



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2023

VITOR HENRIQUE OLIVEIRA **BOURGUIGNON**, Cap Eng Aer

**Aplicação da metodologia SSA no início do ciclo de vida de aeronaves
militares no COMAER**

Rio de Janeiro

2023

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2023

VITOR HENRIQUE OLIVEIRA **BOURGUIGNON**, Cap Eng Aer

**Aplicação da metodologia SSA no início do ciclo de vida de aeronaves
militares no COMAER**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Segurança de Voo

Orientador: Allison Nunes Fernandes, Cap Eng

Rio de Janeiro

2023

VITOR HENRIQUE OLIVEIRA **BOURGUIGNON**, Cap Eng Aer

Aplicação da metodologia SSA no início do ciclo de vida de aeronaves militares no COMAER

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Eduardo Mendes **Marcondes**, Maj Av
EAOAR

Allison Nunes Fernandes, Cap Eng
EAOAR

Rio de Janeiro

2023

RESUMO

Durante o processo de certificação, uma das etapas corresponde à demonstração de que o projeto em desenvolvimento é seguro por meio da metodologia *System Safety Analysis* (SSA). Os programas de desenvolvimento de aeronaves enfrentam o dilema de aplicar fundos para realizar análises completas de SSA na fase de projeto conceitual ou mais tarde, em etapas posteriores do projeto. Porém, realizar as análises mais tarde aumenta a probabilidade de reprojeto, introduzindo atrasos significativos no programa de desenvolvimento. Além disso, adiar a aplicação da metodologia SSA pode aumentar a probabilidade de acidentes durante a fase de operação. Assim, este ensaio acadêmico defende que a implementação da metodologia SSA no início do ciclo de vida do projeto otimiza os processos de certificação coordenados pelo Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI). A tese se fundamenta no argumento de que a aplicação antecipada da metodologia SSA contribui para evitar atrasos significativos no cronograma de desenvolvimento do projeto. Além disso, argumenta-se que a aplicação antecipada da metodologia SSA reduz a probabilidade de acidentes durante a fase de operação da aeronave militar, elevando-se assim o nível de segurança de voo. Tal ação otimizará os processos de certificação coordenados pelo IFI, impulsionando a manutenção do Instituto na vanguarda da certificação de projetos aeronáuticos militares no cenário nacional e internacional. Ainda, a tese defendida neste ensaio poderá ser aplicada no âmbito dos projetos críticos em segurança do Exército Brasileiro e da Marinha do Brasil, contribuindo para a otimização dos processos de certificação coordenados pelos seus respectivos Órgãos Certificadores.

Palavras-chave: *System Safety Analysis* (SSA). Aeronave Militar. Certificação. Segurança de Voo.

1 INTRODUÇÃO

A Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) foi criada em 1944 com o objetivo de favorecer a segurança, a eficiência, a economia e o desenvolvimento dos serviços aéreos (ANAC, 2023). O Brasil, por ser um país-membro da ICAO, tem a liberdade de possuir um corpo próprio de regulamentação aeronáutica, desde que cumpra, no mínimo, com os regulamentos mandatórios dessa Organização.

Especificamente sobre aeronaves militares, a Autoridade Certificadora do Comando da Aeronáutica é definida como sendo o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) para os setores espacial, aeronáutico e de defesa (BRASIL, 2016). O órgão que executa as atividades de certificação de produtos/projetos relacionadas ao setor aeroespacial no âmbito da Força Aérea Brasileira é o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI) (BRASIL, 2017).

Durante o processo de certificação de um produto aeronáutico, uma das etapas cruciais corresponde à demonstração que o sistema em desenvolvimento é seguro por meio de uma metodologia denominada *System Safety Analysis* (SSA), a qual consiste na aplicação de princípios, critérios e técnicas de engenharia e gerenciamento para alcançar riscos aceitáveis de acidentes aeronáuticos (BRASIL, 2022).

Os programas de desenvolvimento de aeronaves militares frequentemente enfrentam o dilema de aplicar fundos para realizar análises completas de SSA começando na fase de projeto conceitual ou mais tarde, quando os projetos estão em fases mais avançadas do desenvolvimento. Ressalta-se que no âmbito do processo de certificação de aeronaves militares, coordenado pelo IFI, o requerente do processo possui a liberdade para aplicar a metodologia SSA no início do ciclo de vida do produto, ou começar as análises somente numa fase posterior, por exemplo, após a fabricação do protótipo.

