

# Um Levantamento de Fatores Humanos e Técnicos em Garantia de Qualidade de Projeto de Software Embarcado Aeronáutico no Brasil

Sarasuaty Yelisetty<sup>1</sup>, Lilian Barros<sup>1</sup>, Talita Slavov<sup>2</sup>, Johnny Marques<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Ciência da Computação – Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)  
São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>2</sup>Instituto de Ciência e Tecnologia – Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)  
São José dos Campos, SP, Brasil

sara.mhy@gmail.com, {johnny, lilian}@ita.br, tmr.slavov@unifesp.br

**Abstract.** *Recent aeronautical products have a strong use of Embedded Aeronautical Software, where quality assurance is essential. Objective: To present the main human and technical factors involved in the Quality Assurance of Embedded Aviation Software. Justification and motivation: in regulated environments, such as aviation, human and technological factors are essential for quality assurance. However, the authors have not found any similar work that addresses this theme. Conclusion: this work identified the factors and deficiencies raised by the community involved in aviation software quality assurance.*

**Resumo.** *Os produtos aeronáuticos recentes possuem forte uso de Software Embarcado Aeronáutico, onde naturalmente a garantia da qualidade é essencial. Objetivo: apresentar os principais fatores humanos e técnicos envolvidos na Garantia de Qualidade de Software Embarcado Aeronáutico. Justificativa e motivação: em ambientes regulados, como a aviação, os fatores humanos e técnicos são essenciais para a garantia da qualidade, no entanto, os autores não encontraram nenhum trabalho similar que aborde essa temática. Conclusão: este trabalho identificou os fatores assim como as carências levantadas pela comunidade envolvida na garantia de qualidade de software aeronáutico.*

## 1. Introdução

Na aviação, o uso de tecnologias avançadas incorporadas aos sistemas, traduz bem a necessidade de Software Embarcado Aeronáutico (SEA) que atenda um alto grau de tecnologia, combinado com a preocupação em segurança. Autoridades reguladoras costumam exigir que as aeronaves, incluindo seus sistemas com SEA, atendam rigorosos requisitos de certificação, como a RTCA DO-178C [RTCA 2011]. A segurança de voo é a prioridade no desenvolvimento de SEA, onde um projeto pode ser descartado se não cumprir as normas de segurança previstas no processo de certificação [Marques and Cunha 2018].

A certificação de aeronaves é o processo pelo qual um solicitante requer a aprovação de uma autoridade reguladora, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), no Brasil, e o *Federal Aviation Administration* (FAA), nos Estados Unidos, em seu projeto aeronáutico [Lemes et al. 2003]. Os processos de certificação de aeronaves

usam normas e padrões para estabelecer a aprovação dos sistemas, incluindo o software, no processo de certificação.

A indústria brasileira aeronáutica tem se desenvolvido nas últimas duas décadas (2000-2020) [Georges and Passarella 2020]. Os produtos aeronáuticos recentes possuem forte uso de SEA [Barros et al. 2020]. Assim, além da segurança naturalmente requerida, a garantia da qualidade é fator de extrema importância. O objetivo deste trabalho é **apresentar os principais fatores humanos e técnicos envolvidos na Garantia de Qualidade de Software Embarcado Aeronáutico (GQSEA)**.

Este trabalho encontra-se organizado em 7 seções. Além dessa introdução, as outras 6 seções são: a seção 2 com a fundamentação; a seção 3 com a metodologia; a seção 4 com os resultados e discussões; a seção 5 com os trabalhos correlatos; a seção 6 com as limitações; e a seção 7 com a conclusão e trabalhos futuros.

