

Identificação e Avaliação de Carências, Fatores Humanos e Técnicos na Garantia de Qualidade em Software Embarcado Aeronáutico no Brasil

Identification and Evaluation of Shortages, Human and Technical Factors in Quality Assurance in Airborne Software in Brazil

Sarasuaty Yelisetty¹ , Lilian Barros¹, Talita Slavov¹ , Johnny Marques¹ 

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

{sarasuaty, lilian, johnny, talitatmrs}@ita.br

Abstract. *Context: recent aeronautical products strongly use Embedded Aeronautical Software, where quality assurance is essential. Research problem: this research involves discovering which human and technical needs and factors are involved in the Aeronautical Embedded Software Quality Assurance (GQSEA) activity in the Brazilian aeronautical industry. Solution: the solution involved identifying and evaluating the shortcomings, human and technical factors of GQSEA in Brazil, applying a Survey with 25 participants, and later an interview with 8 participants. Justification and motivation: in regulated environments, such as aviation, human and technical factors are essential for quality assurance. However, the authors did not find similar work addressing this issue. Additionally, identifying these factors and shortcomings can help structure actions such as training in RTCA DO-178C and defining GQSEA metrics. Conclusion: this work identified shortcomings, technical and human factors from the execution of a Survey raised by the community involved in the execution of the Survey involving the target audience. An interview with 8 GQSEA professionals also analyzed these shortcomings and factors.*

Keywords. *software; airborne; certification; quality*

Resumo. *Contexto: os produtos aeronáuticos recentes possuem forte uso de Software Embarcado Aeronáutico, onde naturalmente a garantia da qualidade é essencial. Problema de pesquisa: essa pesquisa envolve descobrir quais as carências e fatores humanos e técnicos são envolvidos na atividade de Garantia de Qualidade de Software Embarcado Aeronáutico (GQSEA) na indústria aeronáutica brasileira. Solução: a solução envolveu identificar e avaliar as carências, fatores humanos e técnicos de GQSEA no Brasil, aplicando se um*

Survey com 25 participantes e posteriormente uma entrevista com 8 participantes. 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. Adicionalmente, a identificação destes fatores e carências podem ajudar na estruturação de ações como capacitação em RTCA DO-178C e definição de métricas de GQSEA. Conclusão: este trabalho identificou carências, fatores técnicos e humanos a partir da execução de um Survey levantadas pela comunidade envolvida na execução do Survey envolvendo o público-alvo. Essas carências e fatores foram avaliados posteriormente em uma entrevista com 8 profissionais de GQSEA.

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 2011a]. 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].

Os sistemas de informação são estratégicos para as organizações contemporâneas, pois automatizam os processos organizacionais ou desenvolvem soluções que constituem-se com vantagens competitivas por possibilitar: análise de cenários, apoio ao processo de decisão, definição e implementação de novas estratégias organizacionais. Contudo, a incorporação da tecnologia de informação nas organizações e em produtos provoca o surgimento de novos problemas, o que demanda pesquisas voltadas para os aspectos conceituais e para a aplicação nos contextos organizacionais. Assim, a pesquisa em Sistemas de Informação se estabelece assim no tripé pessoas, organizações e tecnologias e combinam aspectos multidisciplinares: computação, matemática, ciência da informação, administração e gestão, comportamento organizacional [Boscarioli et al. 2017].

Assim, além da segurança naturalmente requerida, a garantia da qualidade é fator de extrema importância. Por este motivo, a RTCA DO-178C [RTCA 2011a] e seus suplementos, definem objetivos e atividades que devem ser satisfeitos no desenvolvimento de software embarcado aeronáutico. Dentre esses objetivos e atividades, destaca-se o conjunto de objetivos associados às garantias de qualidade no desenvolvimento dos produtos

de software e no seu processo de desenvolvimento. Importante destacar que essa garantia envolve inclusive a garantia sobre as atividades de validação e verificação do produto de software e dos processos associados a essas atividades. O GQSEA é uma avaliação independente requerido pela RTCA DO-178C, visando que a organização forneça uma garantia sobre todos os objetivos e atividades previstos na norma.

Para fins de identificação e caracterização, este trabalho identificou dois públicos envolvidos em projetos de Software Embarcado Aeronáutico (SEA):

- Profissionais de Desenvolvimento de Software Embarcado Aeronáutico (DSEA): profissionais que participam do desenvolvimento, validação e verificação 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. Esses profissionais não participam do desenvolvimento, validação ou verificação, e focam na garantia de satisfação dos objetivos da RTCA DO-178C.

O objetivo deste trabalho é **identificar e avaliar carências, fatores humanos e técnicos na Garantia de Qualidade de Software Embarcado Aeronáutico (GQSEA) no Brasil**. Este trabalho possui características que se apoiam no tripé pessoas, organizações e tecnologias, justamente pela identificação dos fatores humanos e técnicos, em organizações aeronáuticas brasileiras, no que tange à GQSEA, logo se caracterizando por uma pesquisa em Sistemas de Informação.

A metodologia de condução da pesquisa relatada neste trabalho envolve o planejamento e execução de um *Survey* com a análise de seus resultados que levaram na identificação de carências, fatores humanos e técnicos. A identificação dessas carências, fatores humanos e técnicos foram inicialmente reportadas no artigo apresentado no artigo publicado nos Anais do VI Workshop sobre Aspectos Sociais, Humanos e Econômicos de Software (WASHES 2021) [Yelisetty et al. 2021]. Este artigo apresenta uma extensão desse trabalho original, que passou um por um aprofundamento dos resultados apresentados e também na execução de entrevistas para avaliação pelo público-alvo das carências, fatores humanos e técnicos através uma entrevista. Os autores acreditam ser necessário identificar as carências e fatores humanos e técnicos que possam subsidiar ações efetivas das organizações aeronáuticas brasileiras para sanar ou reduzir essas carências.

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 ameaças à validade; a seção 7 com as limitações; e a seção 8 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 2011a] oferece diretrizes sobre os processos de desenvolvimento de SEA em cada um dos seus 5 níveis de uso (A, B, C, D e E).

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.

Cada um dos seus 5 níveis de SEA (A, B, C, D e E) desdobra-se em objetivos que devem ser satisfeitos para viabilizar sua aprovação, como parte do processo de certificação de uma aeronave. O nível A possui maior rigor e exige o cumprimento de todos os objetivos da norma. Já o nível E 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. Uma vez levantadas as possíveis condições de falha, os níveis são definidos conforme a Tabela 1 e torna-se necessária a satisfação de um conjunto de objetivos associados da RTCA DO-178C.

Tabela 1. Classificação em Níveis de Software pela RTCA DO-178C

Condição de Falha de Sistema	Nível de Software	Total de Objetivos
Catastrófica	A	71
Perigosa	B	69
Maior	C	62
Menor	D	24
Sem Impacto em Segurança	E	Nenhum

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 por objetivos que devem ser cumpridos. A Figura 1, mostra o relacionamento entre as diversas tabelas da RTCA DO-178C.

