

Aplicando Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos para suportar Projetos Aeroespaciais Militares no Brasil

Resumo – Os projetos aeroespaciais militares no Brasil precisam demonstrar o cumprimento dos requisitos relacionados à missão e à segurança durante a fase de certificação. Tal demonstração é realizada através de uma série de métodos de cumprimento de requisitos e.g análise, teste em solo, teste em voo etc. A robustez do processo de certificação, fomenta a necessidade dos desenvolvedores de projeto na adoção de estratégias mais modernas para incrementar a precisão e a confiança nos resultados dos testes a fim de economizar tempo e reduzir custos. Nesse sentido, a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos demonstrou sua utilidade e praticidade para validação de desempenho de sistemas críticos de projetos aeroespaciais. Além disso, foi possível verificar a utilidade do uso de metodologia baseada em modelos em tarefas de avaliação de falhas, segurança e processo de certificação.

Palavras-Chave – Projetos, MBSE, Certificação.

I. INTRODUÇÃO

À medida que o desempenho dos sistemas aeroespaciais aumentou dramaticamente, eles também se tornaram mais complexos e altamente integrados, o que ocasionou a introdução de novos desafios para análise de confiabilidade de sistemas, análise de segurança e testes funcionais e operacionais. Uma abordagem de projeto baseada em modelos é adequada e útil tanto para projeto quanto para processo de validação à medida que otimiza o gerenciamento da complexidade do projeto e da comprovação da conformidade do projeto com os requisitos de segurança estabelecidos [1].

As principais empresas e organizações de pesquisa do setor aeroespacial investiram fortemente no desenvolvimento e implementação da Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE), a fim de acelerar e aprimorar seus processos de desenvolvimento [2].

A despeito da indústria supracitada ter incorporado a abordagem da MBSE, colocando maior ênfase na modelagem e simulação de desempenho e características de voo de novos veículos espaciais e aeronaves desenvolvidas nos últimos anos, a indústria militar nacional ainda tem iniciativas tímidas nesse contexto.

Um exemplo de aplicação da MBSE, oriundo da indústria automotiva, é o uso de modelagem e simulação para reduzir o número de testes de colisão, sem haver qualquer redução na avaliação de segurança [1]. A indústria nacional carece da adoção de estratégias mais modernas para incrementar a precisão e a confiança nos resultados dos testes a fim de economizar tempo e reduzir custos.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: na seção II, encontra-se a fundamentação teórica referente ao processo de certificação militar no Brasil, MBSE e dos processos de Validação e Verificação (V&V) dentro do contexto de

Engenharia de Sistemas; na seção III, são apresentados os resultados e aplicações; por último, na seção IV, são apresentadas as conclusões e considerações finais.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Certificação de projetos aeroespaciais militares no Brasil

Para melhor compreender o processo de certificação aeroespacial militar no Brasil é necessário entender o conceito de avaliação da conformidade, que segundo [3] é a demonstração de que requisitos relativos a um produto, processo, sistema, pessoa ou organização são atendidos.

A avaliação da conformidade de um produto aeronáutico militar, conforme [4], pode ser realizada por três agentes distintos: pelo fabricante ou fornecedor (primeira parte), pelo operador ou cliente (segunda parte), ou por uma autoridade de certificação, a qual não possui interesse direto e/ou financeiro na comercialização do produto (terceira parte).

Para a aeronáutica militar, a Certificação de Tipo tem o objetivo de garantir que o projeto de uma determinada aeronave é seguro e cumpre as missões para o qual foi projetado [4].

Um processo de certificação canônico consiste em cinco fases: (a) projeto conceitual, (b) definição de requisitos, (c) planejamento da demonstração de cumprimento, (d) implementação e (e) pós-certificação [5].

Na fase do projeto conceitual, o desenvolvedor estabelece o design conceitual do produto que pode ser certificado no futuro [4],[5] e [6].

Na fase seguinte, definição de requisitos, é quando o processo começa formalmente com a autoridade certificadora. É o momento em que o conjunto dos requisitos aplicáveis a um projeto de tipo ou modificação deste, conhecido como Base de Certificação, é refinada e acordada entre o desenvolvedor e o certificador [4],[5] e [6].

