



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2020

GUILHERME SOARES E SILVA, Cap Eng

**UMA ALTERNATIVA DE ANÁLISE DE RISCO PARA O VOO EM
ESPAÇO AÉREO NÃO-SEGREGADO DE RPAS E AERONAVES
EXPERIMENTAIS**

Rio de Janeiro

2020

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2020

GUILHERME SOARES E SILVA, Cap Eng

**UMA ALTERNATIVA DE ANÁLISE DE RISCO PARA O VOO EM
ESPAÇO AÉREO NÃO-SEGREGADO DE RPAS E AERONAVES
EXPERIMENTAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de MBA em Gestão Pública com Ênfase em Gestão de Projetos e Processos.

Área de Concentração: Administração Militar.
Orientador: Maj Raphael Osório de Oliveira

Rio de Janeiro
2020

GUILHERME SOARES E SILVA, Cap Eng AER

**UMA ALTERNATIVA DE ANÁLISE DE RISCO PARA O VOO EM
ESPAÇO AÉREO NÃO-SEGREGADO DE RPAS E AERONAVES
EXPERIMENTAIS**

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

Aprovado por:

Maj RAPHAEL OSÓRIO DE OLIVEIRA
EAOAR

Maj SUZAN KELLY PRADO ANDRADE
EAOAR

Maj ALEXANDRE FONTOURA DA SILVA.
EAOAR

Rio de Janeiro

Julho de 2020

RESUMO

O aumento do mercado brasileiro de *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS) e aeronaves experimentais revela uma necessidade, latente da sociedade, de inclusão destes dois tipos de plataformas no espaço aéreo não-segregado. O avanço tecnológico que ambos produtos podem embarcar faz com que sejam uma ferramenta de uso potencial na área de defesa. Dentro desse cenário a tese deste ensaio é que o uso do método *Systems-Theoric Process Analysis* (STPA) na análise de perigos reduz o risco de acidentes de aeronaves, experimentais e RPAS, voando em espaço aéreo nacional não-segregado. Primeiro porque atualmente não é possível mensurar o risco de acidentes do voo com aeronaves experimentais ou RPAS usando um processo de certificação aeronáutica. Segundo, porque o STPA permite que se crie um processo que inclua todos os elementos envolvidos em uma operação aérea. A possibilidade gerada por esta metodologia permite o aumento da segurança e a maior integração do controle do espaço aéreo brasileiro, corroborando com a visão do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), de reconhecimento como referência global em segurança e controle integrado, e com a constante busca da prevenção de ocorrência de novos acidentes aeronáuticos de organizações como o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), órgão central do SIPAER. Além disso, permite aumentar a capacidade da aviação de reconhecimento da FAB, visto que o uso do RPAS de reconhecimento poderia ser feito em qualquer área do território nacional, a qualquer tempo.

Palavras-chave: STPA. RPAS. Experimental. Análise de risco. Espaço aéreo.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria aeronáutica acompanhou a necessidade de realização de um voo seguro através da criação de um sistema capaz de manter e garantir baixas probabilidades de riscos catastróficos. Este sistema é o processo de certificação aeronáutica, que é capaz de manter e garantir baixas expectativas de catástrofes aéreas. Através das boas práticas de Engenharia de Sistemas de análise de confiabilidade é possível determinar quantitativamente a chance de ocorrência de um acidente (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2012) e estabelecer procedimentos, antes, durante e depois do produto aeronáutico estar pronto, com intenção de que a catástrofe não ocorra.

A metodologia baseada em confiabilidade, que atualmente é usada no processo de homologação, não permite que aeronaves experimentais¹ e *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS)² sejam incluídas na análise de risco, sendo necessário gerar concessões que mais restringem do que integram estas plataformas ao espaço aéreo.

Por outro lado, o mercado de aeronaves remotamente operadas e experimentais tem vivido momentos de crescimento. Segundo o *Federal Aviation Administration* (FAA), há uma expectativa de aumento de 300% no mercado de RPAS até 2023 (FAA, 2019). Quanto às aeronaves experimentais, o Brasil possui o segundo maior mercado do mundo (VASCONSELOS, 2015) e mesmo com as concessões e limitações impostas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), não é incomum que acidentes ocorram envolvendo pessoas que não tenham relação direta com a operação da aeronave (BRASIL, 2019).

Assim, visando atender a este mercado crescente e às tecnologias que não permitem análises por confiabilidade, novas ferramentas de análise de riscos, baseadas na teoria de sistemas, têm sido estudadas para aplicação aeroespacial (FULINDI, 2017), entre elas ganha destaque a metodologia *Systems-Theoric Process Analysis* (STPA)³.