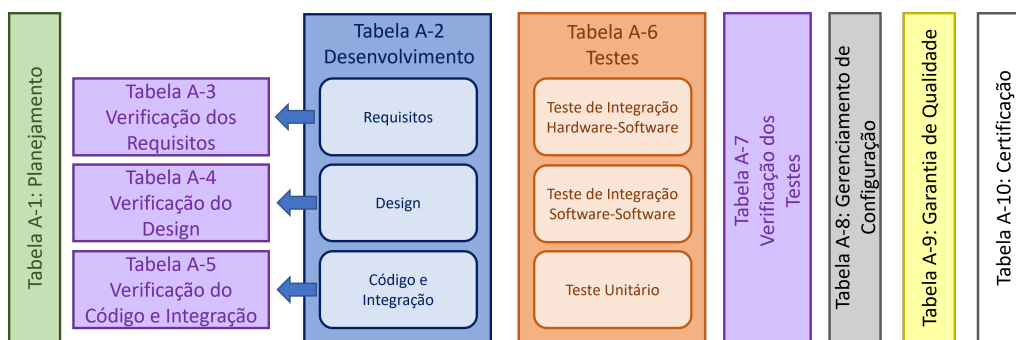
## 2. Fundamentação

O início da década de 80 se caracterizou pelo rápido aumento no uso do SEA em sistemas de aeronaves, o que resultou na necessidade de uma normatização. A RTCA DO-178C [RTCA 2011] oferece diretrizes sobre os processos de desenvolvimento de SEA em cada um dos seus 5 níveis de uso (A, B, C, D e E). Cada nível possui um conjunto de objetivos que devem ser satisfeitos como parte do processo de certificação de uma aeronave.

O nível A possui maior rigor e exige o cumprimento de todos os 71 objetivos da norma. Nos níveis inferiores, alguns objetivos passam a não ser requeridos: B (69 objetivos); C (62 objetivos); D (24 objetivos) e o nível E (nenhum objetivo) refere-se aos sistemas com SEA cujo mau funcionamento não acarreta perda das margens de segurança. Os sistemas com SEA podem suportar uma grande variedade de funções, desde aquelas que afetam diretamente a segurança em voo até funções com um efeito menor ou nenhum efeito na segurança [Andres-Jimenez et al. 2020]. Esta classificação refere-se ao impacto que um erro de SEA pode causar no surgimento de uma condição de falha do sistema (Catastrófica, Perigosa, Maior, Menor e Sem Impacto). Uma vez levantadas as possíveis condições de falha, os níveis são atribuídos como A, B, C, D e E para cada condição de falha classificada.

Os 71 objetivos da RTCA DO-178C encontram-se organizados em 10 tabelas específicas de objetivos na norma (identificadas como tabelas A-1 até A-10). Em sua estrutura, os diversos processos do ciclo de vida do SEA, selecionado em cada projeto, são descritos através de objetivos que devem ser cumpridos. A Figura 1, mostra o relacionamento entre as diversas tabelas da RTCA DO-178C.

O processo de planejamento define como os objetivos da RTCA DO-178C serão atendidos dentro de um projeto de SEA. O desenvolvimento de SEA envolve os seguintes processos: especificação de requisitos de alto nível (*Software High-level Requirements* (SW-HLRs)), definição da arquitetura (design), especificação de requisitos mais detalhados e de baixo nível (*Software Low-level Requirements* (SW-LLRs)) baseados nos SW-HLRs, criação do código-fonte baseado nos SW-LLRs e design. Uma forte carga com testes de integração Hardware-Software, Software-Software e Unitários também é exigida. Já os processos integrais controlam os processos de desenvolvimento com a verificação dos artefatos gerados com garantia da qualidade no desenvolvimento e com controle de configuração.



**Figura 1. Organização de tabelas da RTCA DO-178C**

Para fins de identificação e caracterização, este trabalho identificou dois públicos envolvidos em projetos de SEA:

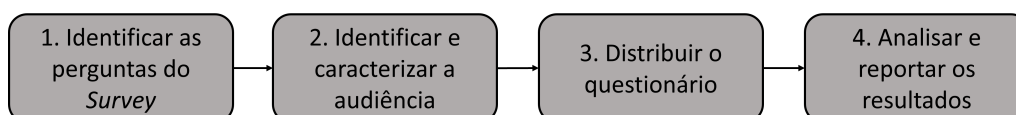
- Profissionais de Desenvolvimento de Software Embarcado Aeronáutico (DSEA): profissionais que participam do desenvolvimento de software e responsável por definir requisitos, design, códigos, testes e qualquer outra atividade que gere artefatos que podem ser utilizados para demonstração de atendimento aos objetivos da RTCA DO-178C; e
- Profissionais de Garantia de Qualidade de Software Embarcado Aeronáutico (GQSEA): responsáveis pela avaliação independente dos artefatos gerados para cumprirem com os objetivos da RTCA DO-178C e os processos estabelecidos na fase de planejamento.