Na fase de planejamento da demonstração de cumprimento dos requisitos, a autoridade certificadora avalia seu envolvimento nas atividades de certificação, baseando-se em fatores de risco, consolidando os planos que começaram a ser discutidos na fase anterior [4],[5] e [6].

Na quarta fase, de implementação, são executadas as atividades acordadas no plano de certificação, que consiste na realização de ensaios, sejam em laboratórios ou em voo, inspeções de conformidade, análises entre outros. Após a avaliação de conformidade ser finalizada satisfatoriamente, a autoridade certificadora pode emitir o Certificado de Tipo (CT) [4],[5] e [6].

O Certificado de Tipo tem a mesma função de um diploma, de simbolizar e atestar o cumprimento dos requisitos da Base de Certificação. Igualmente relevante é a FET, Folha de Especificação de Tipo (conhecida como

TCDS, em inglês, *Type Certificate Data Sheet*), documento anexo ao CT que detalha quais requisitos aquele projeto cumpre, além de estabelecer seu envelope operacional, ou seja, os limites considerados seguros para o emprego daquele produto [4],[5] e [6].

Por fim, a última fase, de pós-certificação, consiste na finalização da documentação para registro das atividades realizadas e futuras modificações [4],[5] e [6].

B. Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE)

A engenharia de sistemas baseada em modelos (MBSE) é a aplicação formalizada de modelagem para apoiar requisitos do sistema, projeto, análise, verificação e atividades de validação. Ela pode ser iniciada na fase do projeto conceitual e continuar ao longo do desenvolvimento e posterior fases do ciclo de vida de um produto ou sistema [2] e [7].

Concentra-se em criar e explorar modelos de domínio como principal meio de troca de informações entre engenheiros, em vez de basear-se em documentos [8].

A MBSE faz parte de uma tendência de longo prazo para abordagens centradas em modelos adotadas por outras disciplinas de engenharia, incluindo mecânica, elétrica e software [2].

Dessa maneira a MBSE aprimora a capacidade de capturar, analisar, compartilhar e gerenciar informações associadas à especificação completa de um produto [8], resultando nos seguintes benefícios:

- Melhor comunicação entre as partes interessadas do desenvolvimento e.g. cliente, gerenciamento de programas, engenheiros de sistemas, hardware e desenvolvedores de software, testadores etc.

- Maior capacidade de gerenciar a complexidade do sistema, permitindo um modelo de sistema para ser visto de múltiplas perspectivas, e para analisar o impacto das mudanças.

- Melhoria da qualidade do produto, fornecendo um inequívoco e preciso modelo do sistema que pode ser avaliado quanto à consistência, correte e completude.

- Melhor captura de conhecimento e reutilização da informação. Capturam-se informações de maneiras mais padronizadas e aproveitando mecanismos de abstração inerentes às abordagens orientadas por modelos. Isso, no que lhe concerne, pode resultar em tempo de ciclo reduzido e custos de manutenção mais baixos para modificar o desenho.

- Melhor capacidade de ensinar e aprender fundamentos de engenharia de sistemas, fornecendo uma representação clara e inequívoca dos conceitos.

Espera-se que a MBSE substitua a abordagem centrada em documentos, que tem sido praticada por engenheiros de sistemas no passado e influencie a prática futura da engenharia de sistemas, sendo totalmente integrada à definição dos processos de engenharia de sistemas [9].

C. Validação de Requisitos, Validação e Verificação (V&V)

A validação de requisitos é o processo de confirmação da completude e correte dos requisitos [9]. De maneira mais direta podemos dizer que a validação de requisitos responde à

pergunta: “Os requisitos do sistema estão corretamente definidos e significam o que pretendíamos?” [9].

A validação de um produto mostra que o produto cumpre o propósito pretendido no ambiente em que irá operar [9]; e que atende às expectativas do cliente e outras partes interessadas, comprovando tais características através de desempenho em testes, análises, inspeções ou demonstração. Em outras palavras, é um processo de confirmação de que um conjunto de requisitos, projeto ou sistema atende à intenção do desenvolvedor, ou cliente.

