

UMA DISCUSSÃO PRELIMINAR SOBRE O USO DE ENGENHARIA DE REQUISITOS PARA REDUZIR RISCOS NO DESENVOLVIMENTO DE FUTUROS SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO AERONÁUTICA

Alessandro Gonçalves Adinolfi

alessandro.adinolfi@anac.gov.br

Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC

Av. Cassiano Ricardo, 521, 2º andar, 12246-870, São José dos Campos, SP, Brasil

Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

marcelo@dem.inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/DMC

P. O. Box 515, 12201-010, São José dos Campos, SP, Brasil

Resumo: O crescente uso de Sistemas Globais de Navegação por Satélite-GNSS em Sistemas de Navegação Aeronáutica-ANS futuros é uma tendência atual nas comunidades aeronáuticas de operação e regulação. Esta tendência implica a adoção de elementos e interações de um grau de complexidade que é ainda discutido ao redor do mundo. Tal realidade apresenta uma situação de conflito em que, de um lado há uma contínua discussão e uma evolução ainda acentuada da base de requisitos; e do outro, há a demanda da indústria em apresentar soluções de sistemas que atendam às operadoras e usuários. Este conflito expõe a indústria a maiores riscos no ciclo de desenvolvimento e certificação de tais sistemas. Frente a isto, acredita-se que uma abordagem baseada em requisitos seja uma ferramenta efetiva para lidar com tais sistemas altamente integrados ou complexos, sendo a elicitação dos requisitos um importante instrumento para minimização dos efeitos de uma base regulatória em evolução. Este trabalho apresenta uma discussão preliminar sobre o uso de engenharia de requisitos para reduzir riscos no desenvolvimento de futuros sistemas de navegação aeronáutica, como parte de um trabalho maior em andamento. Para tanto, resume alguns conceitos básicos e alternativas tecnológicas, os discute a seguir, e oferece algumas conclusões provisórias. Estas serão verificadas pelo trabalho maior em andamento.

Palavras-chaves: CNS-ATM, Sistemas de Navegação Global por Satélites, Engenharia de Sistemas, Engenharia Baseada em Requisitos.

1- Introdução

Este artigo discute os sistemas CNS-ATM, procurando mostrar os benefícios de uma abordagem baseada em Engenharia de Requisitos no seu ciclo de desenvolvimento, como uma resposta a minimizar os impactos de uma base de requisitos que se encontra ainda em evolução. Para tanto, a seção 2 apresenta um breve panorama dos sistemas CNS-ATM, a seção 3 apresenta o problema da evolução dos requisitos e a seção 4 discute uma possível melhoria quando aplicados os conceitos da Engenharia de Requisitos.

2- CNS-ATM: Panorama

Na Aviação Civil ocorre uma transição entre o modelo de navegação vigente no século 20, baseado em auxílios em terra, por um modelo que utiliza auxílios por satélite, com especial ênfase nos sistemas de posicionamento global. Estes constituem o tipo de sistema denominado Sistema de Navegação Global por Satélite (doravante GNSS - *Global Satellite Navigation System*). A navegação por meio do GNSS permite a utilização de pontos fixos de referência virtuais, identificados pelos sistemas embarcados na aeronave por meio de interação com satélites de Sistema de Posicionamento Global. Tal uso tornou-se possível a partir da acessibilidade de usuários civis ao sistema norte-americano GPS; e do desenvolvimento do sistema russo GLONASS e do sistema europeu Galileo.

Em um primeiro movimento, tais sistemas foram utilizados como meio de navegação não primária, em conjunto com outros meios já mais consolidados, especialmente em termos de disponibilidade, integridade e confiabilidade, características fundamentais para a segurança em aviação civil. Este movimento inicial proporcionou aprimoramentos na gestão do espaço aéreo ainda que houvesse espaço para melhorias.

Atualmente, a evolução de tais sistemas tem permitido uma utilização de tais auxílios de forma mais ampla, como meio de navegação primário. Esta utilização, entretanto, está em franca evolução, no que concerne à maximização da utilização do GNSS atualmente disponível, bem como na definição de sistemas embarcados e de solo para ampliar as suas possibilidades de uso.

Espera-se que a utilização mais ampla do GNSS acarrete uma significativa redução dos custos relacionados à Aviação Civil^[7]. Em termos de equipamentos necessários, a adição de um ponto fixo de referência baseado em auxílio em terra, como por exemplo, VOR (*VHF Omnidirectional Radio*), acarreta grande custo de instalação, homologação e manutenção, dado ser necessária a instalação de equipamentos em solo específicos para cada ponto fixo. Já para adicionar um ponto fixo de referência a um procedimento de voo não é necessária instalação física dedicada, pois este é identificado pelo sistema embarcado na aeronave por suas coordenadas geográficas. Acrescente-se a possibilidade de infinitos pontos de referência no espaço de cobertura do GNSS, que aponta para o potencial de se otimizar os caminhos de voo, de modo a reduzir tempo de viagem, consumo de combustível e emissões de poluentes. Uma vez providos os meios adequados de coordenação, não será mais necessário limitar os voos comerciais IFR às rotas definidas pelos auxílios em terra.