Este trabalho relaciona-se diretamente com as atividades associadas com a Tabela A-9 da RTCA DO-178C, que prevê as necessidades que devem ser atendidas pelos profissionais de GQSEA. O processo de GQSEA avalia os demais processos do ciclo de vida do SEA e suas saídas, assegurando que os objetivos da RTCA DO-178C são atendidos, as deficiências são detectadas, avaliadas, rastreadas e resolvidas, e os dados do produto e do ciclo de vida de SEA estão em conformidade com os requisitos de certificação. Os profissionais de GQSEA devem ter um papel ativo nas atividades dos processos do ciclo de vida, demonstrando autoridade e independência técnica para garantir que os objetivos da GQSEA sejam atendidos e que todos os outros objetivos da RTCA DO-178C sejam satisfeitos no projeto.

Os objetivos da GQSEA envolvem assegurar que: (i) os artefatos de planejamento são desenvolvidos e revisados para conformidade com a RTCA DO-178C, conforme o nível de SEA; (ii) a execução dos processos do ciclo de vida do SEA, estão em conformidade com os artefatos de planejamento; (iii) os critérios de transição entre processos do ciclo de vida do SEA são satisfeitos. Existem diversas formas para avaliação de produtos e processos, dentre as quais, destacam-se: (i) Auditorias formais; (ii) Revisão detalhada do trabalho no local em que é realizado (ou seja, auditorias documentais); e (iii) Testemunhos de execução de atividades requeridas de forma amostral. Todas essas formas de avaliação são executadas por um time de GQSEA separado organizacionalmente da DSEA [Slavov et al. 2020].

### 3. Metodologia

Este trabalho reporta os resultados obtidos através da aplicação de um *Survey* envolvendo profissionais da indústria aeronáutica brasileira que atuam na execução de atividades de GQSEA. A metodologia de pesquisa envolveu 4 etapas, conforme apresentado na Figura 2 (inspirada no guia proposto por Kasunic *et al.* (2005)).



**Figura 2. Fluxograma da metodologia de execução do Survey**

Na Etapa 1, busca-se uma justificativa para a escolha das perguntas necessárias para o *Survey*. Estas perguntas precisam estar alinhadas com o objetivo deste trabalho que visa apresentar os resultados de um levantamento de fatores humanos e técnicos envolvidos na GQSEA. Conforme já mencionado, os profissionais de GQSEA devem ter um papel ativo nas atividades dos processos do ciclo de vida, demonstrando autoridade e independência técnica para garantir que os objetivos da GQSEA sejam satisfeitos. Assim, foram estabelecidas as perguntas e suas justificativas na Tabela 1. As questões Q1 e Q3 visam identificar os fatores técnicos e as Q2 e Q4, os fatores humanos. Além das 4 perguntas, o questionário também buscava identificar o perfil e caracterização da experiência da audiência, sendo coletada como parte do *Survey*.

**Tabela 1. Perguntas do Survey**

Questão	Descrição	Justificativa	Tipo de Resposta
Q1	Dentre as atividades de DSEA da RTCA DO-178C, quais você tem mais dificuldade técnica em analisar?	Esta pergunta visa que o respondente indique que atividades no DSEA este possui mais dificuldade em executar atividades de GQSEA.	Caixa de seleção
Q2	No seu relacionamento com o público auditado (analistas, engenheiros, testadores, etc.), qual comportamento negativo é mais observado?	Esta pergunta visa identificar qual comportamento negativo do público auditado é mais percebido pelo respondente.	Múltipla escolha
Q3	Dentre todos os objetivos da RTCA DO-178C, na sua visão, qual é o objetivo que mais apresenta não-conformidades?	Esta pergunta visa identificar qual objetivo da RTCA DO-178C mais apresenta não-conformidades.	Múltipla escolha
Q4	Quais as carências existentes na execução de atividades de GQSEA?	Essa pergunta visa que os profissionais envolvidos nas atividades de GQSEA apontem carências observadas.	Resposta livre