Porém, realizar as análises mais tarde aumenta a probabilidade de reprojotos demorados, introduzindo atrasos significativos no programa de desenvolvimento. Além disso, adiar a aplicação da metodologia SSA pode aumentar a probabilidade de acidentes durante a fase de operação, uma vez que os reprojotos serão caros e as empresas podem optar pela adoção de medidas menos eficazes para mitigar o risco de acidente.

Com isso, este ensaio acadêmico defende a tese que a implementação da metodologia SSA aplicada ao início do ciclo de vida dos projetos de aeronaves militares otimiza os processos de certificação coordenados pelo IFI.

A tese se fundamenta no argumento de que a aplicação antecipada da metodologia SSA contribui para evitar atrasos significativos no cronograma de desenvolvimento do projeto.

Além disso, a tese também se ampara na argumentação de que a aplicação antecipada da metodologia SSA contribui para reduzir a probabilidade de acidentes durante a fase de operação da aeronave militar, elevando assim o nível de segurança de voo.

2 DESENVOLVIMENTO

É responsabilidade do Comando da Aeronáutica (COMAER) garantir a segurança das aeronaves utilizadas no cumprimento de suas missões. “A busca pela segurança deve ser aspecto mandatário em todas as atribuições pertinentes a este Comando, eliminando riscos desnecessários ou injustificáveis que possam comprometê-la” (BRASIL, 2022, p. 09). Um dos pilares para se atingir a segurança de voo é por meio da certificação de projeto, cujo objetivo é atestar que a aeronave militar cumpre com os requisitos de segurança aplicáveis.

Ao longo dos anos, os níveis de risco, relacionados com aeronavegabilidade, previstos nos requisitos de certificação foram aprimorados por meio de comparações com as informações operacionais disponibilizadas. Sendo tais informações obtidas a partir de estatísticas de acidentes e analisadas por meio da influência de uma metodologia SSA na definição dos requisitos (BRASIL, 2022, p. 13).

2.1 Redução de atraso no cronograma de desenvolvimento do projeto

A metodologia SSA, aplicada durante o desenvolvimento do projeto, envolve a realização de análises com o intuito de identificar os perigos e, em seguida, implementar as ações corretivas para eliminar ou mitigar cada perigo. A definição de perigo utilizada neste ensaio é:

Uma condição real ou potencial que pode culminar em um evento (ou série de eventos) não planejados, por exemplo um acidente, resultando em

morte, ferimentos, doenças ocupacionais, dano ou perda de equipamento ou propriedade, ou danos ao meio ambiente. (BRASIL, 2022, p. 11).

Os programas de desenvolvimento de aeronaves militares frequentemente enfrentam a dificuldade de aplicar fundos para realizar análises completas de segurança de sistemas na fase de projeto conceitual. No entanto, intervenções em etapas posteriores do projeto trazem maiores atrasos e elevam os custos, pois requerem um redesenho do sistema (HEWITT; FOITO, 2019).

Caso a metodologia SSA seja aplicada durante a fase de projeto conceitual, podem ocorrer pequenos atrasos no cronograma, em decorrência das correções necessárias para redução dos riscos identificados na fase de análise. Por outro lado, se a metodologia não for aplicada antecipadamente e se um perigo for identificado posteriormente, quando o projeto estiver numa fase mais avançada do ciclo de vida, resultaria em um atraso maior no cronograma de desenvolvimento e de certificação.

As consequências podem ir além do atraso significativo, visto que o desenvolvimento do projeto pode ser paralisado, “pois os custos de não solucionar uma não conformidade encontrada em um projeto em seu período embrionário podem inviabilizar a sua fabricação” (OLIVEIRA, 2011 apud PLEFFKEN, 2021, p.07).

Sobre as tratativas de problemas na concepção do projeto, temos que:

Ao se desenvolver um projeto, idealmente é desejável que a tratativa de problemas seja delineada logo na sua concepção. À medida que o projeto avança em suas fases, a dificuldade de se encontrar soluções para as não conformidades aumenta e com isso aumentam os custos e a complexidade técnica de resolução/mitigação. (PLEFFKEN, 2021, p.06).

De fato, à medida que os processos de desenvolvimento e certificação avançam para a fase de fabricação de peças, teste de componentes e testes em escala real, as ações corretivas para perigos identificados pode exigir cada vez mais recurso (JOHANSSON, 2013), podendo acarretar atrasos significativos nos respectivos processos. Portanto, iniciar as atividades de segurança do sistema com antecedência pode reduzir a probabilidade de grandes atrasos no cronograma de desenvolvimento e certificação.