Este novo conceito de Navegação GNSS tem permitido maior flexibilidade e tem servido como fator de mudança de paradigma na forma de utilização do espaço aéreo, em uma abordagem que atualmente vai além da Navegação. O novo conceito envolve uma mudança conceitual, enfatizando o uso do espaço aéreo não mais em termos de controle, mas em termos de gerenciamento; e, por meio do estabelecimento de desempenhos requeridos de Comunicação, Navegação e Vigilância, implica um conceito genericamente denominado CNS-ATM (*Communications, Navigation, Surveillance – Air Traffic Management*).

Discussões sobre este assunto têm ocorrido em fóruns envolvendo autoridades de Certificação Aeronáutica, Indústria, Operadores e Academia, dentre os principais *stakeholders*, em especial nos Estados Unidos da América, Europa e Austrália. Estes fóruns têm procurado apontar as direções a seguir para o atingimento das metas relacionadas a CNS-ATM, também conhecido nos Estados Unidos da América como NextGen. Em especial, estas direções buscam manter um nível de segurança de voo que seja, no mínimo, equivalente ao atual. Dada a complexidade e amplitude da mudança a ser implementada e uma estratégia que visa a obtenção de benefícios progressivos, bem como uma gestão de forma a comportar a capacidade de investimentos e regulação, a FAA (*Federal Aviation Administration*) em seu documento intitulado ^[3]*Roadmap for Performance Based Navigation - Evolution for Area Navigation (RNAV) and Required Navigation Performance (RNP) Capabilities - 2006-2025* dividiu as metas do NextGen em três etapas, a saber: *Near Term*, *Mid Term*^[4], *Far Term*.

Estas discussões prosseguem em ritmo acentuado, com impactos na elaboração de regulamentos de certificação, como será discutido na próxima seção.

3- CNS-ATM: Breve panorama do status atual dos requisitos aplicáveis e sua evolução

Como pode ser brevemente discutido na seção anterior, o CNS-ATM apresenta bastante potencial. Tal potencial tem demandado esforço das autoridades de Certificação Aeronáutica em estabelecer requisitos que promovam a segurança da Aviação Civil em um nível, no mínimo, equivalente ao atual, sem, contudo desprezar a oportunidade que o CNS-ATM apresenta de proporcionar um passo adiante também no aspecto de segurança de voo.

Um passo inicial envolveu uma mudança de paradigma na definição de requisitos, que^[7] deixaram de ser definidos baseados em equipamento (*sensor-based*) para baseados em desempenho (*performance-based*). Esta mudança de abordagem por um lado permitiu uma definição mais objetiva e de alto nível dos requisitos, explicitando os requisitos em termos das necessidades operacionais; e, com isso, permitindo uma maior flexibilidade da indústria na proposição de soluções que atendam aos requisitos. Por outro lado, a consolidação desta mentalidade junto à Comunidade de Aviação Civil leva algum tempo, além de implicar uma demanda de atualização da base de requisitos aplicáveis e, em especial, dos seus meios de cumprimento (*Means of Compliance – MOC*).

Hoje, os principais documentos utilizados para balizar as atividades de Certificação de Aeronavegabilidade de Sistemas CNS-ATM são:

- ICAO doc 9613^[7]: Estabelece o conceito de Navegação Baseada em Desempenho, sendo utilizado como base nos regulamentos dos Estados signatários do ICAO.
- AC 20-138^[1, 2]: MOC estabelecido pela FAA para fins de Navegação Aeronáutica. Da sua revisão A para a revisão B, emitida em 2010, apresenta uma significativa evolução, tendo sido agregados sob seu escopo vários sistemas que atendem a denominação CNS-ATM.
- AC 20-165^[8]: MOC estabelecido pela FAA para o Sistema Automático de Monitoramento Dependente de Radiodifusão (*Automatic Dependent Surveillance – Broadcast – ADS-B*), emitido em 2010.
- AC 20-140^[9]: MOC estabelecido pela FAA para o elo de dados (*Data-link*) de comunicação de tráfego aéreo, conceito que será fundamental para o CNS-ATM, em especial no seu *Far-Term*.

Além destes documentos, os processos de Certificação de Aeronavegabilidade de Sistemas CNS-ATM utilizam Ordens Técnicas Padrão (*Technical Standard Orders – TSO*), para a certificação de equipamentos.