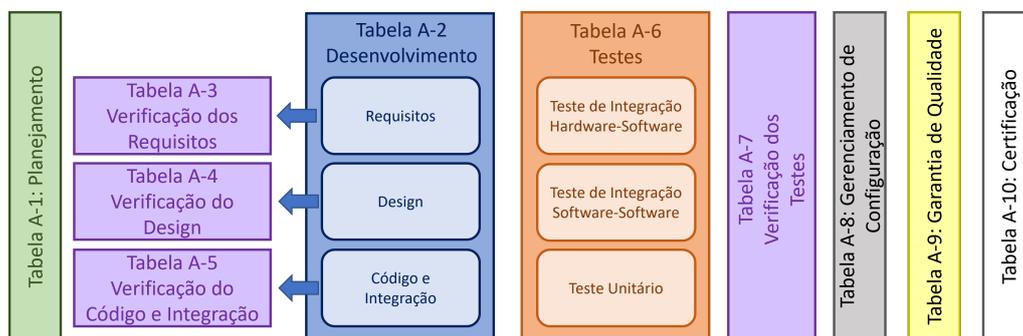


Figura 1. Organização de tabelas da RTCA DO-178C

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. De acordo com Ribeiro et al. (2017), os artefatos são produzidos por pessoas em todos os estágios do processo, estabelecendo assim o dinamismo do ambiente e do processo de produção de software.

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 conforme 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.

De acordo com Monteiro & Maciel (2020), os modelos de maturidade são usados para facilitar o *benchmarking* de processos organizacionais internos e/ou externos e podem fornecer diretrizes para o crescimento corporativo. Um modelo de maturidade pode ser amplamente usado como uma forma de avaliar o quão hábil uma organização é na gestão de seus projetos e sua maturidade atual, por exemplo. Ajudar a identificar em que nível de maturidade uma organização se encontra ajuda a definir o melhor caminho para os próximos passos a serem alcançados. De acordo com CMMI 1.3 [Chrissis et al. 2011], a atividade de Garantia de Software envolve a avaliação dos processos e seus artefatos produzidos, com registro e comunicação apropriada das não-conformidades encontradas. Existem diversas formas para avaliação de produtos e processos.

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 conforme 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 do 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: Planejamento, Execução, Análise de Resultados e Entrevistas. Dentro das 4 etapas, foram executadas 7 atividades, conforme apresentado na Figura 2 (inspirada no guia proposto por Kasunic *et al.* (2005)).

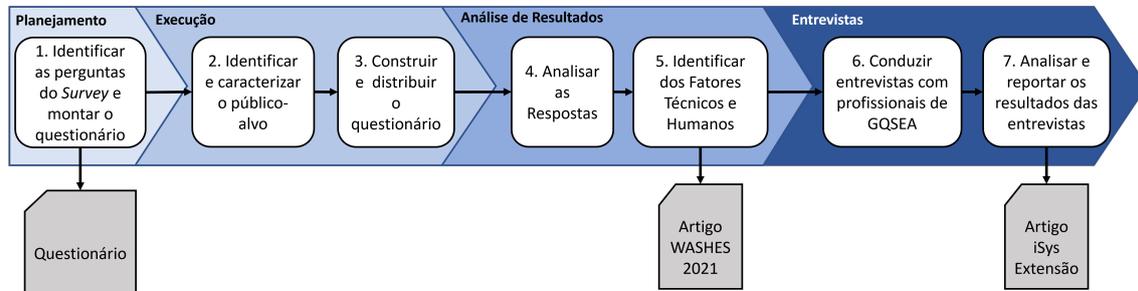


Figura 2. Metodologia

As três primeiras etapas, contendo as atividades de 1 até 5, ilustradas na Figura 2, foram executadas e reportadas no artigo publicado nos Anais do VI Workshop sobre Aspectos Sociais, Humanos e Econômicos de Software (WASHES 2021) [Yelisetty *et al.* 2021]. A última etapa, contendo duas atividades, representa o esforço de pesquisa para esta extensão de trabalho.

3.1. Planejamento

A Etapa *Planejamento* envolveu todo o planejamento que envolveu a identificação d de carências e dos fatores humanos e técnicos na Garantia de Qualidade em Software Embarcado Aeronáutico no Brasil. Essa etapa uma atividade. A atividade 1 buscou uma justificativa para a escolha das perguntas necessárias para o *Survey*. As perguntas do *Survey* precisaram 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 possuem 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.

O *Survey* deve apresentar itens com perguntas que visam identificar as respostas mais apropriadas do público-alvo para a questão. Estes itens podem:

1. Possuir resposta de múltipla escolha, onde o público-alvo seleciona a opção mais adequada;
2. Possuir resposta livre, onde o público-alvo coloca a sua resposta no formato desejado e livre; e
3. Possuir várias opções no modo caixa de seleção, onde o público-alvo pode escolher mais de uma resposta.

O questionário, apresentado na Tabela 2, contem as perguntas e suas justificativas. Além das 4 perguntas, o questionário também buscava identificar o perfil e caracterização da experiência do público-alvo, coletados como parte do *Survey*.

Tabela 2. 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

A questão Q1 apresentou as seguintes opções de resposta, que poderiam ser selecionadas livremente em uma caixa de seleção:

1. Requisitos;
2. Design;
3. Implementação;
4. Teste de Integração Hardware-Software;
5. Teste de Integração Software-Software; e
6. Teste Unitário.

A questão Q2 apresentou as seguintes opções de resposta para seleção única:

1. O auditado tem dificuldade em reconhecer as não-conformidades apontadas;
2. O auditado acredita que conhece mais que o auditor;
3. O auditado não vê valor nas atividades de GQSEA; e
4. O auditado não vê valor em seguir um processo de desenvolvimento definido.

A questão Q3 apresentou os 71 objetivos da RTCA DO-178C para escolha de qual apresenta mais não-conformidades observadas pelo profissional de GQSEA. Por fim, a questão Q4 envolvia uma resposta livre.

As questões Q1 e Q3, buscavam carências associadas a ordem humana e as questões Q2 e Q4 buscavam carências associadas a ordem técnica. A alternância desse foco no questionário foi proposital, já que os autores deste trabalho entenderam que ao responder perguntas com foco humano e/ou técnico em ordem sequencial, poderia causar algum viés, fazendo com que o público-alvo avaliasse apenas em uma perspectiva (humana ou técnica) as quatro perguntas do *Survey*. 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. A iteração com o grupo piloto fez com que o questionário sofresse duas revisões até chegar na versão apresentada na Tabela 2.

