre os modelos já implementados, tem-se base aéreas, Centros de Comando e Controle (C2C), radares de solo, alvos terrestres, antiaéreas, aeronaves de caça e pilotos capazes de executar manobras defensivas e de engajamento, fazer o emprego de armamentos e coordenar ações conjuntas em voo de ala.

Figura 2 - Criação de cenário de guerra via AsaWebStation.



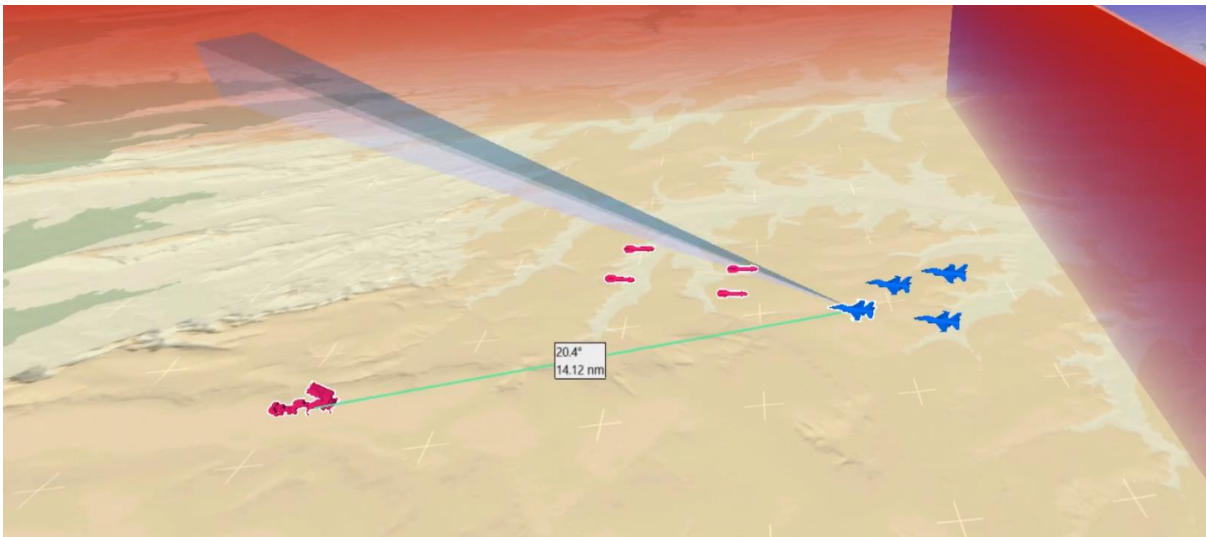
Uma vez executada a simulação, os dados, salvos em um banco de dados dedicado, podem ser analisados pela AsaPy, uma aplicação em ciência de dados capaz de analisar a missão para a obtenção de *insights* sobre o planejamento realizado. Outra possibilidade é a de reprodução dos resultados em uma plataforma de visualização 3D. Atualmente, tem-se utilizado o Tacview (TACVIEW, 2023), uma ferramenta comercial de análise de missões de voo. A Figura 3 mostra um cenário da execução de uma missão com modelos especializados em combate com mísseis solo-ar (SAM).

Dentro da gerência do projeto ASA, o Estado-Maior da Aeronáutica (EMAER) se estabelece como principal cliente. Após o processo de análise de requisitos em engenharia de software, convencionou-se a seguinte sentença para comunicar sua necessidade de maneira resumida:

O EMAER, órgão responsável pelo planejamento estratégico do Comando da Aeronáutica, necessita compreender os cenários aeroespaciais e suas consequências para o efetivo emprego do Poder Aeroespacial, a fim de dimensionar qualitativamente e quantitativamente a Força Aérea para os desafios futuros.

