

Ambientes Virtuais Distribuídos – Apoiando o Desenvolvimento de Doutrinas de Combate para a Aviação Militar

Henrique Costa Marques e Vakulathil Abdurahiman

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – Divisão de Ciência da Computação-Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial
Praça Marechal Eduardo Gomes n. 50 – Vila das Acácias - São José dos Campos - São Paulo – Brasil– CEP: 12228-900

Resumo — O desenvolvimento de doutrinas de combate para a Aviação Militar é custoso e, muitas vezes, inviável em relação ao orçamento disponível. A quantidade de horas de voo, necessárias para a análise e avaliação das possibilidades de um novo equipamento, é significativamente aumentada quando a novidade tecnológica é o principal fator a ser considerado. O presente trabalho pretende expor o potencial da utilização de ambientes virtuais distribuídos, para apoiar o desenvolvimento das táticas e técnicas a serem empregadas nas aeronaves recém adquiridas e em fase de aquisição pelas Forças Armadas brasileiras.

Palavras-chaves — Simulação distribuída, ambiente virtual distribuído, HLA.

I. INTRODUÇÃO

Na década de 1990, houve um grande desenvolvimento tecnológico bem como das doutrinas advindas dos novos equipamentos empregados pelas Forças Armadas de países da Terceira Onda [1]. Para o desenvolvimento de novas técnicas, tecnologias e possibilitar o entendimento do novo contexto gerado, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DOD) deu início a vários projetos de sistemas e arquiteturas de simulação que permitissem a geração de grandes ambientes virtuais.

Com grande sucesso, iniciativas como o Modular Semi-Automated Forces (ModSAF) [2] e Sintetic Theater of War (STOW) foram desenvolvidos a partir de uma capacidade de trabalhar simulações dentro de um contexto distribuído, fazendo uso da Distributed Interactive Simulation (DIS). No ano de 1997 o exercício STOW97[3] integrou vários projetos no segmento, validando a proposta da utilização de forças geradas por computador e semi automatizadas opondo-se a controladores e pilotos humanos. Algumas entidades eram totalmente autônomas, permitindo que o controlador humano pudesse interagir através de comando de voz[4], utilizando fraseologia e doutrina de uso corrente na Força Aérea Americana (USAF).

Devido às restrições técnicas na utilização de DIS com um número muito grande de entidades (acima de 10.000), o DOD iniciou o desenvolvimento de outra arquitetura para permitir o aumento de entidades em exercícios simulados. A partir de 2000, a High Level Architecture (HLA) [5] tornou-se o padrão IEEE 1516, sendo a nova arquitetura a ser utilizada em exercícios de larga escala.

Tais iniciativas estão elevando a capacitação dos países envolvidos nestes exercícios, habilitando-os a formar um ambiente propício para a investigação de novas tecnologias bem como desenvolver a capacidade de decisão, planejamento e execução durante uma batalha conjunta e ou combinada.

No Brasil, a partir do ano de 1999, com a formação do Ministério da Defesa, iniciou-se a retomada do desenvolvimento do Sistema Militar de Comando e Controle SISMIC2. Tal sistema prevê a implementação de simulação como um de seus módulos, a ser utilizada no planejamento de cenários táticos e operacionais dentro de um Teatro de Operações Combinado.

A motivação do presente trabalho é compreender a tecnologia empregada no desenvolvimento de um ambiente virtual distribuído onde será possível planejar uma operação aérea e realizar a simulação dos eventos, permitindo a estatística bem como a visualização 3D do ambiente simulado. Pretende-se, ainda, introduzir elementos de inteligência artificial bem como habilitar a interoperabilidade entre simulações através de HLA.

II. SIMULAÇÃO

) SISTEMAS, MODELOS E SIMULAÇÃO

Segundo Law [6], um sistema é definido como a coleção de entidades (pessoas e veículos, por exemplo) que agem e interagem juntas para a realização de alguma finalidade. Na prática, um sistema depende do objetivo de um estudo particular.