3.2. Execução

A Etapa *Execução* envolveu a execução de duas atividades. A atividade 2 buscou identificar e caracterizar o público-alvo envolvido. Por ser um *Survey* focado em um público-alvo específico, ou seja, pessoas que executam atividades de Garantia de Qualidade de SEA na indústria aeronáutica brasileira. Os integrantes do público-alvo selecionado precisava atender os seguintes requisitos:

- Req-1: Os profissionais devem ter pelo menos 1 ano de experiência em atividades de GQSEA;
- Req-2: Os profissionais devem atuar ou terem atuado em GQSEA no Brasil; e
- Req-3: Os profissionais devem concordar em participar do *Survey*.

A identificação do público-alvo buscava profissionais de GQSEA que trabalhassem ou tivessem trabalhado na indústria aeronáutica brasileira. Os autores desta pesquisa focaram em profissionais que tinham contato pessoal, já que dos quatro autores, dois atuam e os outros dois já atuaram como profissionais de GQSEA. Todos possuem mais de 10 anos de experiência em atividades de GQSEA. Não foi oferecido nenhum benefício e a participação foi espontânea. Foram identificados 39 profissionais de GQSEA de 6 organizações brasileiras que desenvolvem SEA. A atividade 3 buscou distribuir os questionários para os 39 identificados.

3.3. Análise dos Resultados

A Etapa *Análise de Resultados* possui apenas uma atividade. A atividade 4 envolveu analisar todas as respostas recebidas. A partir das respostas do *Survey* foram identificadas as várias carências identificadas pelo público-alvo. As carências foram posteriormente agrupadas em fatores de ordem humana ou técnica, como parte da atividade 5.

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. Na questão Q4 foi aplicada uma análise qualitativa que envolveu 4 passos apresentados na Figura 3. Inicialmente cada pesquisador avaliou individualmente e separadamente cada resposta da questão Q4 (passo P1). A partir dessa avaliação, cada pesquisador identificou sua própria lista de carências (passo P2), fatores humanos e fatores técnicos (passo P3). Com a existência de uma lista de carências, uma lista de fatores humanos e uma lista de fatores técnicos de cada um dos quatro pesquisadores, houve uma reunião coletiva para definição da lista final de carências, fatores humanos e técnicos identificados neste trabalho.

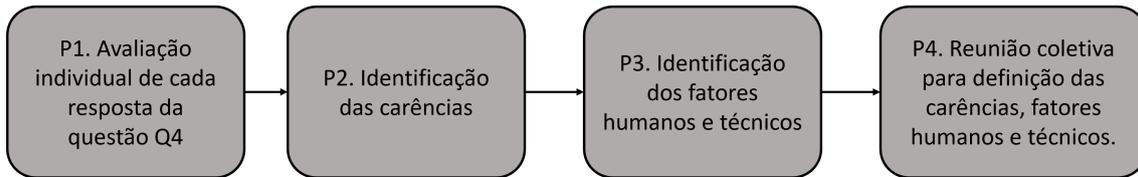


Figura 3. Fluxo da análise qualitativa da questão Q4

Com as carências estabelecidas, estas foram agrupadas em fatores humanos e técnicos na reunião coletiva dos pesquisadores. Estas carências (C) foram agrupadas em fatores humanos ou técnicos, conforme a Figura 4.

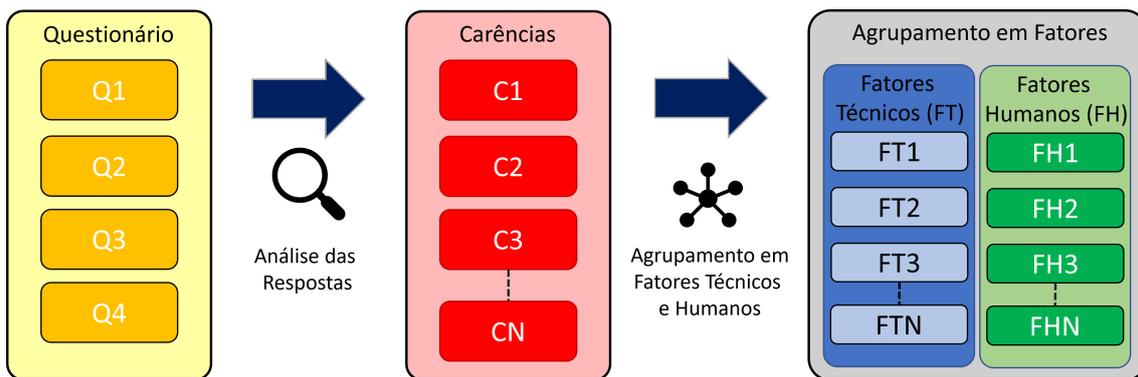


Figura 4. Fluxo de questões, carências e fatores

3.4. Entrevistas

A Etapa *Entrevistas* contou com duas atividades. Após a identificação das carências, dos fatores humanos e técnicos, a atividade 6 buscou realizar entrevistas que permitissem a avaliação das carências e desses fatores pelo próprio público-alvo. Nesta atividade foram conduzidas entrevistas com alguns integrantes do público-alvo original que respondeu o questionário. Como se tratava de uma atividade extra, após a resposta de cada participante no questionário, não existia uma expectativa por parte dos autores desta pesquisa que todos os participantes do questionário, também aceitariam uma participação por entrevista, embora estes tenham sido contactados e convidados a participar.

As entrevistas foram roteirizadas para permitir que fossem conduzidas de forma harmonizada. Assim foram definidas 3 (três) passos (P1, P2, e P3) para cada entrevista realizada, conforme apresentado na Figura 5.

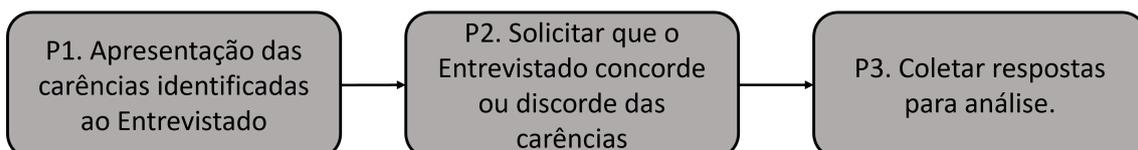


Figura 5. Fluxo das entrevistas

No passo P1, para cada entrevistado foram apresentadas para as carências identificadas. No passo P2, cada um dos convidados foram questionados se concordam ou discordam da carência identificada. Cada entrevistado aponta se concorda (C) ou discorda (D) com a carência levantada pela análise qualitativa da questão Q4. Por fim, todos os resultados foram consolidados e sintetizados no passo P3. Por fim, na atividade 7, foi realizada uma análise visando reportar os resultados individuais das entrevistas conduzidas.

4. Resultados e Discussão

Essa seção sintetizará os resultados percebidos na execução do *Survey* apresentada na Figura 2. A identificação e caracterização do público-alvo encontra-se com resultados apresentados na Figura 6, onde 86% do público-alvo 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% do público-alvo já realiza atividades de GQSEA há mais de 10 anos.