Na Etapa 2, buscou-se identificar e caracterizar a audiência envolvida. Por ser um *Survey* focado em uma audiência específica, ou seja, pessoas que executam atividades de Garantia de Qualidade de SEA na indústria aeronáutica brasileira. Na Etapa 3, foi distribuído o questionário definido na Etapa 1. Os itens do *Survey* são apresentados na Tabela 1. O *Survey* possui itens com perguntas que visam identificar as respostas mais apropriadas da audiência para a questão. Estes itens podem: 1) possuir resposta de múltipla escolha, onde a audiência seleciona a opção mais adequada; 2) possuir resposta livre, onde a audiência coloca a sua resposta no formato desejado e livre; e 3) possuir várias opções no modo caixa de seleção, onde a audiência pode escolher mais de uma resposta. Os resultados foram analisados na Etapa 4. As questões Q1, Q2 e Q3 foram analisadas quantitativamente, já que apresentavam opções de resposta fixas em múltipla escolha. Já na Q4, houve uma análise qualitativa, já que esta questão apresentava resposta livre.

#### 4. Resultados e Discussão

O questionário foi distribuído no formato da ferramenta *Google Forms*. Trinta e nove (39) profissionais de 4 empresas diferentes da indústria aeronáutica brasileira receberam o endereço para preenchimento do *Survey*, que ficou disponível por 30 dias (de 15/01/2021 até 15/02/2021). A adesão da audiência foi de 64,1% já que 25 dos 39 convidados responderam.

A caracterização da audiência encontra-se com resultados apresentados na Figura 3 - Parte A, onde 86% da audiência tem acima de 5 anos de experiência nas atividades de garantia de software no desenvolvimento de SEA. Em relação ao grau de escolaridade dos participantes, todos os respondentes tinham nível superior, sendo com 28% com graduação (7 respondentes), 24% com especialização (6 respondentes), 40% com mestrado (10 respondentes) e 8% com doutorado (2 respondentes). Esses valores mostram que a maior parte dos envolvidos nestas atividades possuem uma experiência profissional razoável e boa formação, já que 48% possui formação *strictu sensu*, com destaque que 22% da audiência já realiza atividades de GQSEA há mais de 10 anos.

Na Q1 do *Survey* buscou-se identificar que atividades técnicas de avaliação os profissionais de GQSEA tem mais dificuldade em analisar. Percebe-se que 48% da audiência (12 profissionais) tem mais dificuldade na análise de Testes de Integração Software-Software e Implementação. A atividade que esses profissionais têm mais proficiência são as que envolvem Requisitos, já que apenas 8% da audiência (2 profissionais) afirma ter alguma dificuldade na avaliação deste tipo de atividade. Estes resultados estão sintetizados na Figura 3 - Parte B.

Uma das dificuldades que a literatura especializada relata é a confiança sobre o trabalho de auditores e do valor deste no processo de desenvolvimento [Helgeson 2009] [Westfall 2020]. Frequentemente, os auditados não observam valor nas atividades de garantia de qualidade quando os projetos precisam atender uma norma ou um modelo de maturidade. Na Q2, foi perguntado para a audiência qual comportamento negativo o profissional já experimentara ao longo da sua carreira nas tratativas com o público auditado. Observou-se que 61,1% disseram que o auditado tem dificuldade em reconhecer as não-conformidades como um problema a ser corrigido. Adicionalmente, 27,78% reportou perceber que o auditado não vê valor nas atividades de GQSEA. A Figura 3 - Parte C apresenta os resultados associados à Q2 do *Survey*.

Na Q3 foi perguntado para a audiência qual é o objetivo da RTCA DO-178C que esses profissionais mais encontram não-conformidades. Conforme os resultados do *Survey*, o mais afetado por não-conformidades é o Objetivo 1 da Tabela A-3 da RTCA DO-178C “*Software high-level requirements comply with system requirements*”. Este objetivo envolve a necessidade dos requisitos funcionais e não-funcionais do sistema aeronáutico completo. Os requisitos de software (SW-HLRs), que normalmente consideram aspectos de performance, funcionalidades, interfaces externas, limites, faixas (*ranges*) e dados refinam esses requisitos de sistema. Percebe-se, no entanto, que vários outros objetivos da RTCA DO-178C foram identificados pela audiência como os que mais são encontrados não-conformidades. Os resultados da Q3 encontram-se apresentados na Figura 3 - Parte D. Um ponto importante é que 12 respondentes identificaram que os objetivos associados as Tabelas A-2 (objetivo 1) e A-3 (objetivos 1, 2 e 6) apresentam mais não-conformidades. Isso pode ser associado com a informação apresentada na Figura 3 - Parte B, já que a maioria dos respondentes (23) afirmaram não ter dificuldade na análise de requisitos e os objetivos das Tabelas A-2 (objetivo 1) e A-3 (objetivos 1, 2 e 6) são justamente associados aos requisitos de software.