Isso é feito antes que o sistema seja construído e verificado. O design é validado conforme as necessidades e o sistema é verificado contra o projeto.

A verificação de um produto é um processo de confirmação de que um sistema está conforme requisitos estabelecidos [9].

III. RESULTADOS E APLICAÇÕES

A. Ciclo de Vida de projetos espaciais e aplicação da MBSE

Os projetos espaciais possuem características singulares que demandam um planejamento detalhado e completo para melhor gerenciamento. Nesse sentido, as principais organizações seguem o conceito de ciclo de vida em seus projetos.

Segundo [6] e [10], podemos definir ciclo de vida do projeto como uma série de fases pelas quais um projeto passa, desde a concepção até o descarte. As fases são geralmente sequenciais sendo organizadas conforme as necessidades de gerenciamento e controle da(s) organização(ões) envolvida(s) no projeto, a natureza do projeto e sua área de aplicação [6].

O modelo do ciclo de vida de projetos espaciais, adotado pela Agência Espacial Europeia (ESA) é dividido em 7 fases, como apresentado a seguir e ilustrado na figura 1: Fase 0 – Análise da Missão, Fase A – Viabilidade, Fase B – Definições preliminares, Fase C – Definições detalhadas, Fase D – Qualificação e Produção, Fase E – Operação e Fase F – Descarte.

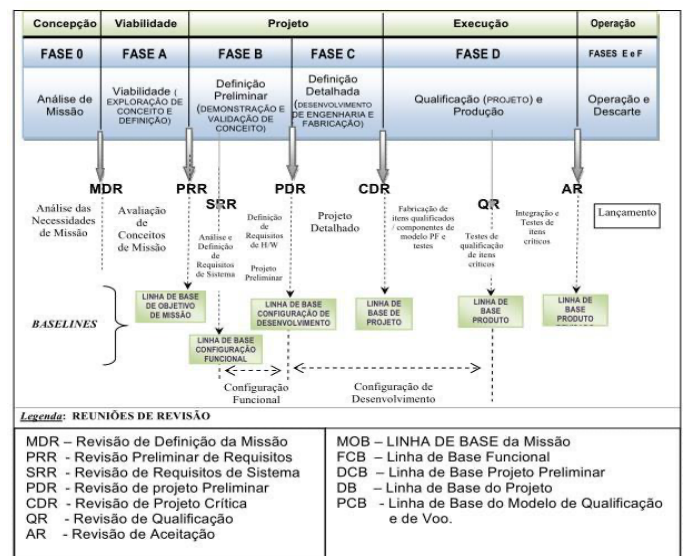


Fig. 1 - Fases do projeto e definição da *baseline* – Cooperação Europeia para a Normalização Espacial – [10].

- Quando ocorre o processo de V&V?

A validação de requisitos ocorre antes do projeto e durante o projeto detalhado, ou seja, principalmente na Fase B e diminuindo na Fase C. Idealmente deve ser concluída antes da Revisão de Requisitos do Sistema (SRR) [9].

A validação ocorre antes que o sistema seja construído e verificado. O design é validado conforme as necessidades e o sistema é verificado contra o projeto. A verificação do sistema ocorre na fase D.

- Benefícios da utilização da MBSE no processo de V&V

- A MBSE permite a validação dos requisitos nas fases iniciais de um projeto. As alterações dos requisitos na verificação, tem impactos negativos no custo e cronograma. Portanto obter requisitos validados logo no início do ciclo de vida do projeto é extremamente relevante, dado que há uma maior garantia da verificação dos requisitos corretos na etapa de verificação do sistema [9].

- Com a MBSE os testes de validação são conduzidos sob condições realistas (ou condições simuladas) em produtos finais, visando determinar a eficácia e adequação do produto para uso em operações de missão por usuários típicos.

Portanto, a MBSE é uma metodologia que integra requisitos e arquiteturas, provendo celeridade, rastreabilidade e confiabilidade ao produto ou sistema em desenvolvimento e substituindo testes e outros métodos de verificação onerosos em termos de custo e cronograma.