Sistemas possuem estados que são a coleção de variáveis necessárias para descrevê-lo em um momento em particular, relativo aos objetivos do estudo em questão. Podem ser classificados em dois grupos: discreto e contínuo.

Um sistema discreto é aquele cujas variáveis de estado mudam instantaneamente de valor em pontos separados no tempo. Um sistema é contínuo quando as suas variáveis de estado possuem valores que são alterados continuamente com respeito ao tempo.

Sistemas podem ser estudados das seguintes formas [6]:

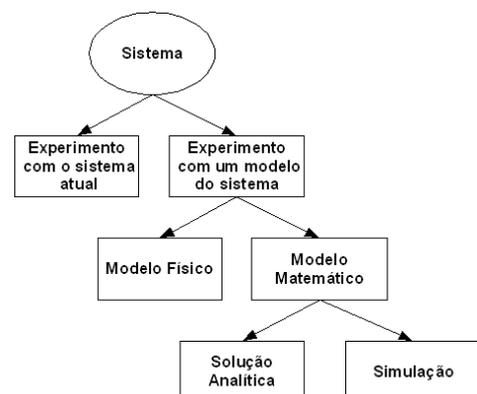


Fig. 1. Formas de Estudo de um Sistema

- Experimento com o Sistema Atual versus Experimento com Modelo do Sistema: Nem sempre é possível realizar um experimento com um sistema atual ou pode ser muito caro tal procedimento. Também é possível nem mesmo existir ainda o sistema a ser experimentado. Nestas três situações é comum fazer uso de modelos para adquirir o entendimento necessário ao estudo.

- Modelo Físico versus Modelo Matemático: modelos físicos são aqueles produzidos para observar o sistema como um objeto. Como exemplo, uma maquete de uma aeronave a ser colocada em um túnel de vento. Um modelo matemático é aquele que representa um sistema em termos de relacionamentos lógicos e quantitativos que são manipulados e alterados para avaliar-se a reação do modelo e, conseqüentemente, do sistema.

- Solução Analítica versus Simulação: após a produção do modelo matemático, este deverá ser examinado para verificar-se como poderá ser utilizado na aquisição de respostas sobre o sistema por ele representado. Quando um modelo é suficientemente simples e é possível tratá-lo através de relações e quantidades exatas, uma solução analítica passa a ser adequada. Entretanto, modelos complexos exigem que seja feito um tratamento das entradas numéricas de forma a avaliar o comportamento do sistema através de suas saídas, ou seja, simulando o seu comportamento.

Tais modelos matemáticos, que serão estudados através de simulação (modelos de simulação), podem ser classificados da seguinte forma [6]:

- Estático versus Dinâmico: Um modelo de simulação é dito estático quando é a representação de um sistema em um momento em particular ou aquele usado na representação de um sistema onde o tempo não exerce qualquer papel de influência. Por outro lado, um modelo de simulação é dinâmico quando o sistema é investigado de acordo com sua evolução no tempo.

- Determinístico versus Estocástico: Em um modelo de simulação determinístico o resultado é sempre determinado pela entrada recebida. Não há probabilidade em seus resultados. Já modelos estocásticos promovem a exploração do sistema através de componentes de entrada aleatórios. Tal tratamento promove apenas a estimativa do comportamento de um sistema.

- Contínuo versus Discreto: Da mesma maneira como na classificação de sistemas, um modelo é dito contínuo quando permite analisar um sistema através da contínua variação temporal, durante a simulação. Será discreto quando modela o sistema observando contáveis pontos ao longo do tempo. Tais pontos no tempo são aqueles onde ocorrem mudanças instantâneas de estado do sistema, sendo chamados eventos.

Os modelos mais comumente utilizados são os dinâmicos, estocásticos e discretos, sendo chamados de modelos de Simulação por Eventos Discretos.