Na Q4, a audiência foi consultada para identificar as carências existentes nas atividades de GQSEA. As carências identificadas e agrupadas qualitativamente, encontram-se apresentadas na Figura 3 - Parte E.

Os resultados quantitativos das Q1, Q2 e Q3, e as carências identificadas na Q4 foram agrupadas em duas categorias inspiradas nas categorias criadas no trabalho de Imamura *et al.* (2020). Essas categorias são: **(i) fatores técnicos**; e **(ii) fatores humanos**. A Figura 4 apresenta a síntese de organização das carências identificadas no *Survey*. Na análise geral dos dados do *Survey* foram encontrados dois fatores técnicos e dois fatores humanos.

#### 4.1. Fatores Técnicos

Percebe-se que nas carências identificadas e associadas aos fatores técnicos, algumas podem demandar maior atenção como a “*falta de cultura em processos de Engenharia de Software (ES)*” dos profissionais de DSEA, o que caracteriza uma carência de formação básica, já que os processos de Engenharia de Software são amplamente abordados nos currículos de formação em Computação.

A GQSEA também fornece uma função de monitoramento valiosa, tendo profissionais independentes supervisionando o processo para garantir a conformidade com a RTCA DO-178C [Rierson 2013]. Assim, a carência identificada no *Survey*, “*falta de conhecimento na RTCA DO-178C*” é de preocupação, pois os respondentes identificaram que em muitas ocasiões os profissionais de DSEA apresentam essa carência. Quando o profissional de DSEA tem falta de conhecimento na RTCA DO-178C, ele provavelmente aumentará a carga de avaliação do profissional de GQSEA, gerando uma carga de trabalho maior para este último com o natural aumento no monitoramento de atendimento aos objetivos da norma.

Por fim, vários respondentes apontaram a “*falta de métricas*”, apesar da existência do trabalho de Yelisetty *et al.* (2015) que apresenta a definição de métricas usando as diretivas do *Practical System and Software Measurement*.