1 Aeronaves cuja maior porção de construção tenha sido realizada pelo primeiro proprietário com objetivo único de recreação ou educação.

2 Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas cuja utilização não tem fins recreativos

3 Modelo teórico sistêmico de análise de processos que permite que uma abordagem sistêmica seja dada a identificação de perigos, análise de risco e mitigação.

Esta metodologia embasa a tese deste ensaio que afirma que o uso do STPA na análise de perigos reduz o risco de acidentes de aeronaves, experimentais e RPAS, voando em espaço aéreo nacional não-segregado. Isto porque atualmente não é possível mensurar o risco de acidentes com aeronaves experimentais ou RPAS aplicando o processo de certificação aeronáutica. Além disso, o STPA permite que se crie um processo que inclua todos os elementos envolvidos em uma operação aérea.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Capacidade de mensurar riscos do processo de certificação aeronáutica

A determinação do risco de uma aeronave voar no espaço aéreo está estritamente relacionada com um processo de certificação aeronáutico. Este meio pode ser compreendido como um caminho de mitigação de risco, que é feito através da redução de um ou mais de seus três componentes: probabilidade de ocorrência, exposição e a gravidade das consequências geradas (BRASIL, 2016).

Através do processo de certificação clássico, é possível fazer a análise da gravidade e exposição a certos riscos, como os meteorológicos (FAA, 2000 e FAA, 2004), através dos ensaios isolados que são submetidos os componentes da aeronave (FAA, 2017). A probabilidade de ocorrência, que pode ser feita através da análise de árvores de falhas (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2012) e é baseada na teoria da confiabilidade, permite determinar quantitativamente a possibilidade de ocorrência de um evento em que há “múltiplas fatalidades de ocupantes, ou incapacidade ou fatalidade de um tripulante, normalmente com perda da aeronave” (FAA, 2011, p.11, tradução nossa), a falha catastrófica.

Por outro lado, submeter um produto a um processo de certificação tem um custo elevado que “inibe o processo criativo de novas tecnologias na área”(ANAC, 2017). Além disto, seja por uma questão de custo ou de tecnologia, aeronaves experimentais e RPAS não possuem equipamentos que tenham condições de sofrer uma análise de confiabilidade como a realizada para aeronaves certificadas pela maneira clássica.

Levando em conta ainda que o processo de certificação clássico está presente em todo o ciclo de vida do produto, determinando o início e fim de vida de cada componente, e saber que RPAS e aeronaves experimentais não passam por

este processo, é ter a certeza do completo desconhecimento de quando ocorrerá a próxima queda e possível acidente.

Desta forma, sob o ponto de vista do modelo de teoria da confiabilidade, que se baseia a certificação clássica, é impossível realizar a determinação quantitativa da probabilidade de um evento catastrófico para RPAS e experimentais. Por outro lado, as metodologias sistêmicas de análise de risco permitem quantificar, de maneira relativa, as consequências do não cumprimento de requisitos de comprovação de aeronavegabilidade usados em aeronaves civis certificadas. Desta forma, não considerar uma abordagem sistêmica, como o STPA, faz com que estes dois tipos de aeronave voando em espaço aéreo não-segregado, sejam geradores de possíveis eventos catastróficos, pela queda em áreas povoadas ou abalroamento com outros aeroplanos.

Diante deste cenário de acidentes catastróficos a qualquer tempo e aumento crescente dos dois produtos, RPAS e aeronaves experimentais, há a necessidade de buscar uma alternativa a este perigo que sobrevoa o espaço aéreo, como um novo método de análise de risco. O STPA, através da relativização entre produtos certificados e não certificados, permite que haja uma quantificação do risco associado a estes tipos de aeronaves ainda na fase de desenvolvimento do produto, deixando explícito assim, a capacidade do STPA na análise de perigos e redução do risco de acidentes de aeronaves, experimentais e RPAS, voando em espaço aéreo brasileiro não-segregado.

2.2 O STPA permite que se crie um processo que inclua todos os elementos envolvidos em uma operação aérea

Em contraponto ao cenário que se baseia na teoria de confiabilidade para realizar análise de risco, surge, a partir da teoria de Engenharia de Sistemas, o modelo *Systems-Theoric Process Analysis* (STPA) que trata o problema como um processo a ser constantemente analisado e realimentado, com vistas a corrigir eventuais desvios. Este controle permite que potenciais causas de acidentes, possam ser eliminadas ou controladas antes do evento indesejável, através da identificação do perigo potencial e de como a ação de controle da situação indesejada deve ocorrer (LEVESON, 2012).