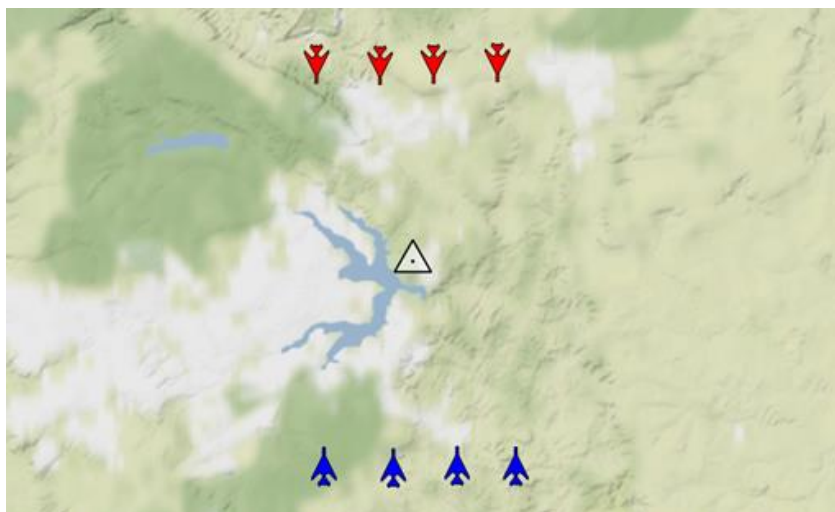
O EMAER, seguindo orientações do Ministério da Defesa (MD), adotou o PBC como sistemática de planejamento estratégico no âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER). Diante disso, o EMAER deseja incorporar ferramentas de análise ao PBC, nomeadamente, as simulações construtivas, que possibilitem reduzir, tanto quanto possível, o nível de subjetividade na avaliação das capacidades, pautando-as cada vez mais em métodos científicos.

Figura 3 - Instante de simulação no ASA em uma missão com uso de SAM.



As ferramentas em desenvolvimento serão entregues na forma de simulação como serviço pela disponibilização por ambiente *web* e execução das simulações em nuvem para demonstrar casos de uso especificados entre o IEAv e o EMAER. Entre eles, uma situação tática que resulte em engajamentos de combate aéreo além do alcance visual - *Beyond Visual Range (BVR) Air Combat*, como a exemplificada na Figura 4, por exemplo.

Figura 4: Combate BVR 4x4.



Apesar da especificidade dos modelos sendo atualmente desenvolvidos, em virtude da necessidade de entrega do projeto, o ASA foi desenvolvido, desde sua concepção como um *framework* de simulação, que permite a criação, execução e análise de simulações. A escolha do formato de simulação como serviço é justificada por ser um modelo econômico e viável,