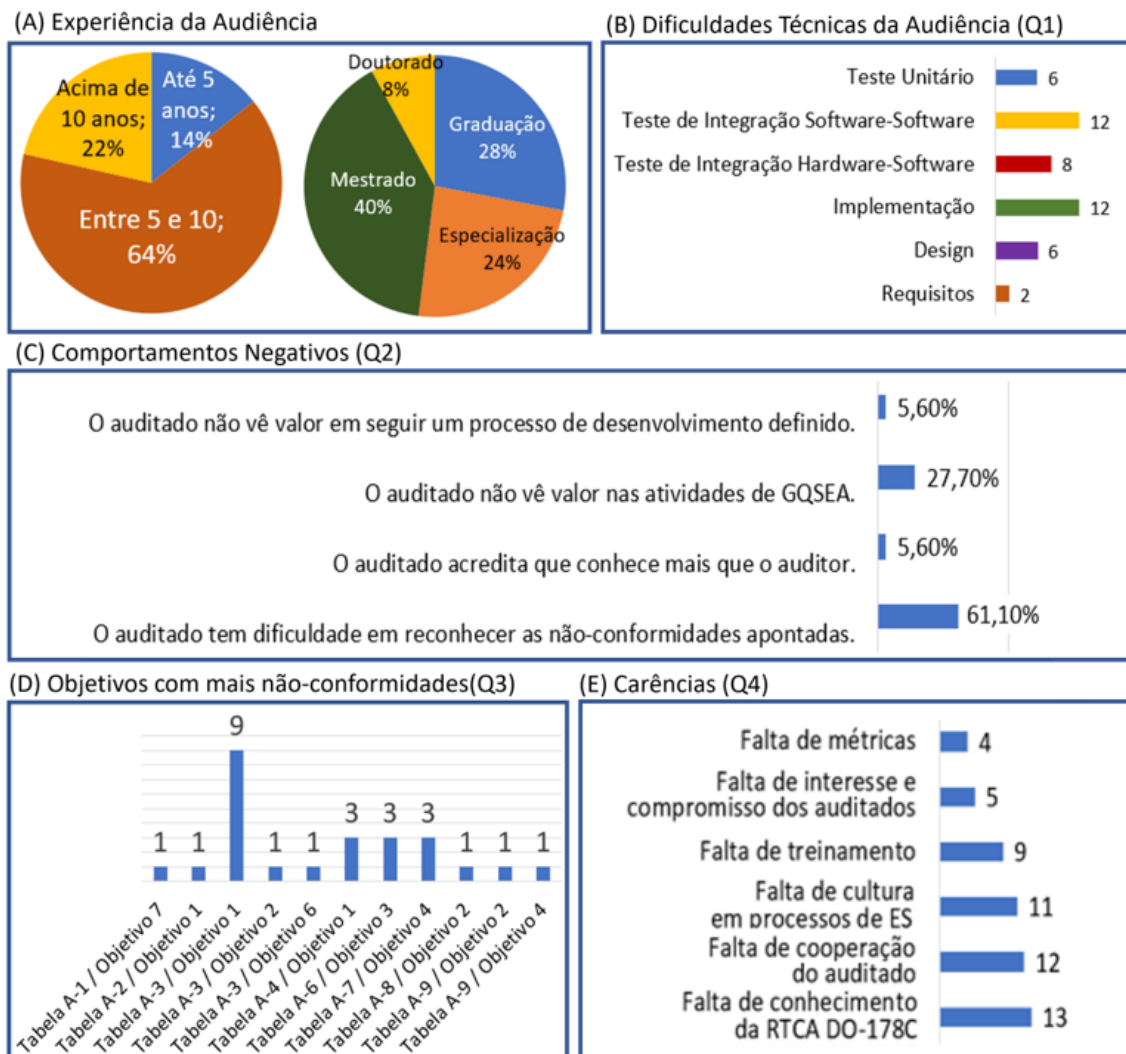


Figura 3. Resultados do Survey

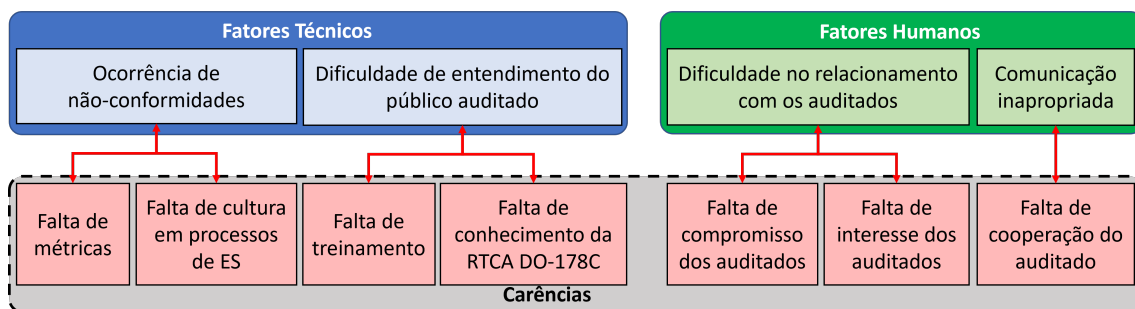


Figura 4. Fatores técnicos e humanos de GQSEA

## 4.2. Fatores Humanos

Nos fatores humanos, destaca-se a “*comunicação inapropriada*”, conforme já levantado como um problema típico por Pernstal *et al.* (2019). Exemplos de benefícios com o estabelecimento de uma comunicação apropriada são: (i) a melhoria da qualidade dos artefatos de desenvolvimento produzidos; (ii) o gerenciamento de risco mais eficaz em

todo o processo de desenvolvimento; e (iii) a redução do risco de propagação dos mesmos erros entre os projetos. A comunicação deficiente é causada principalmente pela “*falta de cooperação do auditado*”. Adicionalmente, os respondentes relataram uma dificuldade no relacionamento com os auditados, ocasionado pela “*falta de interesse e compromisso dos auditados*”.