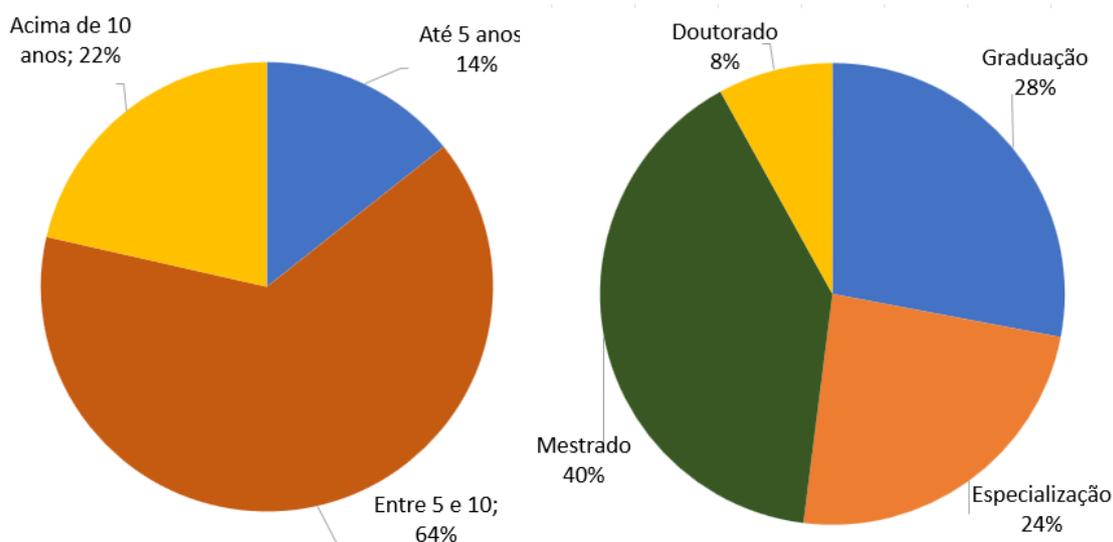


Figura 6. Experiência e escolaridade da audiência

Esses 25 profissionais estão distribuídos em diferentes organizações apresentadas na Figura 7. em relação às organizações, foram categorizadas as empresas em três grupos: empresas de grande porte (acima de 3.000 empregados); empresas de médio porte (entre 500 e 2.999 empregados); empresas de pequeno porte (até 499 empregados). Além das empresas, também foram distribuídos questionários para profissionais de GQSEA que encontram-se hoje na academia e em organizações militares. Das empresas de grande porte, foram identificados 60% (15 respondentes). Já nas empresas de médio porte e na academia foram identificados 12% (3 respondentes em cada categoria). Por fim, nas

empresas de médio porte e nas organizações militares foram identificados 8% (2 respondentes em cada categoria).

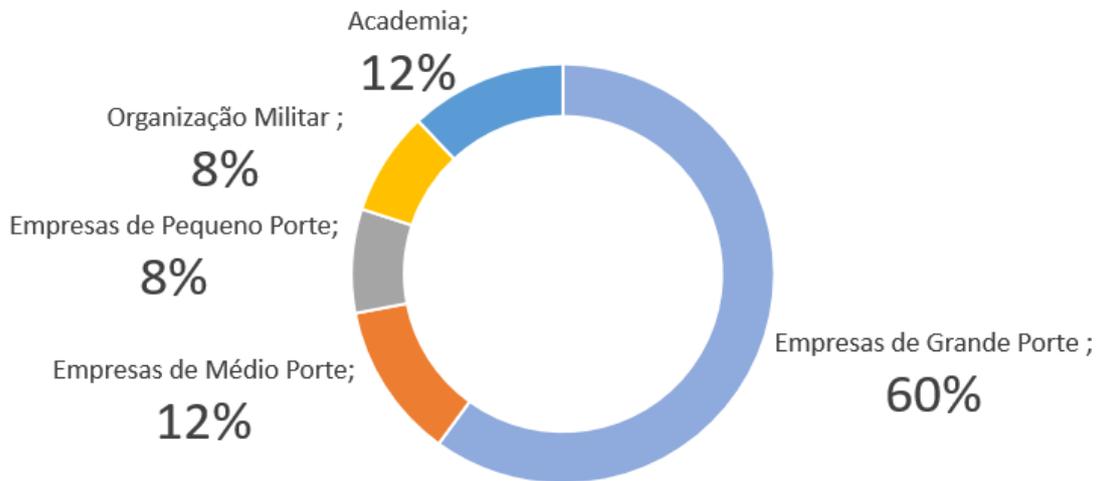


Figura 7. Distribuição em categorias das organizações

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 do público-alvo foi de 64,1% já que 25 dos 39 convidados responderam.

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% do público-alvo (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% do público-alvo (2 profissionais) afirma ter alguma dificuldade na avaliação desta categoria de atividade. Estes resultados estão sintetizados na Figura 8.

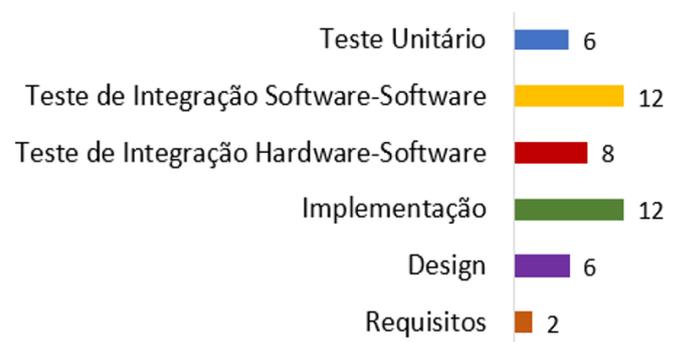


Figura 8. Dificuldades técnicas do público-alvo (Q1)

Uma das dificuldades que a literatura especializada relata é a confiança sobre o trabalho de auditores e do valor 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 o público-alvo 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 9 apresenta os resultados associados à Q2 do *Survey*.