Há outras formas de classificação de simulações que poderão ser utilizadas, principalmente no contexto militar. De acordo com o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD), há uma ampla gama de utilização de simulação para o estudo de sistemas militares [7].

A) SIMULAÇÃO MILITAR

Segundo Davis [8] a simulação militar pode ser classificada como: Ao Vivo, Virtual e Construtiva.

A simulação ao vivo, envolve pessoas reais e sistemas reais. Exercícios e manobras com equipamentos reais são exemplos de simulação deste tipo. O grau de realidade é máximo, porém o custo de execução geralmente é muito alto, porque envolve o consumo de combustível, provisão de alimentação, manutenção de equipamentos, transporte e apoio logístico tal qual um conflito necessita. Além disso, a possibilidade de acidentes também é alta, pois é inerente à atividade militar.

As operações aéreas como *Red Flag* [9] e CRUZEX III [10] podem ser consideradas simulações ao vivo. Tais manobras aéreas possibilitam a verificação de táticas e técnicas a serem empregadas em operações conjuntas, onde mais de uma Força Aérea de diferentes países operam de maneira integrada para alcançarem o objetivo comum. São grandes teatros de operação envolvendo dezenas de aeronaves (Cruzex III) ou centenas (*Red Flag*), com apoio de radares de solo e aerotransportados para que pilotos, controladores e planejadores de missões aéreas possam obter maiores índices de aproveitamento em suas respectivas áreas.

Já a simulação virtual, envolve pessoas reais e sistemas simulados. Simuladores de vôo e de carros de combate são típicos exemplos. Embora o custo ainda seja elevado o seu uso é eficiente para treinamentos onde o risco na execução de procedimentos necessita ser reduzido.

A simulação virtual tem sido amplamente utilizada na formação de pessoal. Isso porque facilita o entendimento do funcionamento de equipamentos, a interação entre profissionais de uma mesma equipe e pela capacidade de permitir que as pessoas adquiram consciência da situação onde estão imersas durante uma simulação.

Por fim, a simulação construtiva, envolve pessoas simuladas operando sistemas simulados. Simulações construtivas de combate incluem jogos-de-guerra para treinamento assim como ferramentas analíticas. Em tais simulações, a interferência humana ocorre nas entradas da simulação, porém não estão envolvidas na determinação das saídas.

Essa classificação permite que se descreva a Simulação Militar baseando-se no uso de sistemas reais ou simulados e pela interferência ou não de pessoas durante a simulação. No entanto, não contempla a possibilidade atual de haver sistemas reais sendo operados por pessoas simuladas, como veículos não-tripulados.

B) APLICAÇÕES DE SIMULAÇÃO MILITAR NA FAB

O uso mais comum de Simulação Militar na FAB são as do tipo ao vivo, através de operações aéreas. Anualmente são realizadas várias manobras a nível nacional e internacional [11,12]. As manobras de nível nacional objetivam a integração com as demais Forças Armadas do país.

Também a simulação virtual é bastante empregada, onde treinadores de procedimentos são utilizados para treinamento dos sistemas das aeronaves existentes. Há, também, vários simuladores de controle de tráfego aéreo para treinamento de controladores de vôo durante a fase básica de instrução, seja para vôos militares ou civis [13,14,15].

Através da simulação virtual a FAB tem reduzido os custos de formação de pessoal buscando manter a qualidade do profissional formado nas suas instituições de ensino.

Tanto pilotos como controladores dependem do vôo real para adquirirem a necessária experiência em suas respectivas áreas. No entanto, a fase básica de ambas as formações podem ser realizadas através de simulação, devido a ser a

fase onde a percepção ainda é pouca sobre os fatores que afetam o voo.

Assim sendo, passa a ser útil o apoio de simuladores de baixo custo, através do uso de computadores pessoais, para adquirir a necessária visão do contexto antes de se passar a usar a aeronave real, reduzindo-se assim os custos de formação [16].