XVIII Congresso Acadêmico sobre Defesa Nacional

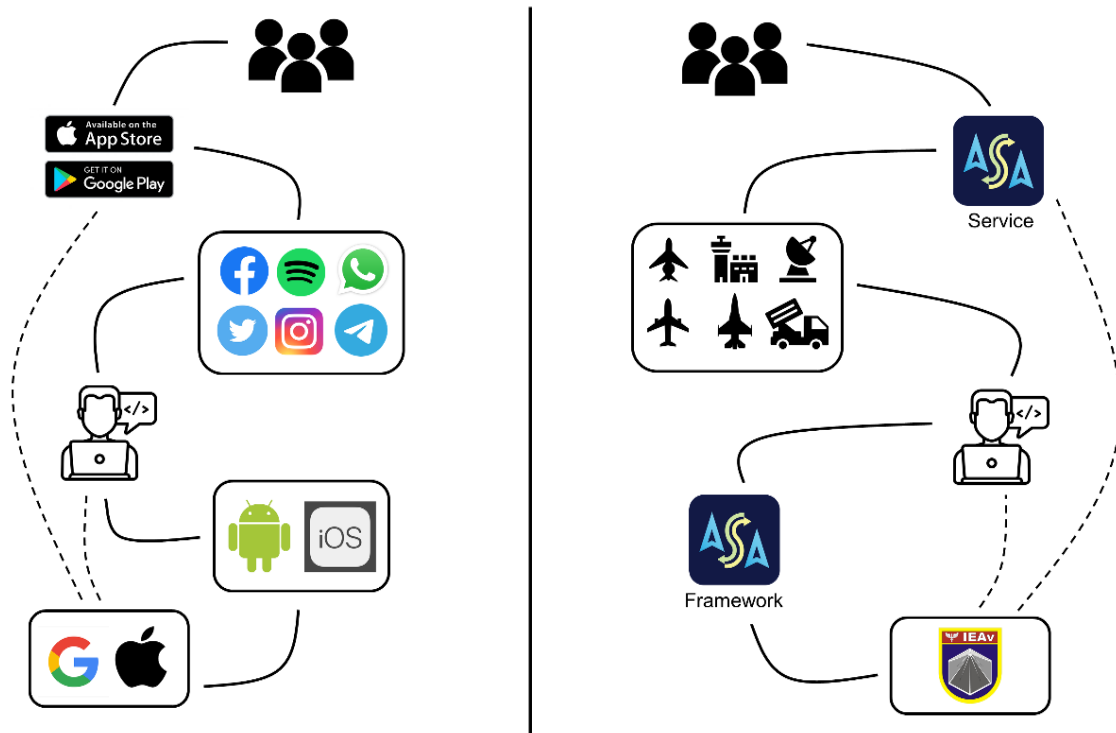
quando se pensa em ser disponibilizado para outras FA, uma vez que não se faz necessária a contratação de uma empresa para desenvolver nem há a exigência de que o sistema fique limitado a um ou poucos computadores/servidores. Com esse serviço sendo mantido por um órgão dentro das FA, responsável por dar manutenção e mantê-lo com alta disponibilidade, diferentes usuários nos setores militar, acadêmico e industrial podem ser beneficiados, sem a necessidade de instalação local e de aquisição de infraestrutura. Torna-se então mais fácil de distribuir o *software*, de dar suporte aos usuários e de adotá-lo como solução comum. Uma vez consolidado, esses diferentes usuários se tornam uma comunidade de desenvolvimento e pesquisa em simulações construtivas, podendo aliar esforços através de uma mesma plataforma.

A Figura 5 demonstra por meio de uma comparação com empresas de tecnologia como o ciclo de vida do projeto ASA está sendo concebido. Da mesma forma que empresas como a Google e a Apple desenvolveram sistemas operacionais para mobile, Android e iOS, o ASA se dispõe a desenvolver um *framework* de simulação. A partir disso, provendo meios e suporte a desenvolvedores, tanto as empresas como o ASA fomentam o desenvolvimento de aplicações e modelos em cima da infraestrutura tecnológica fornecida. Essas aplicações, disponibilizadas em serviços em nuvem, serão, então, utilizadas por usuários finais para diferentes fins.

No momento, dentro do contexto da FAB, uma vez finalizada a entrega ao EMAER, o projeto ASA começará a desenvolver aplicações de exemplo para as possíveis partes interessadas que poderão se beneficiar de todo o serviço. As próximas linhas de desenvolvimento, dentro do IEAv, envolverão a construção de um *framework* sobre o ASA voltado para o treinamento de agentes de IA utilizando aprendizado por reforço e o desenvolvimento de simuladores que unam o paradigma de simulação virtual e construtiva, possibilitando que um piloto real treine em um *cockpit* contra agentes construtivos simulados.

Sendo uma abordagem comum em projetos de *software* a escolha do formato *opensource*, em que a colaboração de pessoas externas é bem-vinda, o ASA adota alguns princípios em comum. A ideia é que o projeto sirva como uma plataforma de cooperação com a base industrial de defesa, pensando no modelo triplo hélice (governo, indústria e academia). Assim, será permitida a cooperação entre diferentes setores da economia nacional ao mesmo tempo que evita o monopólio por parte de uma empresa.

Figura 5: Comparativo esquemático entre o ciclo de vida do ASA e de outros serviços de tecnologia.