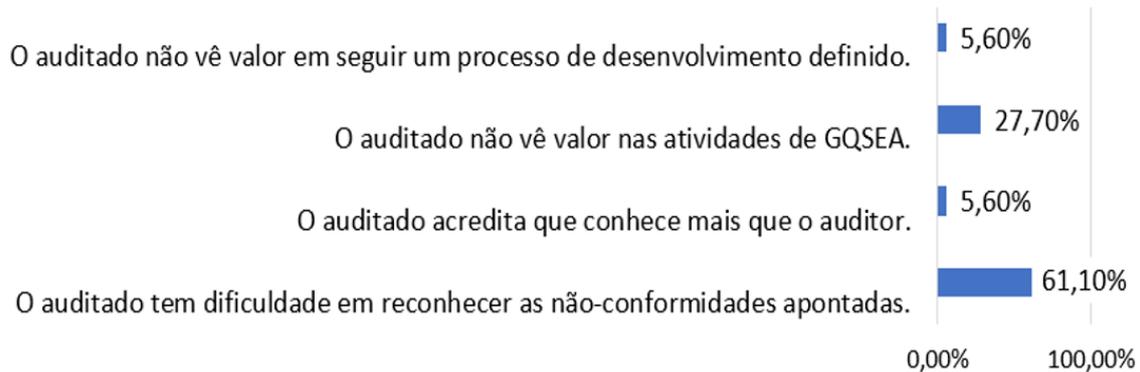


Figura 9. Comportamentos negativos (Q2)

Na Q3 foi perguntado para o público-alvo qual é o objetivo da RTCA DO-178C que esses profissionais mais encontram não-conformidades. Dentre os 71 objetivos, os respondentes selecionaram 11 objetivos que na percepção deles apresentam mais não-conformidades, sendo eles:

- Tabela A-1/Obj. 7: *Development and revision of software plans are coordinated;*
- Tabela A-2/Obj. 1: *High-level requirements are developed;*
- Tabela A-3/Obj. 1: *High-level requirements comply with system requirements;*
- Tabela A-3/Obj. 2: *High-level requirements are accurate and consistent;*
- Tabela A-3/Obj. 6: *High-level requirements are traceable to system requirements;*
- Tabela A-4/Obj. 1: *Low-level requirements comply with high-level requirements;*
- Tabela A-6/Obj. 3: *Executable Object Code complies with low-level requirements;*
- Tabela A-7/Obj. 4: *Test coverage of low-level requirements is achieved;*
- Tabela A-8/Obj. 2: *Baselines and traceability are established;*
- Tabela A-9/Obj. 2: *Assurance is obtained that software life cycle processes comply with approved software plans;* e
- Tabela A-9/Obj. 4: *Assurance is obtained that transition criteria for the software life cycle processes are satisfied.*

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 pelo público-alvo como os que mais são encontrados não-conformidades. Os resultados da Q3 encontram-se apresentados na Figura 10. 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 8, 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.

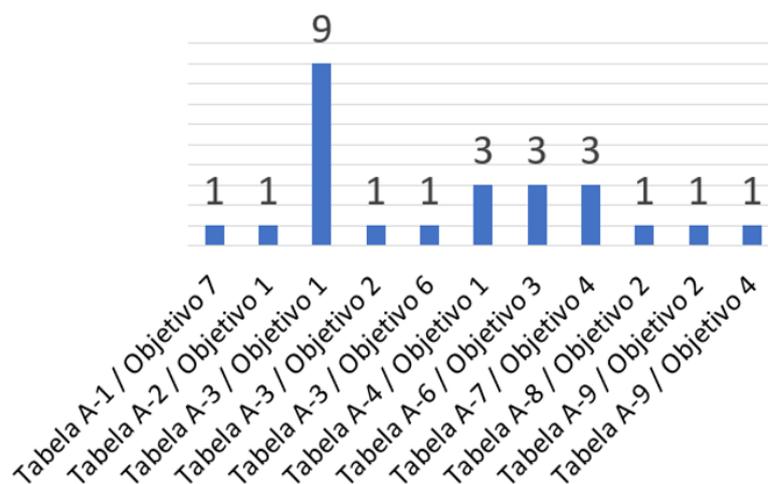


Figura 10. Objetivos com mais não-conformidades (Q3)

Na Q4, o público-alvo foi consultado para identificar as carências existentes nas atividades de GQSEA. As carências identificadas e agrupadas qualitativamente, encontram-se apresentadas na Figura 11 e serão discutidas na seção 4.1.

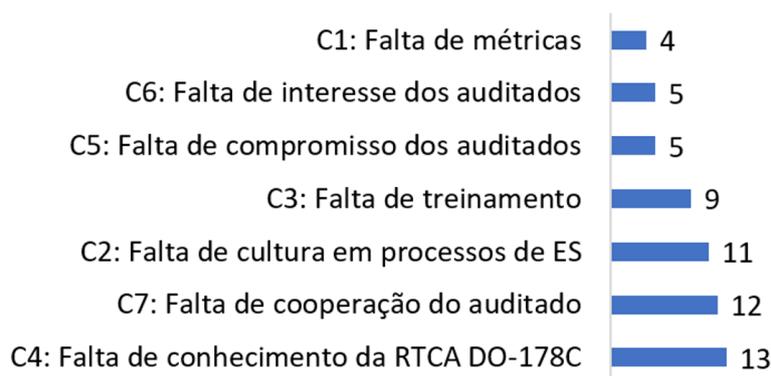


Figura 11. Carências (Q4)

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**.

4.1. Carências

As seguintes carências (C) foram identificadas entre os 25 participantes do público-alvo no preenchimento da questão Q4 do *Survey*:

- C1: Falta de métricas;
- C2: Falta de cultura em processos de Engenharia de Software;
- C3: Falta de treinamento;
- C4: Falta de conhecimento da RTCA DO-178C;
- C5: Falta de compromisso dos auditados;
- C6: Falta de interesse dos auditados; e
- C7: Falta de cooperação do auditado.

A Tabela 3 apresenta a distribuição de cada respondente do *Survey*. Cada respondente foi identificado por R-XX, onde XX é um número de ordem entre 1 e 25.

Tabela 3. Carências por Respondente

Carência	Respondente
C1: Falta de métricas	R-01, R-12, R-23, R-25
C2: Falta de cultura em processos de Engenharia de Software	R-02, R-03, R-08, R-09, R-11, R-12, R-14, R-15, R-17, R-19, R-24
C3: Falta de treinamento	R-04, R-07, R-10, R-13, R-14, R-16, R-20, R-21, R-22
C4: Falta de conhecimento da RTCA DO-178C	R-02, R-05, R-06, R-07, R-10, R-12, R-13, R-15, R-19, R-20, R-21, R-23, R-25
C5: Falta de compromisso dos auditados	R-04, R-05, R-09, R-17, R-18
C6: Falta de interesse dos auditados	R-03, R-05, R-08, R-12, R-23
C7: Falta de cooperação do auditado	R-04, R-08, R-09, R-10, R-13, R-15, R-17, R-19, R-20, R-21, R-22, R-23

Estas carências foram agrupadas posteriormente em fatores humanos ou técnicos, conforme apresentado nas seções a seguir 4.2 e 4.3.

4.2. Fatores Técnicos

A Figura 12 apresenta a síntese de organização das carências identificadas no *Survey*. Na análise geral dos dados do *Survey* foram encontrados dois fatores técnicos (FT1 e FT2).