Sobre essa ótica temos que conforme [11] e apresentado na Figura 2, onde uma análise estatística baseada em projetos do U.S. Department of Defense (DoD), pode ser observado que: 1) o custo dispendido para eliminar os defeitos aumenta mais no fim das fases do projeto; 2) o custo comprometido no projeto aumenta mais no início das fases; 3) entretanto, na concepção, o custo dispendido é muito pequeno; 4) cabe então, uma maior atenção nas fases iniciais, visando otimizar recursos, sendo assim pertinente uma maior dedicação na elicitação do requisitos.

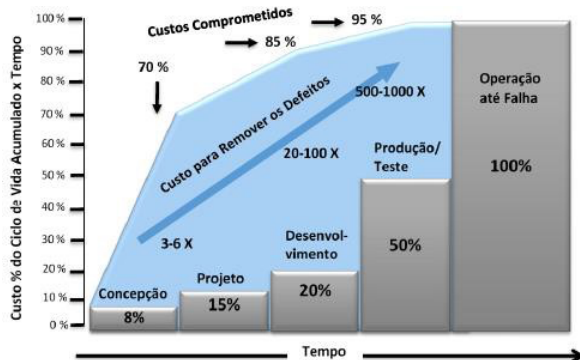


Fig. 2 - Custos de um projeto durante o ciclo de vida – [11].

- Com a aplicação da MBSE otimiza-se verificação do sistema uma vez que existe um aumento na capacidade de se encontrar problemas e comportamentos indesejáveis do sistema, a partir da análise de suas propriedades emergentes,

antes da fase de V&V [9]. Isso permite uma abordagem mais proativa, entretanto testes ainda são necessários para garantir que projetos já verificados por modelos de sistemas também atendem fisicamente à certificação de requisitos de desempenho e segurança. Contudo a integração da modelagem e simulação com qualificação física e testes de voo incrementa integridade e confiança ao novo design. Um esforço precoce da equipe de desenvolvimento de um projeto garante que o design dos sistemas e subsistemas possa atender às exigências de desempenho e necessidades de segurança, mitigando eventuais correções posteriores (*retrofits*).

B. Ciclo de Vida de sistemas militares e aplicação da MBSE no processo de certificação

Conforme [12], temos que o ciclo de vida do sistema militar é dividido da seguinte forma: Concepção, Viabilidade, Definição, Desenvolvimento/aquisição, Produção, Implantação, Utilização, Modernização e Desativação.

- Quando ocorre a certificação?

A certificação militar ocorre nas fases de Aquisição/Desenvolvimento e Modernização [4].

- Benefícios da utilização da MBSE no processo de certificação militar no Brasil

- O processo de certificação militar aceita que ensaios de desenvolvimento possam ser utilizados para fornecer dados técnicos de certificação, devendo haver rastreabilidade de todas as condições relevantes [4]. Nesse sentido o uso da MBSE é extremamente oportuno, pois permite que requisitos validados e verificados sejam facilmente conectados através de um modelo, trazendo maior transparência e objetividade para a autoridade certificadora, e reduzindo o tempo de análise do processo de verificação de cumprimento dos requisitos.

- Outro conceito importante para a certificação é o nível de envolvimento da autoridade certificadora com relação à verificação de um requisito [4].

O nível de envolvimento será maior, tanto quanto um ou mais premissas sejam impactadas, quais sejam:

- Entendimento do desenvolvedor sobre Requisitos e Metodologias aplicáveis ao projeto;
- Experiência da empresa com o projeto a ser certificado; e
- Segurança e Criticidade do requisito.

O emprego da MBSE integra requisitos e arquiteturas, provendo celeridade, rastreabilidade e confiabilidade. Portanto fornece maior clareza para o órgão certificador militar e com isso o nível de envolvimento com relação à verificação de um determinado requisito pode ser reduzido, economizando tempo e recursos (humanos e financeiros).

Esse arcabouço de modelos e simulações providos pela implementação de MBSE em projetos de veículos aeroespaciais militares possuem, portanto, enorme potencial

de economizar recursos e prover maior confiabilidade e rastreo aos dados de projeto.