Desta forma, à medida que o desenvolvimento do projeto entra nas fases de fabricação de peças para o protótipo e testes em solo e em voo, as ações corretivas para perigos identificados pode exigir cada vez mais tempo, levando a atrasos significativos no programa. Portanto, a aplicação antecipada da metodologia SSA contribui para evitar atrasos significativos no cronograma de desenvolvimento e

certificação do projeto, resultando na otimização dos processos de certificação coordenados pelo IFI.

2.2 Aumento do nível de segurança durante a fase de operação

Adiar a aplicação da metodologia SSA no ciclo de vida do projeto aumenta a probabilidade de acidentes durante a fase de operação. Pois, uma vez que as ações corretivas mais eficazes para se eliminar ou se mitigar os perigos identificados podem acarretar reprojeto caros, as empresas podem optar pela adoção de medidas menos eficazes, aumentando-se o risco residual do projeto e, conseqüentemente, a probabilidade de acidentes durante a operação do produto (HEWITT; FOITO, 2018).

No contexto da aviação militar, a aplicação da metodologia SSA permite determinar não somente se o sistema é seguro o suficiente, mas também identificar um equilíbrio aceitável entre segurança, custo e capacidade militar (BRASIL, 2022). Mantendo-se uma determinada capacidade militar, antecipar a aplicação da metodologia SSA resulta na obtenção do maior nível de segurança com o menor custo possível. Pois, se o perigo é identificado no início da fase de projeto, o custo real para se incorporar uma ação corretiva pode ser menor do que o custo de adoção de medidas menos eficazes para mitigar o risco posteriormente no ciclo de vida do produto (HEWITT; FOITO, 2019).

Ressalta-se que o objetivo da aplicação da metodologia SSA é otimizar a segurança de voo por meio da identificação de riscos, eliminando-os ou controlando-os por projeto e/ou procedimentos, com base na ordem de precedência aceitável pela Autoridade (HEWITT; FOITO, 2019).

Segundo Hewitt (2019, p.7), a ordem de precedência para a eliminação e mitigação dos riscos, em seqüência de eficácia decrescente, é:

1. Eliminar os perigos por meio da seleção de projeto.
2. Reduzir o risco através de modificação do projeto.
3. Incorporar recursos ou dispositivos de segurança.
4. Fornecer dispositivos de alerta.
5. Incorporar avisos, procedimentos e treinamento.

Na visão da Autoridade de Certificação, é sempre preferível implementar o nível mais alto possível de ação corretiva, que seria por meio da seleção de projeto

(nível 1 acima). Este nível representa a maior eficácia em termos de eliminação e/ou mitigação de riscos, o que significa menor probabilidade de acidentes aeronáuticos durante a fase de operação da aeronave militar.

Porém, o custo de implementação dos níveis acima cresce conforme sua eficácia e conforme o projeto está numa fase mais avançada de seu desenvolvimento (HEWITT; FOITO, 2019). Portanto, quanto mais o projeto avança em seu desenvolvimento, torna-se inviável, em termos de custo, a implementação dos níveis de maior eficácia, fazendo com que os fabricantes de aeronaves e requerentes de processo de certificação optem pelos níveis mais baixos na ordem de precedência. E, por uma questão de inviabilidade econômica, se a proposta do requerente do processo atendesse os requisitos mínimos de segurança, a despeito da diminuição da eficácia do processo, a Autoridade de Certificação aprovaria a proposta.

Antecipar a aplicação da metodologia SSA para a fase conceitual do projeto faz com que o seu desenvolvimento já incorpore as soluções necessárias para se eliminar e/ou mitigar os riscos, reduzindo assim a probabilidade de acidente e elevando o nível de segurança e, conseqüentemente, aumentando a eficácia do processo de certificação.

Ora, se uma análise de segurança de sistemas destacar a necessidade de um redesenho no final da fase de projeto, o custo e o impacto no cronograma podem levar a abordagens de mitigação alternativas que podem ter menor eficácia, elevando-se a probabilidade de acidentes durante a fase de operação da aeronave militar.

De fato, a conclusão antecipada das análises SSA permite que ações corretivas sejam adotadas no projeto em um nível mais alto na ordem de precedência de segurança de sistemas, fazendo com que a probabilidade de acidente diminua quando o produto estiver em operação, aumentando assim o nível de segurança de voo, e resultando na otimização dos processos de certificação coordenados pelo IFI.