Percebe-se que nas carências identificadas e associadas aos fatores técnicos, algumas podem demandar maior atenção como a “C2: 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*, “C4: Falta de

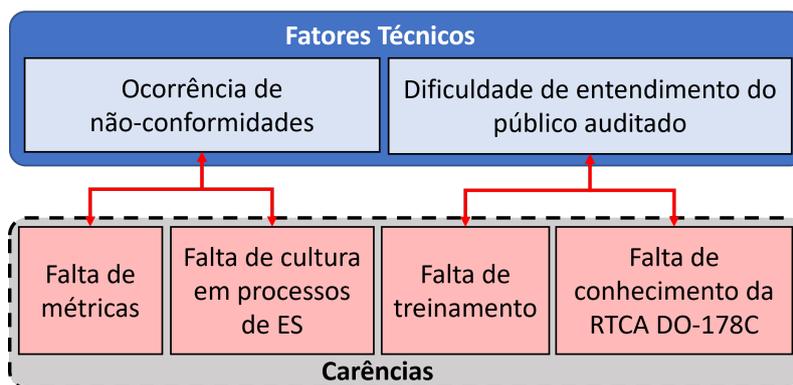


Figura 12. Fatores técnicos de GQSEA

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 “C1: *Falta de métricas*”, apesar da existência do trabalho de Yelisetty *et al.* (2015) que apresenta a definição de métricas usando as diretrizes do *Practical System and Software Measurement*.

4.3. Fatores Humanos

A Figura 13 apresenta a síntese de organização das carências identificadas no *Survey*. Na análise geral dos dados do *Survey* foram encontrados dois fatores humanos (FH1 e FH2).

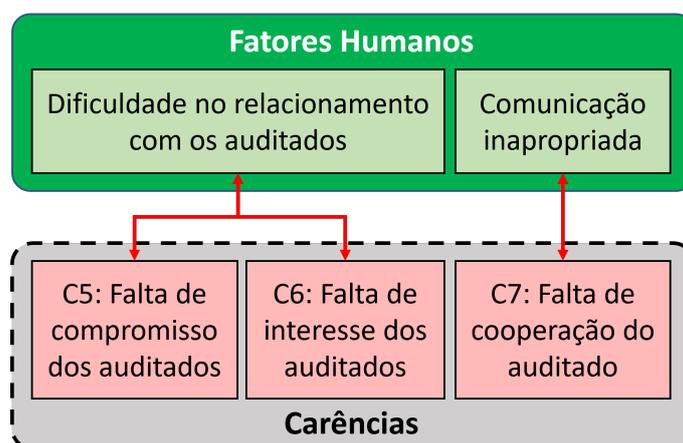


Figura 13. Fatores humanos de GQSEA

Nos fatores humanos, destaca-se o “FH 2: *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 inapropriada é causada principalmente pela “C7: Falta de cooperação do auditado”. Adicionalmente, os respondentes relataram uma dificuldade no relacionamento com os auditados, ocasionado pela “C5: Falta de compromisso dos auditados” e “C6: Falta de interesse dos auditados”.

4.4. Avaliação das Carências, Fatores Humanos e Técnicos nas Entrevistas

Visando avaliar as carências, fatores humanos e técnicos identificados, foram conduzidas entrevistas com os respondentes que colocaram mais detalhes na resposta da questão Q4 do *Survey*, permitindo identificar e caracterizar o maior número de carências identificadas neste trabalho.

A identificação e caracterização dos entrevistados encontra-se com resultados apresentados na Figura 14, onde 100% do público-alvo 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 12% com especialização (1 respondente), 63% com mestrado (5 respondentes) e 25% com doutorado (2 respondentes). Esses valores mostram que a maioria dos envolvidos nestas atividades possuem uma experiência profissional razoável e boa formação, já que 88% possui formação *strictu sensu*, com destaque que 75% do público-alvo já realiza atividades de GQSEA há mais de 10 anos.

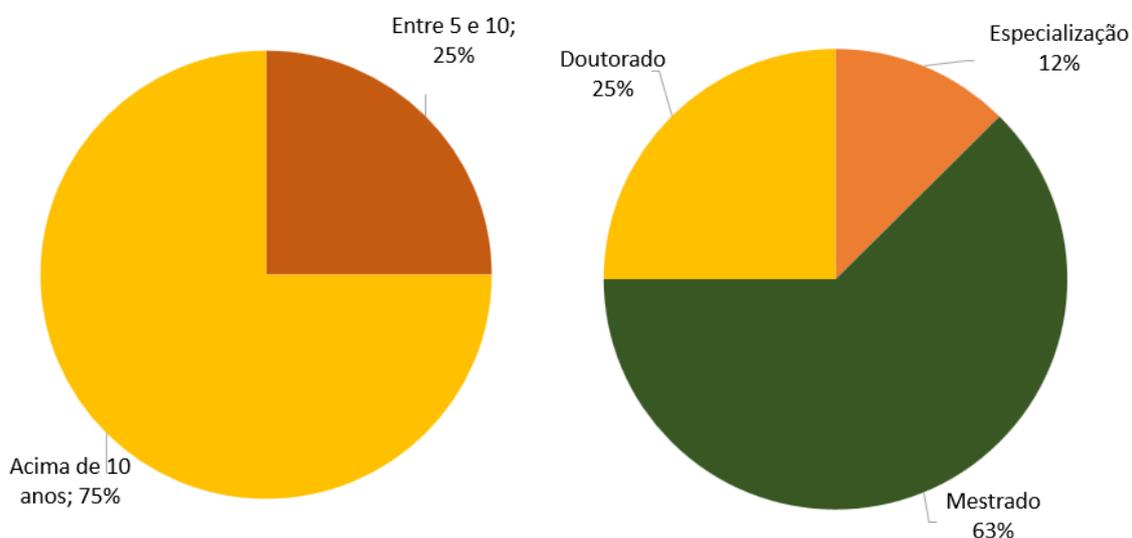


Figura 14. Experiência e escolaridade dos entrevistados

Assim, 9 (nove) respondentes foram convidados para as entrevistas, já que esses respondentes, pela riqueza de detalhes informada na questão Q4, propiciaram a identificação das carências (C):

- R-05, R-08, R-09, R-10, R-13, R-17 e R-20, propiciaram a identificação de 3 carências distintas; e
- R-12 e R-23, propiciaram a identificação de 4 carências distintas.

Porém, dos 9 (nove) convidados, apenas 8 (oito) aceitaram realizar a entrevista para maior aprofundamento sobre as carências identificadas. O respondente R-10 foi o único que não retornou resposta sobre a aceitação da entrevista.

As entrevistas foram roteirizadas para permitir que fossem conduzidas de forma harmonizada entre os 8 (oito) convidados. Assim foram definidas 3 (três) passos (P1, P2, e P3) para cada uma das 8 (oito) entrevistas, conforme apresentado na Figura 5.

A entrevista com os 8 (oito) convidados que aceitaram participar aconteceu em 3 (três) passos, conforme o fluxo apresentado na Figura 5. No passo P1, os 8 (oito) entrevistados foram apresentados para as 7 (sete) carências (C1..C7) identificadas no *Survey*.