## 5. Trabalhos Correlatos

O desenvolvimento de SEA já se encontra padronizado na aviação através do uso da RTCA DO-178C [RTCA 2011] e seus suplementos. Diversos trabalhos dos últimos anos, discutiram avanços e novas metodologias de desenvolvimento de SEA. Os autores deste trabalho identificaram e agruparam os trabalhos correlatos em 3 temáticas:

- Desenvolvimento Baseado em Modelos, como explorado nos trabalhos Paz & Bousaidi (2016) e Sarkis *et al.* (2020);
- Uso de Métodos Ágeis no Desenvolvimento de Software, como explorado nos trabalhos VanderLeest & Buster (2009) e Marsden *et al.* (2019); e
- Verificação Formal, como percebido nos trabalhos Moy *et al.* (2013) e Marques & Cunha (2017).

Os trabalhos identificados trataram aspectos técnicos e com foco específico (modelos, métodos ágeis, etc.), sem apresentarem uma visão geral sobre o trabalho de GQ-SEA. Portanto, este trabalho se diferencia exatamente neste ponto, ao tratar de fatores técnicos. Já nos fatores humanos, a literatura disponível ainda não os endereçou cientificamente, o que faz com que o nosso trabalho apresente um conjunto de resultados originais e ainda não levantados e registrados na literatura. Assim, os autores deste trabalho acreditam que os fatores humanos e mesmo a identificação dos fatores técnicos, através da aplicação do *Survey*, seja de interesse para toda a comunidade envolvida nas atividades de GQSEA.

## 6. Limitações

Embora a taxa de resposta da pesquisa de opinião seja considerada expressiva pelos autores, com 64,1% da amostra, entende-se que é importante obter mais respostas. As limitações identificadas são: (i) considerar apenas profissionais de GQSEA no Brasil; (ii) não foi aplicado um piloto do *Survey* para analisar previamente as questões; (iii) a estrutura das perguntas da coleta de dados possuía poucas questões visando a caracterização do cenário; (iv) não há garantia de que o entendimento das questões foi completamente absorvido pelos respondentes; no entanto, para mitigar essa limitação, os autores buscaram a revisão das questões com um grupo piloto de 3 profissionais de GQSEA para aplicar termos e formas de escrita de uso comum desta comunidade; e (v) o processo de análise dos dados qualitativos da Q4 pode ter levado em consideração o viés dos pesquisadores que realizaram esta atividade; no entanto, para mitigar essa limitação, houve uma revisão independente dos 4 autores deste trabalho e nenhum autor teve acesso à revisão do outro. Alguns conflitos no processo de revisão foram resolvidos em decisão conjunta.

## 7. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou um levantamento de fatores humanos e técnicos envolvidos nas atividades de GQSEA. Para atender ao objetivo deste trabalho, foi executado um *Survey*,



onde 25 profissionais de GQSEA responderam um questionário (Tabela 1) que buscou identificar a percepção dos profissionais envolvidos na execução de atividades de GQSEA na indústria aeronáutica brasileira.

Adicionalmente, foi realizado um levantamento de informações quanto às atividades técnicas de avaliação dos profissionais de GQSEA, onde os resultados mostraram que boa parte da audiência (18) tem dificuldade na análise de Testes de Integração Software-Software e Implementação. Os profissionais têm mais proficiência nas atividades que envolvem Requisitos, onde apenas uma pequena parte da audiência (2) tem dificuldade. Como consequência direta, a maioria das não-conformidades encontradas são justamente às associadas com as atividades de Requisitos. Por consequência da maior proficiência em Requisitos, os profissionais de GQSEA são mais capazes de identificar não-conformidades neste tipo de artefato. Finalmente, recomenda-se a priorização de treinamento dos profissionais de GQSEA nas atividades técnicas mais carentes de formação, a saber, Testes, especialmente de integração Software-Software e Hardware-Software, e em Implementação (Codificação). Na análise qualitativa da Q4 foi possível identificar e classificar as carências levantadas pelos respondentes. Essas carências foram associadas aos fatores humanos e técnicos, conforme apresentado e discutido na Seção 4.