3 CONCLUSÃO

No contexto da aviação militar, a metodologia SSA se traduz na aplicação de princípios, critérios e técnicas de engenharia para alcançar riscos de acidente

aceitáveis dentro das restrições de eficácia operacional, tempo e custo em todas as fases do ciclo de vida do sistema.

Foi possível perceber que adiar a aplicação da metodologia SSA pode acarretar atrasos significativos no programa de desenvolvimento. Se a metodologia não for aplicada antecipadamente, e caso um perigo seja identificado posteriormente, intervenções em etapas posteriores do projeto requerem um redesenho do projeto, trazendo maiores atrasos e elevando os custos. Ou seja, antecipar a aplicação da metodologia SSA contribui para evitar atrasos significativos no cronograma de desenvolvimento e certificação do projeto, otimizando os processos de certificação coordenados pelo IFI.

Além disso, adiar a aplicação da metodologia SSA pode aumentar a probabilidade de acidentes durante a fase de operação. Isso ocorre, pois, quando são necessárias modificações de projeto relacionadas com segurança, a probabilidade de encontrar soluções viáveis economicamente reduz drasticamente, conforme o projeto avança em seu desenvolvimento. Isto é, antecipar a aplicação da metodologia SSA permite que ações corretivas sejam implementadas no projeto em um nível mais alto na ordem de precedência de segurança de sistemas, otimizando os processos de certificação coordenados pelo IFI.

Diante do exposto, fica nitidamente evidenciado a necessidade de implementação incipiente da metodologia SSA no ciclo de vida dos projetos de aeronaves militares.

Tal ação contribuirá para a otimização dos processos de certificação coordenados pelo IFI, impulsionando a manutenção do Instituto na vanguarda da certificação de projetos aeronáuticos militares no cenário nacional e internacional. Somado a isso, e considerando eventuais aquisições de sistemas de defesa pelo Exército Brasileiro, bem como o programa de desenvolvimento do submarino nuclear pela Marinha do Brasil, a adoção da metodologia SSA no início do ciclo de vida dos seus respectivos projetos contribuirá para a otimização dos processos de certificação coordenados pelos seus respectivos Órgãos Certificadores.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Aviação Civil. ANACpédia. **OACI**. Disponível em: <https://www2.anac.gov.br/anacpedia/>. Acesso em: 15 jun. 2023.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial. Portaria DCTA nº 214/DNO, de 22 de agosto de 2017. Aprova a reedição da Instrução que dispõe sobre Regulamento de Aeronavegabilidade Militar - Procedimentos para Certificação de Produto Aeronáutico, no âmbito do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (ICA 57-21). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 153, f. 9159, 05 set. 2017.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial. Portaria DCTA nº 109/DDO, de 07 de julho de 2022. Aprova a reedição da Instrução que dispõe sobre a metodologia de aceitação de risco residual em projetos militares (ICA 57-25). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 131, f. 9898, 14 jul. 2022.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Portaria nº 1.164/GC3, de 19 de setembro de 2016. Aprova a reedição da Diretriz que dispõe sobre a Garantia da Qualidade e da Segurança de Sistemas e Produtos no COMAER (DCA 800-2). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 232, f. 18466, 23 dez. 2019.

HEWITT, John; FOITO, Daniel. Advantages of Early System Safety Influence. *In: AHS INTERNATIONAL FORUM AND TECHNOLOGY DISPLAY*, 74., 2018, Phoenix. **Anais [...]**. Phoenix: American Helicopter Society, 2018.

HEWITT, John; FOITO, Daniel. Cost, Schedule and Safety Benefits of Early System Safety Involvement. **Journal of System Safety**, [S. l.], v. 55, n. 1, p. 23–31, 2019. DOI: 10.56094/jss.v55i1.56. Disponível em: <https://jsystemsafety.com/index.php/jss/article/view/56>. Acesso em: 15 jun. 2023.

JOHANSSON, Cristina. **On system safety and reliability methods in early design phases**. 2013. Tese (Doutorado em Gestão e Engenharia) – Universidade de Linköping, Linköping, 2013.

OLIVEIRA, Jônatas Campos de. **Método de avaliação de custos da não qualidade em projetos espaciais - caso do programa CBERS**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2011.

PLEFFKEN, Daniel Rondon. **Certificação de produtos aeroespaciais do Comando da Aeronáutica**. 2021. Monografia (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica - 2/2021) – Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2021.