No passo P2, cada um dos convidados foram questionados se concordam ou discordam da carência identificada. Cada convidado respondente do *Survey*, apontou se concorda (C) ou discorda (D) com a carência levantada pela análise qualitativa da questão Q4.

Por fim, todos os resultados foram consolidados e sintetizados no passo P3, conforme apresentado na Tabela 4. As células marcadas em cinza compreendem que o convidado entrevistado concordou com a carência que também foi identificada com sua resposta à questão Q4.

Tabela 4. Análise das carências nas entrevistas

Carência (C)	R-05	R-08	R-09	R-10	R-12	R-13	R-17	R-23
C1	C	D	C	D	C	C	C	C
C2	C	C	C	C	C	C	C	C
C3	D	C	D	C	D	C	C	C
C4	C	D	C	C	C	C	D	C
C5	C	C	C	C	C	C	C	C
C6	C	C	C	C	C	C	C	C
C7	C	C	C	C	C	C	C	C

Destaca-se que 2 (dois) entrevistados (R-08 e R-10) discordaram da carência *C1: Falta de métricas*. Eles alegam que em suas rotinas de trabalho já se utilizam de métricas, mas ambos apontaram que são métricas criadas de forma individual e não métricas definidas pelas empresas das quais fazem parte.

Adicionalmente, 3 (três) entrevistados (R-05, R-09 e R-12) discordaram da carência *C3: Falta de treinamento*, pois alegam que receberam treinamento adequado para as atividades de GQSEA em suas empresas.

Já 2 (dois) entrevistados (R-08 e R-17) discordaram da carência *C4: Falta de conhecimento da RTCA DO-178C*, pois alegam que já possuem bastante experiência na norma RTCA DO-178C e que isso não é uma carência generalizada. Aqui cabe ressaltar, e à luz dos dados da Figura 6, que tanto R-08, quanto R-17, fazem parte dos 22% que já

trabalham com GQSEA a mais de 10 anos. Adicionalmente, R-08 é parte dos 40% que possuem formação em nível de mestrado, enquanto que R-17 é parte dos 8% que possuem formação em nível de doutorado.

Finalmente, não houve nenhuma discordância dos 8 (oito) entrevistados para as carências:

- C2: Falta de cultura em processos de Engenharia de Software;
- C5: Falta de compromisso dos auditados;
- C6: Falta de interesse dos auditados; e
- C7: Falta de cooperação do auditado.

5. Trabalhos Correlatos

O desenvolvimento de SEA já se encontra padronizado na aviação através do uso da RTCA DO-178C [RTCA 2011a] 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 5 (cinco) temáticas:

- Impactos na transição da DO-178B [RTCA 1992] para a DO-178C [RTCA 2011a], como explorado nos trabalhos de Marcil (2012) e Youn *et al.* (2015);
- 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);
- Verificação Formal, como percebido nos trabalhos Moy *et al.* (2013) e Marques & Cunha (2017); e
- Carregamento de Software Embarcado Aeronáutico, como reportado no trabalho de Marques *et al.* (2019) e Marques *et al.* (2021);

O trabalho de Marcil (2012) explica os benefícios dos métodos formais e da tecnologia orientada a objetos que o RTCA DO-178C oferece em conjunto com a RTCA DO-332 [RTCA 2011c] e RTCA DO-333 [RTCA 2011d]. Também se concentra especificamente no uso de modelagem no desenvolvimento de software e na qualificação de ferramentas que automatizam ou facilitam a verificação e validação de aplicativos de aviônicos construídos a partir de modelos para garantir que não haja nenhuma função não intencional.

O trabalho de Youn *et al.* (2015) apresenta uma visão geral das diretrizes para software aeronáutico contidas na RTCA DO-178C e documentos suplementares. Também aborda a semelhança entre a RTCA DO-178B e a DO-178C, revisando os fundamentos da filosofia de verificação e uma visão geral das principais orientações incluídas na RTCA DO-178C.

O trabalho de Paz & Bousaidi (2016) apresenta um arcabouço para uso de modelos para conformidade com a RTCA DO-178C. Eles também analisaram outras abordagens em comparação com o arcabouço proposto, destacando semelhanças, diferenças, pontos fortes e fracos.

O trabalho de Sarkis *et al.* (2020) apresentou um conjunto de direcionadores para o desenvolvimento baseado em modelos de Software Embarcado Aeronáutico, garantindo o atendimento às normas RTCA DO-178C e RTCA DO-331 [RTCA 2011b]. Além dos direcionadores, é apresentado um estudo de caso.

O trabalho de VanderLeest & Buster (2009) fornece uma análise detalhada das principais práticas ágeis, com uma avaliação preliminar da facilidade de implementação de cada uma delas. Os autores destacaram que a transição para o desenvolvimento ágil não requer mudanças repentinas e radicais, mas pode ser realizada por meio da incorporação de métodos ágeis em um processo existente.

O trabalho de Marsden *et al.* (2019) mostra como as aparentes contradições entre práticas ágeis e objetivos de certificação de software aeronáutico foram resolvidas em vários projetos da Airbus e quantifica os ganhos financeiros resultantes.

O trabalho de Moy *et al.* (2013) descreve alguns dos objetivos e atividades na área de métodos formais, explicando como esses métodos podem ser usados em vez de testar em um contexto da RTCA DO-178C. O trabalho resume a experiência prática da Dassault-Aviation e da Airbus na aplicação bem-sucedida de métodos formais para o desenvolvimento de software embarcado aeronáutico.

O trabalho de Marques & Cunha (2017) fornece alguns cenários para verificação de banco de dados usando os padrões RTCA DO-178C e RTCA DO-200B [RTCA 2016], incluindo o uso de qualificação de ferramentas, quando os processos são eliminados, reduzidos ou automatizados pelo uso de ferramentas de software sem revisar a saída produzida por tais ferramentas.

O trabalho de Marques *et al.* (2019) caracteriza os cenários de carregamento de software em aeronaves e tratativas para possíveis ameaças que envolvam segurança da informação neste processo. Posteriormente, este trabalho foi aprimorado para um arcabouço no trabalho de Marques *et al.* (2021) que apresenta um conjunto de requisitos reutilizáveis e procedimentos gerais de teste para carregamento de software, envolvendo verificações manuais e automáticas. Os autores creditam que o arcabouço pode ajudar empresas menores, especialmente as que entram no mercado, a incorporar a capacidade de carregamento de software no desenvolvimento de sistemas.

Os trabalhos identificados trataram aspectos técnicos e com foco específico (modelos, métodos ágeis, etc.), sem apresentarem uma visão geral sobre o trabalho de GQSEA. 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. Ameaças à Validade

Os autores acreditam que existam duas ameaças à validade dessa pesquisa. A primeira ameaça é que os 25 respondentes e 8 entrevistados são conhecidos dos pesquisadores que conduziram o *Survey* e as entrevistas. Isso pode ser uma ameaça já que idelmente seria mais interessante ter um público-alvo mais independente.