6 APLICAÇÕES

O ASA já foi utilizado no desenvolvimento de trabalhos acadêmicos no contexto de defesa relacionados a diferentes áreas como IA, *machine learning*, *data science* e otimização.

O framework já foi utilizado, por exemplo, para a modelagem de uma ferramenta de apoio a decisão ao piloto em cenários BVR baseada em aprendizado supervisionado que é capaz de medir a qualidade de um engajamento - a sequência de manobras ofensivas realizadas por um piloto para engajar um alvo. Tal ferramenta pode ser utilizada para a avaliação de táticas e em discussões de *debriefing* de voo na FAB (DANTAS, 2021).

Outra aplicação de interesse foi a integração da infraestrutura e tecnologia do ASA em uma pesquisa de otimização de formações táticas de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), considerando informações dos inimigos como distância de ataque em um cenário de combate BVR. O trabalho conseguiu encontrar dentre algumas opções qual a melhor formação de combate que um esquadrão aéreo deveria se aproximar de outro esquadrão inimigo em “formação de linha”, sendo um estudo de alto valor para órgãos maiores responsáveis por formação e preparação em estratégias de combate (DE LIMA FILHO, 2022).

No momento, a principal pesquisa que está sendo conduzida envolve o treinamento de

agentes inteligentes por aprendizado por reforço. Havendo bons resultados, será possível conduzir combates máquina vs. humano semelhante ao que foi experienciado no *Alpha Dogfight Trials* conduzido pelo DARPA.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo cumpriu com o seu objetivo de revisar, analisar e apresentar as principais ferramentas de simulação militares existentes no mercado, tendo como enfoque o ASA, um framework de simulação aeroespacial desenvolvido pelo IEAv.

Neste estudo, abordamos a relevância e o papel dos ambientes de simulação em uma perspectiva ampla. Além disso, examinamos a integração desses ambientes com tecnologias emergentes, como veículos autônomos e IA, e como essa combinação pode contribuir para o planejamento estratégico das forças armadas. A discussão passou pela análise das principais ferramentas de simulação militar disponíveis no cenário internacional, culminando em uma avaliação detalhada das opções presentes no contexto nacional.

Esse levantamento realizado serviu como embasamento para alcançar o objetivo de se discutir a importância de ambientes de simulação e de identificar as demandas nas quais os segmentos operacionais das FA, sobretudo as brasileiras, podem ser beneficiados com a realização de simulações e/ou análises de cenários militares.

Assim, foi possível perceber através das análises realizadas uma grande carência dessas tecnologias. Entre as deficiências detectadas nas opções disponíveis no mercado se encontram elementos como falta de segurança, falta de autonomia, baixa personalização para as especificidades de cada organização e baixa interoperabilidade entre ambientes diferentes. Essas carências são um problema considerável na capacidade de se quantificar e avaliar operações de combate e logística nas suas inúmeras nuances, como planejamento, estratégias e utilização de recursos.

Todos esses pontos trazidos no artigo em questão apontam como resultado um grande potencial de aplicações e possibilidades na adoção do ASA pelas FA e empresas de defesa do país como plataforma de simulação comum a ser utilizada, apresentando benefícios tanto para a continuidade do desenvolvimento, melhoria e manutenção do projeto quanto para essas organizações brasileiras.

Apesar deste artigo não ter como objetivo apresentar e aprofundar nas pesquisas e desenvolvimentos técnicos realizados dentro do contexto do projeto ASA (o que poderá ser

XVIII Congresso Acadêmico sobre Defesa Nacional

abordado em trabalhos futuros), este artigo listou as principais aplicações da ferramenta no contexto do desenvolvimento de pesquisa para defesa. Como próximos passos é pretendido explorar e sanar eventuais gargalos os quais atrapalhem o ASA a ser adotado pelas partes de interesse miradas e já citadas aqui.

Concluindo, o artigo focou em trazer um panorama geral sobre a importância da utilização de ambientes de simulação e suas possibilidades de aplicações, além de expor e se fazer conhecido o potencial inexplorado do ASA para a indústria de defesa e as forças armadas brasileiras.