Com a aquisição das novas aeronaves pela FAB, algumas perspectivas podem ser geradas através da simulação. A utilização das novas aeronaves, de maneira integrada, demanda a busca por métodos eficientes de se obter e disseminar as informações colhidas através de seus sensores de forma a maximizar o potencial de uso de cada componente envolvido.

Através da simulação em ambientes virtuais, onde haja o envolvimento de entidades que simulem as novas aeronaves que comporão o contexto descrito em uma manobra similar a CRUZEX, poder-se-á descrever aspectos importantes na aquisição das informações e na capacidade de disseminação e utilização das mesmas.

Partes da modelagem do ambiente poderá ser feita através de simulação construtiva, reduzindo-se a necessidade de utilização de pessoas na manipulação das entidades de simulação. Tanto a simulação virtual como a construtiva (simulação analítica) têm recebido maior atenção na área militar.

Segundo Fujimoto [17], a forma clássica de utilização de simulação é a analítica cujo modelo procura reproduzir, com a máxima fidelidade possível, os comportamentos do sistema em estudo. Pouca ou nenhuma interação física através de dispositivos ou interferência humana estão presentes nessa forma. Em alguns casos, os usuários apenas analisam os resultados obtidos após a execução da simulação. Geralmente o tempo de execução dessa forma de simulação é tão rápido quanto possível, podendo-se simular semanas de atividades em alguns minutos, em alguns casos.

Já um ambiente virtual é caracterizado pela interferência humana nos modelos, durante a execução da simulação. Procura reproduzir um ambiente que será investigado pelo usuário. Geralmente o tempo de execução é próximo ao tempo real, a fim de permitir a sensação de que o ambiente se comporta como o mundo real.

Essas simulações possuem características que conduziram a um novo tipo de simulação, evidenciada pela natureza da sua implementação, a Simulação Paralela/Distribuída.

C) SIMULAÇÃO PARALELA / DISTRIBUÍDA

Uma simulação paralela é assim considerada quando é realizada em múltiplos processadores em um mesmo gabinete de computador ou vários computadores em uma mesma sala. A Simulação Distribuída é realizada em múltiplos processadores em diferentes máquinas, espalhadas geograficamente [17].

Há quatro principais benefícios na utilização de simulação paralela/distribuída:

- Redução do tempo de execução – ao se dividir a simulação entre diversos processadores em paralelo, pode-se executar partes de um modelo em cada processador de maneira a realizar o trabalho em uma fração do tempo que levaria se fosse realizado em um único processador.

No caso da simulação distribuída, um ambiente virtual complexo necessitaria de diversos processadores para que a

sensação de tempo-real fosse mantida devido aos vários modelos estarem sendo processados por diferentes máquinas ao mesmo tempo.

- Distribuição geográfica – tal distribuição permite que se crie ambientes virtuais através de diversos dispositivos localizados em diferentes locais. Imagine-se uma operação aérea virtual gerada a partir da conexão de simuladores de voo nas Bases Aéreas de Natal, Santa Cruz e Santa Maria sem a inconveniência do deslocamento de pessoal, de tempo e custos inerentes.

- Integração de simuladores que executam em diferentes máquinas de diferentes fabricantes – a FAB possui diferentes simuladores de voo, de diferentes fabricantes, construídos em diversas tecnologias. Através da simulação distribuída poder-se-ia integrá-los em um ambiente virtual distribuído (AVD).

- Tolerância a erros – com a execução dos modelos em diferentes processadores, caso um deles venha a parar de funcionar os outros poderiam absorver a responsabilidade do processamento. No caso de apenas um processador, caso este falhe, toda a simulação irá parar.

A pesquisa na área de simulação paralela e distribuída prossegue em três distintas comunidades [17]. Trabalhos em técnicas de simulação paralela e distribuída para aplicações em simulação analítica cresceram rapidamente fora da área de computação de alta-performance, enquanto mantiveram o objetivo de reduzir o tempo de execução de simulações computacionais.