Uma segunda ameaça é que podem existir outras carências, fatores humanos e técnicos não identificados já que o questionário do *Survey* poderia coletar mais informações, porém existia um receio dos pesquisadores em ter um questionário longo, o que poderia desincentivar os respondentes a participar.

7. Limitações

Embora a taxa de resposta do *Survey* seja considerada satisfatória 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 considerado o viés dos pesquisadores que realizaram esta atividade.

Em especial para o item (v), 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. Adicionalmente, as entrevistas realizadas nas confirmaram a aceitação das carências de forma expressiva pelos entrevistados.

Por fim, a inclusão das entrevistas nas atividades 6 e 7 fizeram com que os entrevistados limitassem a entrevista em até 15 minutos, já que esses 8 (oito) profissionais de GQSEA são empregados de organizações brasileiras da área aeronáutica e possuem agendas de compromissos bastante ocupadas.

8. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou uma identificação e avaliação de carências, fatores humanos e técnicos na Garantia de Qualidade de Software Embarcado Aeronáutico no Brasil. Para atender ao objetivo deste trabalho, foi executado um *Survey*, onde 25 profissionais de GQSEA responderam um questionário (Tabela 2) que buscou identificar a percepção dos profissionais envolvidos na execução de atividades de GQSEA na indústria aeronáutica brasileira.

Nessa extensão ao trabalho originalmente apresentado no VI Workshop sobre Aspectos Sociais, Humanos e Econômicos de Software [Yelisetty et al. 2021], as carências foram confirmadas com a inclusão da etapa de Entrevistas, conforme a Figura 2.

As entrevistas envolveram convite para 9 (nove) respondentes (R-05, R-08, R-09, R-10, R-12, R-13, R-17, R-20 e R-23), já que esses respondentes, pela riqueza de

detalhes informada na questão Q4, propiciaram a identificação das carências (C1 a C7). Dos 9 (nove) convidados, 8 (oito) retornaram sendo consultados se concordam (C) ou discordam (D) com a carência levantada pela análise qualitativa da questão Q4. Esses resultados foram sintetizados na Tabela 4 e discutidos.

Adicionalmente, foi realizado um levantamento de informações quanto às atividades técnicas de avaliação dos profissionais de GQSEA, onde os resultados mostraram que boa parte do público-alvo (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 do público-alvo (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 mais entrevistas individuais com profissionais de GQSEA, aprofundando o entendimento das questões observadas e das carências identificadas;
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.
3. 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
4. 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; e
5. Uma ampliação nas entrevistas realizadas, já que as incluídas nessa extensão foram importantes para confirmar as carências, fatores humanos e fatores técnicos.

Referências

- [Andres-Jimenez et al. 2020] 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 et al. 2020] 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)*.
- [Boscarioli et al. 2017] Boscarioli, C., Araújo, R. M., and Maciel, R. S. (2017). *Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026*. Sociedade Brasileira de Computação.
- [Chrissis et al. 2011] Chrissis, M. B., Konrad, M., and Shrum, S. (2011). *CMMI for Development. Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Pearson.
- [Georges and Passarella 2020] Georges, M. R. R. and Passarella, F. (2020). *Sustentabilidade na Indústria Aeronáutica Brasileira*. Appris.
- [Helgeson 2009] Helgeson, J. W. (2009). *The Software Audit Guide*. ASQ Quality Press.
- [Imamura et al. 2020] 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 2005] Kasunic, M. (2005). *Designing an Effective Survey*. Software Engineering Institute.
- [Lemes et al. 2003] 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)*.
- [Marcil 2012] Marcil, L. (2012). Realizing do-178c’s value by using new technology: Oot, mbdv, tqc fm. In *2012 IEEE/AIAA 31st Digital Avionics Systems Conference (DASC)*.
- [Marques and Cunha 2017] 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 and Cunha 2018] 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)*.
- [Marques et al. 2019] Marques, J., Hayashi, S., and Barros, L. (2019). Caracterização de cenários e garantias de segurança em carregamentos de software aeronáutico. In *Anais do V Workshop de Regulação, Avaliação da Conformidade e Certificação de Segurança*, pages 1–10, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- [Marques et al. 2021] Marques, J., Yelisetty, S., and Barros, L. (2021). A framework for loadable airborne systems. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 36(5):38–47.
- [Marsden et al. 2019] 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*.

- [Monteiro and Maciel 2020] Monteiro, E. L. and Maciel, R. S. P. (2020). Maturity models architecture: A large systematic mapping. *iSys - Brazilian Journal of Information Systems*, 13(2):110–140.
- [Moy et al. 2013] Moy, Y., Ledinet, 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 and Bousaidi 2016] 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 (IS-SREW)*.
- [Pernstal et al. 2019] 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).
- [Ribeiro et al. 2017] Ribeiro, S. A., Schmitz, E. A., Alencar, A. J. S. M. d., and Silva, M. F. d. (2017). A síndrome do deadline: Origem, causas e implicações no processo de desenvolvimento de software. *iSys - Brazilian Journal of Information Systems*, 10(2):30–47.
- [Rierson 2013] Rierson, L. (2013). *Developing Safety-Critical Software: A Practical Guide for Aviation Software and DO-178C Compliance*. CRC Press.
- [RTCA 1992] RTCA (1992). Do-178b software considerations in airborne systems and equipment certification.
- [RTCA 2011a] RTCA (2011a). Do-178c software considerations in airborne systems and equipment certification.
- [RTCA 2011b] RTCA (2011b). Do-331 model-based development and verification supplement to do-178c and do-278a.
- [RTCA 2011c] RTCA (2011c). Do-332 object-oriented technology and related techniques supplement to do-178c and do-278a.
- [RTCA 2011d] RTCA (2011d). Do-333 formal methods supplement to do-178c and do-278a.
- [RTCA 2016] RTCA (2016). Do-200b standards for processing aeronautical data.
- [Sarkis et al. 2020] 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 et al. 2020] 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 and Buter 2009] VanderLeest, S. and Buter, A. (2009). Escape the waterfall: Agile for aerospace. In *2009 IEEE/AIAA 28th Digital Avionics Systems Conference*.
- [Westfall 2020] Westfall, L. (2020). *The Certified Software Quality Engineer Handbook*. Quality Press.

- [Yelisetty et al. 2021] Yelisetty, S., Barros, L., Slavov, T., and Marques, J. (2021). Um levantamento de fatores humanos e técnicos em garantia de qualidade de projeto de software embarcado aeronáutico no brasil. In *Anais do VI Workshop sobre Aspectos Sociais, Humanos e Econômicos de Software*, pages 1–10, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- [Yelisetty et al. 2015] 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*.
- [Youn et al. 2015] Youn, W., Hong, S., Oh, K., and Sung, O. (2015). Software certification of safety-critical avionic systems: Do-178c and its impacts. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 30(4):4–13.