REFERÊNCIAS

BIRKMIRE, Brian. **The Advanced Framework for Simulation, Integration, and Modeling (AFSIM)**. 27 abr. 2021. Disponível em: <https://www.wpafb.af.mil/News/Art/igphoto/2001709929/>. Acesso em: 22 abr. 2023.

CLIVE, Peter D. et al. Advanced Framework for Simulation, Integration and Modeling (AFSIM). **Proceedings of the international conference on scientific computing (CSC)**. The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp), 2015. p. 73.

DANTAS, Joao et al. ASA: A Simulation Environment for Evaluating Military Operational Scenarios. **arXiv preprint arXiv:2207.12084**, 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2207.12084>. Acesso em: 22 abr. 2023.

DANTAS, Joao et al. Engagement Decision Support for Beyond Visual Range Air Combat. **IEEE**, 2021. Latin American Robotics Symposium (LARS), 2021, Simpósio Brasileiro de Robótica (SBR), 2021, e Workshop on Robotics in Education (WRE), 2021. p. 96–101.

DARPA Tiles Together a Vision of Mosaic Warfare. [S. l.], 24 set. 2018. Disponível em: <https://www.darpa.mil/work-with-us/darpa-tiles-together-a-vision-of-mosaic-warfare>. Acesso em: 2 jun. 2023.

DETERRENCE via faster decision-making: Raytheon BBN demonstrates AI software during NORAD exercise; helps give commanders an advantage in connected battlespace. **Raytheon Intelligence & Space**, [S. l.], 14 fev. 2022. Disponível em: <https://www.raytheonintelligenceandspace.com/news/2022/02/14/deterrence-faster-decision-making>. Acesso em: 2 jun. 2023.

DE LIMA FILHO, Geraldo et al. Optimization of Unmanned Air Vehicle Tactical Formation in War Games. **IEEE Access** **10**, 2022.

DE VYNCK, Gerrit. The U.S. says humans will always be in control of AI weapons. But the age of autonomous war is already here. **Washington Post**, Washington, 7 jul. 2021. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/technology/2021/07/07/ai-weapons-us-military/>. Acesso em: 22 abr. 2023.

XVIII Congresso Acadêmico sobre Defesa Nacional

EXÉRCITO BRASILEIRO. COTER. COTER Apoia ECEME com o Sistema de Simulação. **Boletim Interno do COTER**, ano 169, Rio de Janeiro, 12 set. 2017. Disponível em: <http://www.coter.eb.mil.br/index.php/noticias-do-coter/545-coter-apoia-eceme-com-o-sistema-de-simulacao#>. Acesso em: 22 abr. 2023.

FAN, Ricardo. Situação da Simulação de Combate no Exército Brasileiro. **Defesanet**, [S. l.], 29 ago. 2016. Disponível em: <https://www.defesanet.com.br/doutrina/noticia/23376/situacao-da-simulacao-de-combate-no-exercito-brasileiro/#:~:text=Atualmente%2C%20o%20COTER%20emprega%20o%20Combater%2C%20simulador%20construtivo,em%20exerc%C3%ADcios%20de%20n%C3%ADvel%20Unidade%2C%20Brigada%20e%20Divis%C3%A3o>. Acesso em: 22 abr. 2023.

FELTON, James. An Autonomous Weaponized Drone "Hunted Down" Humans Without Command for First Time. **IFLScience**, [S. l.], 31 maio 2021. Disponível em: <https://www.iflscience.com/an-autonomous-weaponized-drone-hunted-down-humans-without-command-for-first-time-59879/>. Acesso em: 24 abr. 2023.