Trabalhos em AVDs cresceram rapidamente em duas áreas separadas. A área militar desenvolveu sofisticados, caros e geograficamente distribuídos, ambientes virtuais para aplicações de treinamento. Ao mesmo tempo, a comunidade de jogos de entretenimento e internet focalizaram AVDs mais econômicos que podem ser usados por jogadores em computadores pessoais

Os primeiros trabalhos em simulação distribuída para ambientes virtuais de simulações militares foram iniciados através do projeto SIMNET (*SIMulator NETworking*) desenvolvido entre 1983 e 1989 [17]. Desenvolvido pelo DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*), nos Estados Unidos, demonstrou a viabilidade da interconexão de simuladores autônomos em exercícios de treinamento (simuladores de carros de combate). Devido ao sucesso alcançado, houve novos investimentos na tecnologia empregada, sendo substituído pela Simulação Interativa Distribuída (DIS - *Distributed Interactive Simulation*).

Como outro desenvolvimento iniciado através do SIMNET o protocolo ALSP (*Aggregate Level Simulation Protocol*) foi desenvolvido com foco na interoperabilidade em simulações para jogos-de-guerra. Com tal implementação foi possível interoperar jogos-de-guerra entre as Forças Armadas norte-americanas em exercícios combinados.

Outra evolução dessa tecnologia foi o desenvolvimento da arquitetura HLA (*High Level Architecture*) iniciada em 1995 e adotada como padrão IEEE1516 a partir de 2000. Após o ano de 2001, todas as aplicações em simulação do DoD devem ser obrigatoriamente compatíveis com a arquitetura HLA. A OTAN (Organização das Nações Unidas) também adotou a arquitetura como padrão de seus desenvolvimentos na área de simulação distribuída.

Serão descritas as características dessa arquitetura, a fim de obter um aprofundamento da sua aplicabilidade em AVDs.

D) HLA

A arquitetura de alto nível HLA foi proposta devido ao entendimento de que nenhuma simulação pode abranger todas as possibilidades, além do que ela poderá ser utilizada de formas diferentes sem que tenha de ser reescrita completamente.

O padrão HLA contém três partes: as Regras (Rules), o Object Model Template (OMT) e a especificação da interface [18]-[21]. Seu grande gol é permitir que sistemas de simulação sejam construídos através de componentes que são também simulações.

Federado é uma simulação individual enquanto que federação é uma simulação onde mais de um federado está presente e interagindo durante a sua execução.

Os elementos de software de uma federação HLA compreendem a implementação da infra-estrutura de execução (Runtime Infrastructure – RTI) e o modelo de objetos da federação (Federation Object Model – FOM).

Cada federado possui seu modelo de objetos de simulação (Simulation Object Model – SOM).

A RTI promove a gerência da federação, dos objetos, da lógica do tempo, das declarações, da propriedade e da distribuição de dados. Cada serviço está disponível a todos os federados, que farão uso de acordo com as suas necessidades.

Poucas implementações de RTI estão disponíveis comercialmente. Como é um padrão, federações poderão utilizar tanto uma implementação como outra, pois os serviços providos são os mesmos e também a interface. Essa característica permite que se escolha a implementação de RTI de acordo com o custo e especificidades de cada projeto de simulação.

Conseqüentemente, deve-se desenvolver a infra-estrutura de HLA caso se queira ter completo controle sobre o código utilizado nas federações.

Como alternativas para a arquitetura HLA há o Common Object Request Broker (CORBA) e o Remote Method Invocation (RMI). Em [22] concluiu-se que o CORBA é mais vantajoso quando há bancos de dados legados a serem compartilhados pela federação. Caso a linguagem de programação orientada a objetos utilizada na maioria dos federados seja a Java, o RMI mostra-se mais eficiente pois faz parte do Software Development Kit do Java. No entanto, se há simulações legadas, de linguagens diferentes, que irão participar da mesma federação, a HLA mostrou-se a melhor escolha.

III. AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DISTRIBUÍDA

Para a compreensão de um ambiente distribuído buscou-se na internet softwares de código aberto para a construção de uma aplicação. Foi escolhido o *toolkit* de simulação da Naval Postgraduate School chamado Delta3D [23], devido a sua capacidade de gerar cenários visuais, permitir o uso da HLA e possuir uma arquitetura voltada para ambientes virtuais distribuídos.

Possui um gerenciador de aplicações chamado *GameManager* que manipula todo o ambiente e permite a construção de novos componentes de acordo com a necessidade do usuário.

Através do *GameManager* é possível registrar eventos, trocar mensagens entre as entidades e realizar a transferência de informações através de componentes.

Para a aplicação atual foram especificados componentes para: o controle das aeronaves, a interface HLA, a visualização de dados durante a execução da simulação e troca de mensagens.

O *toolkit* também permite a edição de cenários através de seu editor gráfico chamado STAGE. Os mapas construídos geram uma hierarquia de arquivos que contém os modelos 3D e um arquivo de mapeamento (formato textual) para a construção do cenário após a inicialização da aplicação.

No estágio atual, as aeronaves possuem modelos 3D diferenciados sendo a modelagem aerodinâmica obtida em [24] e comum a todas, sem levar em consideração as características de voo individuais.

No entanto, é possível construir modelos aerodinâmicos específicos para cada uma ou utilizar um motor dinâmico de voo como o JSBSim [25], utilizado atualmente no simulador de voo de código aberto FlightGear [26] e também em aplicações de controle de aeronaves através do grupo de software MatLab/Simulink [27].

Na Figura 2, a aeronave selecionada (em vermelho) foi construída como uma biblioteca, onde seus dados iniciais (modelo 3D, posição, altitude, atitude e velocidade) são definidas através das propriedades editáveis na marcação 1 (dentro do círculo azul). Na marcação 2 tem-se uma lista com todas as entidades envolvidas na simulação.

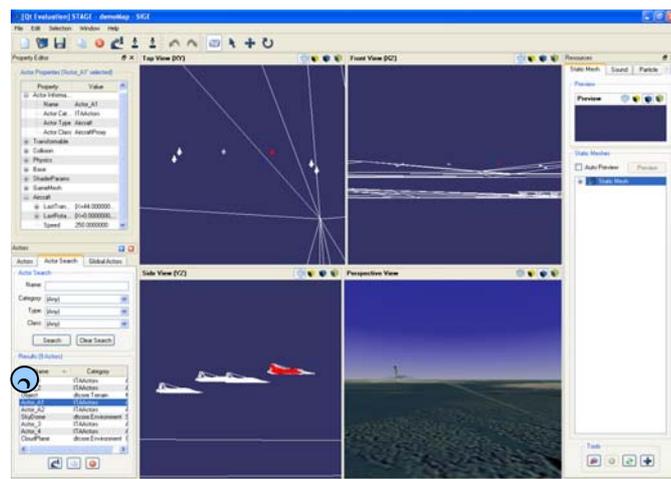


Fig. 2. Editor de Cenários STAGE

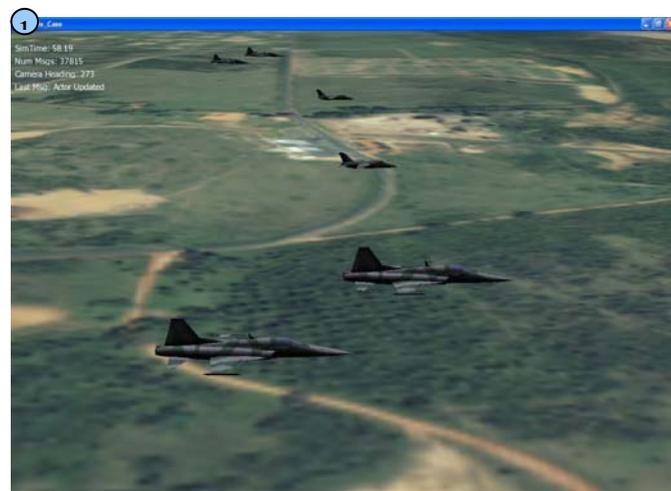


Fig. 3. Aeronaves em Voo durante Simulação

A biblioteca com o comportamento da entidade criada é então reutilizável. Através da parametrização dos dados iniciais pode-se definir comportamentos diferenciados para cada uma. No atual estágio de desenvolvimento da aplicação estão sendo implementados algoritmos de Inteligência Artificial para a execução de ações de acordo com os eventos gerados.