A visão que Leveson trouxe através do STPA, permite obter como resultado final de uma análise, um processo de gestão que inclua ações, doutrinas e limites operacionais que evitam que o acidente ocorra. Nesta gerência, ainda podem ser contemplados os modos de falhas dos equipamentos que fazem parte do sistema sob análise, incluindo assim, o método linear e clássico de análise de riscos que é baseado em confiabilidade. Ou seja, o método proposto passa a abranger um conjunto maior de possibilidades de cenários de análises em que aeronaves certificadas ou não, podem estar incluídas.

Diante do exposto, uma análise de risco alternativa que não se baseia em confiabilidade, como o STPA, surge como possível solução para garantir um voo seguro, compartilhando espaço aéreo, de aeronaves não certificadas e sobre áreas com densidade populacional.

Recentes estudos corroboram com os benefícios do STPA dentro da aviação. Um exemplo de resultado positivo foi a aplicação para que aeronaves, de pequeno porte, remotamente operadas, pudessem operar compartilhando o espaço aéreo segregado de ensaios em voo e operações militares da Base Aérea Norte Americana de Edwards, a aplicação do método gerou criação de novos itens para que a operação do controle de tráfego aéreo (ATC) fosse mantida no mesmo nível de segurança existente da operação exclusiva de aeronaves tripuladas (FOLSE, 2017). Apesar de ter uma operação distinta do espaço aéreo do Brasil este resultado é um indício de possibilidade de sucesso.

Outra pesquisa relevante está associada a softwares embarcados. Assim como RPAS e aeronaves experimentais, softwares destinados a aviação não têm como sofrer uma análise de confiabilidade (ABRECHT, 2016). Assim, o *Federal Aviation Administration* (FAA) realizou um estudo da comparação da metodologia do STPA com técnicas clássicas de confiabilidade aplicados a softwares. Os resultados obtidos da avaliação, permitiram obter três vezes mais indicativos de perigos e ações mitigadoras na metodologia sistêmica (STPA) do que na metodologia clássica (FAA, 2016).

Vê-se, que a ferramenta STPA mostra uma potencial aplicação tanto na fase de desenvolvimento de produto, através de modificação e alteração de requisitos de softwares, quanto na fase de vida em serviço/operacional através da verificação da estrutura de controle e gestão de um espaço aéreo destinado a ensaios em voo. Ainda, por permitir que sejam incluídas em uma mesma análise, aeronaves que sofreram o processo de estudo de risco através do processo de certificação,

aeronaves experimentais e RPAS, a análise baseada na teoria sistêmica surge como alternativa de viabilidade de operação compartilhada entre estes três tipos de sistemas.

O uso do STPA nesta análise do voo em espaço aéreo não-segregado, poderá fornecer limites operacionais e de produto, ações de gestão, alteração de doutrinas, ratificação ou modificação de normativos já existentes e até mesmo a conclusão de que, através das limitações impostas, um voo seguro em espaço aéreo compartilhado não é possível. Em todos estes casos, a aplicação desta metodologia aumentará a segurança do espaço aéreo com a inclusão de aeronaves que estão à margem de uma análise clássica de segurança, fazendo com que o STPA durante a análise de perigos reduza o risco de acidentes de aeronaves, experimentais e RPAS, voando em espaço aéreo nacional não-segregado.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se, que o uso de técnicas clássicas de análise de risco não permite que aeronaves experimentais e RPAS, possam ter seu risco avaliado sob a ótica do processo de certificação clássico. Há então, do ponto de vista deste modelo, um risco no ar e terra, na operação destes dois tipos de sistemas quando voando em áreas povoadas ou espaço aéreo não-segregado. Entende-se assim, que buscar um método de análise de risco que não dependa da teoria da confiabilidade, atende uma demanda latente da sociedade de voo seguro, uma vez que aumenta o número de pilotos aerodesportivos que adquirem aeronaves experimentais, bem como a quantidade disponível de RPAS de baixo peso no mercado.

Atualmente não é possível mensurar o risco de acidentes com aeronaves experimentais ou RPAS aplicando o processo de certificação aeronáutica. O sistema atual exige um acompanhamento do desenvolvimento até o fim da vida da aeronave e que os itens embarcados tenham condições de obedecer os três critérios usados para mitigação de riscos. Exigir isto de aeronaves experimentais ou RPAS, passa por limitações tecnológicas e orçamentárias.