FLAMES: Simulation Framework. [S. l.], 21 nov. 2022. Disponível em: <https://flamesframework.com/flames-overview>. Acesso em: 25 abr. 2023.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA. Exercício de guerra simulada reúne oficiais-alunos das Forças Armadas. 07 nov. 2018. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/33075/AZUVER%20-%20Exerc%C3%ADcio%20de%20guerra%20simulada%20re%C3%BAne%20oficiais-alunos%20das%20For%C3%A7as%20Armadas>. Acesso em: 22 abr. 2023.

HECHT, Eado. Drones in the Nagorno-Karabakh War: Analyzing the Data. **Military Strategy Magazine**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 31-37, 2022. Disponível em: <https://www.militarystrategymagazine.com/article/drones-in-the-nagorno-karabakh-war-analyzing-the-data/>. Acesso em: 24 abr. 2023.

JTLS-GO: Civil-Military Simulation and Analysis. Versão 6.2. [S. l.]: ROLANDS & ASSOCIATES LLC (R&A), outubro 2021. Disponível em: https://www.rolands.com/jtls/j_over.php. Acesso em: 22 abr. 2023.

LIEBERMANN, Oren. How Ukraine became a testbed for Western weapons and battlefield innovation. **CNN**, 16 jan. 2023. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2023/01/15/politics/ukraine-russia-war-weapons-lab/index.html>. Acesso em: 24 abr. 2023.

LOMBARDI, D. F. P. O uso da simulação construtiva como fator auxiliador de apoio à decisão. **Publicações Acadêmicas EsAO**, Rio de Janeiro, 30 jun. 2019. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/handle/123456789/4984>. Acesso em: 22 abr. 2023.

MARINHA DO BRASIL. SISTEMA DE SIMULAÇÃO DE GUERRA NAVAL (SSGN). 2018. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/casnav/?q=node/182>. Acesso em: 22 abr. 2023.

MASA SWORD: Simulation for Command Post staff [S. l.], Disponível em: <https://www.masasim.com/en/sword>. Acesso em: 28 abr. 2023.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **Glossário das Forças Armadas (MD35-G-01)**. Diário Oficial da União, 21 jan. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt->

XVIII Congresso Acadêmico sobre Defesa Nacional

br/arquivos/legislacao/emcfa/publicacoes/doutrina/md35-G-01-glossario-das-forcas-armadas-5-ed-2015-com-alteracoes.pdf/view. Acesso em: 22 abr. 2023.

MIXR: The Mixed Reality Simulation Platform. 2021. Disponível em: <https://www.mixr.dev/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

MOORE, G. E. The microprocessor: engine of the technology revolution. **Communications of the ACM**, v. 40, n. 2, p. 112-114, fev. 1997.

SAUTER, John A. SwarmMATE™: Swarming Drones for Real-world Missions. **Scientia**, 26 jul. 2021. Disponível em: <https://www.scientia.global/swarmmate-swarming-drones-for-real-world-missions/>. Acesso em: 15 fev. 2022.

SHERMAN, Jason. Russia-Ukraine Conflict Prompted U.S. to Develop Autonomous Drone Swarms, 1,000-Mile Cannon. **Scientific American**, 14 fev. 2022. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/russia-ukraine-conflict-prompted-u-s-to-develop-autonomous-drone-swarms-1-000-mile-cannon/#>. Acesso em: 22 abr. 2023.

TACVIEW: The Universal Flight Data Analysis Tool. 2023. Disponível em: <https://www.tacview.net/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

VR-FORCES: The MAK ONE Multi-Domain Computer Generated Forces, [S. l.]. Disponível em: <https://www.mak.com/mak-one/apps/vr-forces>. Acesso em: 28 abr. 2023.

WEST, Timothy D.; BIRKMIRE, Brian. AFSIM: The Air Force Research Laboratory's Approach to Making M&S Ubiquitous in the Weapon System Concept Development Process. **CSIAC**, [S. l.], v. 7, 9 jan. 2020. Disponível em: <https://csiac.org/articles/afsim-the-air-force-research-laboratorys-approach-to-making-ms-ubiquitous-in-the-weapon-system-concept-development-process/>. Acesso em: 22 abr. 2023.