Dessa forma, a interação entre entidades poderá proverá dados de saída que serão analisados para a identificação dos fatores que levam ao sucesso ou fracasso de táticas.

A Figura 3 mostra a execução do mapa gerado pelo STAGE onde quatro aeronaves de Caça estão realizando a Missão de Escolta de duas aeronaves de Ataque. Através da publicação dos dados das entidades pela RTI, pode-se construir visualizadores passivos que permitem uma outra visualização do contexto gerado de acordo com a necessidade do usuário. Por exemplo, seria possível a visualização 2D da mesma simulação como um *data-link* de uma aeronave, permitindo estudar melhor a simbologia utilizada sem que seja necessário reescrever todo um sistema de software dedicado.

Mapas individuais podem ser gerados para que aplicações distribuídas participem de um mesmo ambiente virtual. Isso pode ser feito através da descrição de um Modelo de Objetos da Federação que habilita federados a participarem de uma mesma federação.

Cada mapa então gerado passa a ser o Modelo de Objetos da Simulação que descreve o mapeamento dos atributos de cada federado.

Os resultados obtidos, até o presente momento, mostram uma nova aplicação para os simuladores de vôo da FAB que atualmente encontram-se desconectados entre si. Caso seja viável a integração dos mesmos através da HLA, táticas poderiam ser analisadas com mais detalhes antes de um vôo real onde os custos de cada hora de vôo (em aeronaves de Caça, por exemplo) chega a casa dos milhares de dólares por aeronave.

Isso sem mencionar a redução do risco inerente a um vôo militar e a impossibilidade de testar armamentos, como mísseis, em treinamentos reais entre aeronaves.

IV. OBSERVAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou expor a contribuição de um ambiente virtual distribuído para apoiar o desenvolvimento de técnicas e táticas na aviação de combate.

A capacidade de construção de complexos ambientes, que retratam a natureza de uma operação aérea, favorece a obtenção de possíveis cenários a serem estudados pelos planejadores de missões aéreas.

Através de software de código aberto foi possível mostrar a capacidade de construção de um pequeno cenário onde táticas podem ser testadas através de entidades simuladas ou mesmo através de simuladores de vôo interconectados através da HLA.

A exploração de ambientes virtuais distribuídos poderá contribuir em muitas outras áreas afins, colaborando com a redução de custos na formação de profissionais e também no aumento da eficiência da arma aérea.

Parafaseando o estrategista militar Napoleão Bonaparte, “Se pareço sempre preparado para responder a todos e para enfrentar a todos, é porque, antes de qualquer empreendimento militar, *meditei* por longo tempo e *simulei*

diversas ações pertinentes a ele. Eu previ o que poderia acontecer.”