O STPA permite que se crie um processo que inclua todos os elementos envolvidos em uma operação aérea e surge como alternativa ao voo seguro. Os estudos e aplicações deste método em softwares embarcados permitiu ao FAA identificar novos riscos e mitigações associadas a estes programas de computadores usados em aeronaves. Da mesma forma, o uso desta ferramenta no

espaço aéreo segregado e com as particularidades de atividade de ensaios em voo da Base Aérea de Edwards, permitiu que novos processos fossem incluídos no ATC, mantendo o nível de segurança no espaço aéreo compartilhado por RPAS de pequeno porte e aeronaves tripuladas.

Desta forma, o uso do STPA na análise de perigos reduz o risco de acidentes de aeronaves, experimentais e RPAS, voando em espaço aéreo não-segregado, servindo como solução para a demanda que já existe e aumentará em mais de 200% nos próximos 13 anos.

Na Força Aérea Brasileira, o aumento da segurança gerada pela análise de risco baseada no STPA e a maior integração do controle do espaço aéreo brasileiro, devido a inserção de RPAS e experimentais, corroborará com a visão do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) de reconhecimento como referência global em segurança e controle integrado, e com a constante busca pelo aumento da segurança com intenção de prevenir a ocorrência de novos acidentes aeronáuticos de organizações como o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), como órgão central do SIPAER. Ainda, devido o baixo custo de RPAS e a capacidade de tecnologia embarcada, a liberdade de uso de espaço aéreo brasileiro não-segregado aumentará a capacidade de cobertura da aviação de reconhecimento, através do uso de RPAS a qualquer tempo em qualquer área do território nacional.

REFERÊNCIAS

Abrecht, Blake Ryan. **Systems Theoretic Process Analysis Applied To An Offshore Supply Vessel Dynamic Positioning System**. 2016. Tese (Doutorado) - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos , 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Você Conhece A Aviação Experimental?**. São Paulo, SP, 2017. Disponível em:

<<https://www.anac.gov.br/noticias/2016/voce-conhece-a-aviacao-experimental>>.

Acesso em : 09 de mar. De 2020.

BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA. CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. **MANUAL DO COMANDO DA AERONÁUTICA (MCA) 3-3: MANUAL DE PREVENÇÃO DO SIPAER**. BRASÍLIA, 2012, 146P

BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA. CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. **Relatório Final n A-049/CENIPA/ 2016**, 2019.

DEPARTMENT OF DEFENSE (DoD). **MIL-STD-882E**. Standard Practice: System Safety. US Department of Defense . Maio, 2012.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Advisory Circular (AC): 25.1419-1**. Certification Of Transport Category Airplanes For Flight In Icing Conditions. Us Department Of Transportation, v. 1, 2004.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Relatório número DOT/FAA/TC-15/57**. Software Assurance Approaches, Considerations, And Limitations: Final Report. Us Department Of Transportation, 2016.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Advisory Circular (AC): 23.1309-1E. System Safety Analysis And Assessment For Part 23 Airplanes**. Us Department Of Transportation, v. 17, 2011.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Advisory Circular (AC): 33.78-1. Turbine Engine Power-Loss And Instability In Extreme Conditions Of Rain And Hail**. Us Department Of Transportation, v. 1, 2000.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **FAA Aerospace Forecasts: Fiscal Year 2019-2039**. Us Department Of Transportation, v. 1, 2019.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Order: 8150.1D. Technical Standard Order Program.** Us Department Of Transportation, 2017.

FOLSE, Sarah Ann. **Systems-theoretic process analysis of small unmanned aerial system use at Edwards Air Force Base.** 2017. Tese (Doutorado) - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos , 2017.

FULINDI, J.B; PIRK, ROGÉRIO ;LOURES DA COSTA, L. E. V.. **Application Of A Systemic Hazard Analysis To Launch And Rescue Operation Of A Microgravity Suborbital Space Vehicle.** *In:* 24th abcm international congress of mechanical engineering, 2017, Curitiba. **Anais [...].** Curitiba: PUC-PR, 2017. DOI: 10.26678/ABCM.COBEM2017.COB17-0375

LEVESON, N..**Engineering a safer world: systems thinking applied to safety,** Cambridge: Mit Press, 2012.

VASCONSELOS, Yuri. **Pesquisa Fapesp :Berçario De Aviões.** São Paulo, SP, 2015. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2015/08/12/bercario-de-avioes/>>. Acesso em: 12 de out. De 2019.