IV. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os benefícios e as utilidades da MBSE na eficiência do desenvolvimento de projetos civis e militares são cada vez mais amplos na medida que as simulações e as atividades de verificação podem ser alcançadas por todos os membros da equipe de design quando usam um modelo e especificações de design comuns.

Ao adotar um processo de desenvolvimento de sistemas baseado em modelos, os projetistas de sistemas e analistas de segurança podem compartilhar o mesmo modelo de sistema que garante melhor precisão das análises.

Benefícios potenciais adicionais da MBSE incluem a utilização de uma ampla gama de ferramentas de análise, comunicação automatizada de definições importantes, consistência entre os membros da equipe e potencial melhoria na confiança em relação ao projeto.

A MBSE incrementa a precisão e a confiança nos resultados dos testes, economizando tempo e reduzindo custos, pois dá segurança ao órgão certificador que o processo é extremamente rastreável e foca seus esforços em atividades mais críticas do projeto para validação de desempenho.

Por fim, este trabalho propõe o emprego de MBSE para a condução de tarefas de avaliação de falhas, segurança nas fases de validação de requisitos, validação e verificação de sistemas e posterior certificação. Com a ampla difusão da MBSE em projetos aeroespaciais militares, futuros trabalhos na área poderão atestar as potencialidades aqui evidenciadas.

REFERÊNCIAS

- [1] Nastov, Blazo, et al. "MBSE and V&V: a tool-equipped method for combining various V&V strategies." IFAC-PapersOnLine 50.1 (2017): 10538-10543..
- [2] Haider, Syed. "Applying model based safety assessment for aircraft landing gear system certification." 2020 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS). IEEE, 2020.
- [3] COMANDO DA AERONÁUTICA - MINISTÉRIO DA DEFESA (COMAER). Garantia da qualidade e da segurança de sistemas e produtos no COMAER. São José dos Campos, 2016. (DCA 800-2). Diretriz.
- [4] COMANDO DA AERONÁUTICA - MINISTÉRIO DA DEFESA (COMAER). Regulamento de aeronavegabilidade militar – procedimentos para certificação de produtos aeronáuticos. São José dos Campos, 2017. (ICA 57- 21) . Instrução.
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Manual de Procedimentos (MPR). Certificação de projeto de tipo brasileiro. Brasília, 2010. (MPR 200). Rev. 02, 11 mai. 2010. (MPR-200).
- [6] Mariano, Cristiane. "Identificação de um processo da garantia do produto espacial (INPE) e a proposição de seu aperfeiçoamento baseada na sumarização de um correspondente processo aeronautico": INPE, fev. 2017.
- [7] Bonnet, Stephane, Jean-Luc Voirin, and Juan Navas. "Augmenting requirements with models to improve the articulation between system engineering levels and optimize V&V practices." INCOSE International Symposium. Vol. 29. No. 1. 2019.
- [8] Glogowsky, P. S. "Engenharia de sistemas baseada em modelos: modelagem orientada a objetos de sistemas logísticos de armazenamento e recuperação". Dissertação de Mestrado, Escola

Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/D.3.2018.tde-06042018-090721. Recuperado em 2022-07-24, de www.teses.usp.br.

- [9] SOUZA, M. L. O. Engenharia de requisitos. São José dos Campos: INPE, mar. 2018.
- [10] EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS) Space project management – project planning and implementation.Noordwijk, Holanda, 2009b. (ECSS-M-ST-10C).
- [11] RABELLO, A. P. S. S. Um novo processo para melhorar a dependabilidade de sistemas espaciais entre as fases de planejamento e projeto detalhado, incluindo extensões do Diagrama de Markov (DMEP) e da FMECA (FMEP) a Projeto Tese (Doutorado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MP6RNL>>. Acesso em: 16 jun. 2022.
- [12] COMANDO DA AERONÁUTICA - MINISTÉRIO DA DEFESA (COMAER). Logística - Ciclo de vida de sistemas e materiais da aeronáutica. Brasília, 2007. (DCA 400-6) . Diretriz.