Foram identificados os seguintes trabalhos futuros:

1. A necessidade em realizar entrevistas individuais com profissionais de GQSEA, aprofundando o entendimento das questões observadas;
2. A necessidade em descobrir o porquê de Requisitos serem os artefatos com mais facilidade de serem avaliados pelos profissionais de GQSEA. Também torna-se necessário descobrir quais causas podem estar associadas à deficiência observada em Implementação e Testes. Apesar deste trabalho apontar a necessidade de priorizar o treinamento em Implementação e Testes, cabe aqui um aprofundamento nesta questão, já que não foram tomadas ações investigativas dos autores para a identificação de uma possível causa-raiz; e
3. A necessidade de extração de novas descobertas que não foram capturadas no *Survey* e uma disponibilização deste questionário em inglês, visando sua ampliação e internacionalização.

## Referências

- Andres-Jimenez, J., Medina-Merodio, J.-A., Fernandez-Sanz, L., Martinez-Herraiz, J.-J., and Gonzalez-De-Lope, J. (2020). A framework for evaluating the standards for the production of airborne and ground traffic management software. *IEEE Access*, 8.
- Barros, L., Hirata, C., Marques, J., and Ambrosio, A. M. (2020). Generating test cases to evaluate and improve processes of safety-critical systems development. In *2020 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)*.
- Georges, M. R. R. and Passarella, F. (2020). *Sustentabilidade na Indústria Aeronáutica Brasileira*. Appris.
- Helgeson, J. W. (2009). *The Software Audit Guide*. ASQ Quality Press.
- Imamura, M., Costa, L. A., Pereira, B., Ferreira, F. H., Fontão, A., and dos Santos, R. (2020). Fatores de governança em sistemas-de-sistemas: Análise de uma instituição

- pública brasileira. In *Anais do V Workshop sobre Aspectos Sociais, Humanos e Econômicos de Software*, pages 31–40, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Kasunic, M. (2005). *Designing an Effective Survey*. Software Engineering Institute.
- Lemes, M. J. R., Altoé, F. O., Domiciano, A. J., and Carbonari, A. (2003). Software certification in airborne systems: process and challenges. In *2003 Latin American on Dependable Computing (LADC)*.
- Marques, J. and Cunha, A. (2017). Verification scenarios of onboard databases under the rtca do-178c and the rtca do-200b. In *2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*.
- Marques, J. and Cunha, A. (2018). Tailoring traditional software life cycles to ensure compliance of rtca do-178c and do-331 with model-driven design. In *2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*.
- Marsden, J., Windisch, A., Mayo, R., Grossi, J., Villermin, J., Fabre, L., and Aventini, C. (2019). Ed-12c/do-178c vs. agile manifesto – a solution to agile development of certifiable avionics systems. In *9th European Congress of Embedded Real-Time Software and Systems*.
- Moy, Y., Ledinot, E., Delseny, H., Wiels, V., and Monate, B. (2013). Testing, or formal verification: Do-178c alternatives and industrial experience. *IEEE Software*, 30(3):50–57.
- Paz, A. and Bousaidi, G. (2016). On the exploration of model-based support for do-178c-compliant avionics software development and certification. In *IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)*.
- Pernstal, J., Feldt, R., Gorschek, T., and Florén, D. (2019). Communication problems in software development - a model and its industrial application. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 29(10).
- Rierson, L. (2013). *Developing Safety-Critical Software: A Practical Guide for Aviation Software and DO-178C Compliance*. CRC Press.
- RTCA (2011). Do-178c software considerations in airborne systems and equipment certification.
- Sarkis, A., Marques, J., and Dias, L. A. V. (2020). Direcionadores para o desenvolvimento baseado em modelos de software embarcado aeronáutico. *Cadernos do IME : Série Informática*, 44(1).
- Slavov, T. M. R., Martins, L. E. G., and Marques, J. (2020). A software audit model for safety-critical domains. In *39th International Conference on Computer Safety, Reliability and Security (SAFECOMP)*, Lisbon, Portugal.
- VanderLeest, S. and Buter, A. (2009). Escape the waterfall: Agile for aerospace. In *2009 IEEE/AIAA 28th Digital Avionics Systems Conference*.
- Westfall, L. (2020). *The Certified Software Quality Engineer Handbook*. Quality Press.
- Yelisetty, S. M., Marques, J., and Tasinaffo, P. M. (2015). A set of metrics to assess and monitor compliance with rtca do-178c. In *34th IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference*.