REFERÊNCIAS

- [1] Toffler, Alvin e Heidi, "*Guerra e Anti-Guerra: Sobrevivência na Aurora do Terceiro Milênio*", 4ª ed., Record, 1994.
- [2] ModSAF-<http://www.aiai.ed.ac.uk/~arpi/SUO/MODULES/modsaf.html> . Acesso em 31 outubro de 2005.
- [3] STOW97-http://www.uuxi.org/docs/c4i-repository/CGF_CFOR5Ver4.pdf . Última visita em 31 outubro de 2005.
- [4] Soar Technology Inc. - <http://www.soartech.com/pubs/aimag99.pdf> . Acesso em 31 outubro de 2005.
- [5] Defense Modelling and Simulation Office HLA - <https://www.dmsomil/public/transition/hla/> . Última visita em 31 outubro de 2005.
- [6] Law, A. M.; Kelton, W. D. "*Simulation Modeling & Analysis*". 2nd international. ed. Cingapura, SGP: McGraw-Hill, 1991.
- [7] DoD: Online M&S glossary (dod 5000.59-m). 2005. Disponível em: <<https://www.dmsomil/public/resources/glossary/>>. Acesso em: 27 jun. 2006.
- [8] Davis, P. K. "*Distributed interactive simulation in the evolution of DoD warfare modeling and simulation*." In: IEEE, 1995. Proceedings of the IEEE Vol.83, No.8.[S.I.]: IEEE Computer Society Press, 1995. p. 1138-1155.
- [9] Operação Red-Flag. 2006. Disponível em: <<http://www.nellis.af.mil/news/story.asp?storyID=123021285>>. Acesso em: 10 out.2006.
- [10] Operação Cruzex III. 2006. Disponível em: <<http://www.cruzex.aer.mil.br/>>. Acesso em: 10 out. 2006.
- [11] Ministério da Defesa - Manobras no ano de 2006. 2006. Disponível em: <https://www.defesa.gov.br/exercicios_militares/index.php>. Acesso em: 25 set. 2006.
- [12] FAB: Operações aéreas no ano de 2006. 2006. Disponível em: <<http://www.fab.mil.br/hm/operacaoaereas.htm>>. Acesso em: 25 set. 2006.
- [13] ICEA: Simulador de controle de aeródromo - sicad. 2006. Disponível em: <<http://www.icea.cta.br/projetos/sicad.html>>. Acesso em: 09 out. 2006.
- [14] ICEA: Sistema de simulação de radar de Área terminal - sisat. 2006. Disponível em: <<http://www.icea.cta.br/projetos/sisat.html>>. Acesso em: 09 out. 2006.
- [15] ICEA: Simulador de radar de aproximação de precisão - sipar. 2006. Disponível em: <<http://www.icea.cta.br/projetos/sipar.html>>. Acesso em: 09 out. 2006.
- [16] Marques, H. C. "*Simulação de vôo de baixo custo*". Revista Spectrum, n. 09, p.29-32, Dezembro 2005. Disponível em: <www.fab.mil.br/revistas/Spectrum09.pdf>.
- [17] Fujimoto, R. M. "*Parallel and Distributed Simulation Systems*". New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2000.
- [18] IEEE Std 1516-2000 - <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/standardstoc.jsp?isnumber=19334&isYear=2000> . Acesso em 31 outubro de 2005.
- [19] IEEE Std 1516.1-2000 - <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/standardstoc.jsp?isnumber=19743&isYear=2001> . Acesso em 31 outubro de 2005.
- [20] IEEE Std 1516.2-2000 - <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/standardstoc.jsp?isnumber=19791&isYear=2001> . Acesso em 31 outubro de 2005.
- [21] IEEE Std 1516.3-2003 - <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/standardstoc.jsp?isnumber=26937&isYear=2003> . Acesso em 31 outubro de 2005.
- [22] Buss, A. , Jackson, L. "*Distributed Simulation Modeling: A Comparison of HLA, CORBA and RMP*". Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference pg. 819-825.
- [23] Toolkit Delta3D – <http://www.delta3d.org> . Acesso em 31 outubro de 2006.
- [24] Bourg, D. M. "*Physics for Game Developers*". 1st. ed. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly, 2002.
- [25] JSBSim: Open source flight dynamics. 2006. Disponível em: <<http://jsbsim.sourceforge.net/>>. Acesso em: 10 jul. 2006.
- [26] Flight Gear: Open source flight simulator. 2006. Disponível em: <<http://www.flightgear.org>>. Acesso em: 12 jul. 2006.
- [27] Matlab: Disponível em: <<http://www.mathworks.com>>. Acesso em: 12 out. 2006.