Os processos de Certificação de Aeronavegabilidade podem ainda conter documentos complementares à base de requisitos, que representem Condições Especiais, Níveis Equivalentes de Segurança, Isenções e Métodos Alternativos de Cumprimento. Estes documentos são denominados no âmbito da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) como Ficha de Controle de Assunto Relevante (FCAR), no âmbito da FAA como *Issue Paper* (IP) e no âmbito da Agência Europeia de Segurança Aeronáutica (*European Aviation Safety Agency – EASA*) como *Certification Review Items* (CRI). Estes documentos são utilizados em geral para: 1) sistemas novos, com características pouco usuais, em complemento à base de certificação vigente; 2) sistemas que não atendam à base vigente, mas que pleiteiem a certificação por meio de nível equivalente de segurança ou isenção; e 3) em propostas de cumprir os requisitos de uma forma diversa do proposto nos MOCs. A emissão destes documentos é, em vários casos, indicativo de evolução na concepção de sistemas e/ou base de requisitos e MOCs.

Observa-se acima que vários dos MOCs utilizados nos processos de Certificação de Aeronavegabilidade de Sistemas CNS-ATM são de emissão ou revisão recente. Também tem sido comum a emissão dos documentos complementares descritos acima. Estes fenômenos evidenciam que a certificação de tais sistemas ocorre em uma base que se encontra em evolução. Isto é de se esperar em se tratando de um processo que: 1) envolve mudança de paradigma; 2) se encontra ainda em andamento; e 3) tem demandado considerável esforço em termos de organização de grupos e comitês para elaboração e revisão dos requisitos. Tal fato, ainda que seja em grande parte provocado pela evolução da indústria na apresentação de soluções, acaba por perturbar um ambiente de maior estabilidade regulatória, que seria um fator incentivador da implementação do CNS-ATM^[4].

Na próxima seção será iniciada uma discussão que se acredita ser efetiva para a minimização deste problema.

4- Implicações da evolução da base regulatória e as vantagens da abordagem de Engenharia de Requisitos no contexto de CNS-ATM

Como exposto na seção anterior, a execução do ciclo de desenvolvimento de sistema em um ambiente de requisitos em evolução agrega riscos. Dentre os principais riscos, pode-se citar, em ordem crescente de potencial de impacto:

- Requisito novo que o sistema atende, há artefato de demonstração, porém não se encontra evidenciado na documentação: baixo impacto, resultando em revisão da documentação apresentada à autoridade de certificação.
- Requisito novo que o sistema atende, porém sem artefato de demonstração: impacto médio, implicando a geração de artefato que evidencie o cumprimento dos requisitos.
- Requisito novo, em que o sistema necessita de ser modificado para atender: impacto alto, implicando a redefinição do sistema em termos de seus requisitos, acarretando alto custo para o desenvolvedor.
- Requisito novo, que o sistema não atende: impacto altíssimo, com potencial de inviabilização do uso do sistema no médio prazo.

Convém discorrer acerca do significado da expressão "requisito novo". No contexto deste trabalho, o termo está diretamente ligado às revisões ocorridas nos documentos utilizados para balizar a Certificação de Aeronavegabilidade e nos novos documentos gerados. Contudo, é necessário analisar o que significa um "requisito novo" em termos de sua origem:

- Novas necessidades oriundas das operadoras de aeronaves.
- Novos requisitos elaborados pelas autoridades certificadoras em resposta à evolução do estado-da-arte na Engenharia.
- Novos requisitos elaborados pelas autoridades certificadoras oriundos de itens de preocupação percebidos à medida que a compreensão do sistema evolui.
- Novos requisitos oriundos de mudança de tipo ou cenário de operação.

Uma efetiva redução dos riscos e impactos relacionados a uma evolução na base de requisitos aplicáveis pode ser alcançada mediante a capacidade do desenvolvedor do sistema de previamente elicitar tais requisitos. A Engenharia de Requisitos fornece uma alternativa que envolve uma análise inicial no intuito de levantar os *stakeholders*, isto é, os interessados no sistema em questão. Dado que os *stakeholders* são uma das maiores fontes de requisitos^[6], uma etapa de identificação dos *stakeholders* e suas necessidades (Figura 1) bem executada pode minimizar tais riscos e impactos.



Figura 1. Stakeholders e seus interesses^[6].

Outra importante fonte de requisitos é a análise do Contexto Funcional do Sistema^[6]. Esta análise, tal como exemplificado na Figura 2, identifica os fluxos que o sistema troca com suas interfaces. A Figura 3 exemplifica o cenário operacional possível para operações de RNP AR (*Required Navigation Performance - Authorization Required*)^[2], que é um tipo de operação que ocorre dentro do escopo de CNS-ATM. Uma análise de Contexto Funcional do Sistema proporciona uma maior visibilidade das implicações de tal cenário operacional na definição de requisitos e criticalidades associadas.

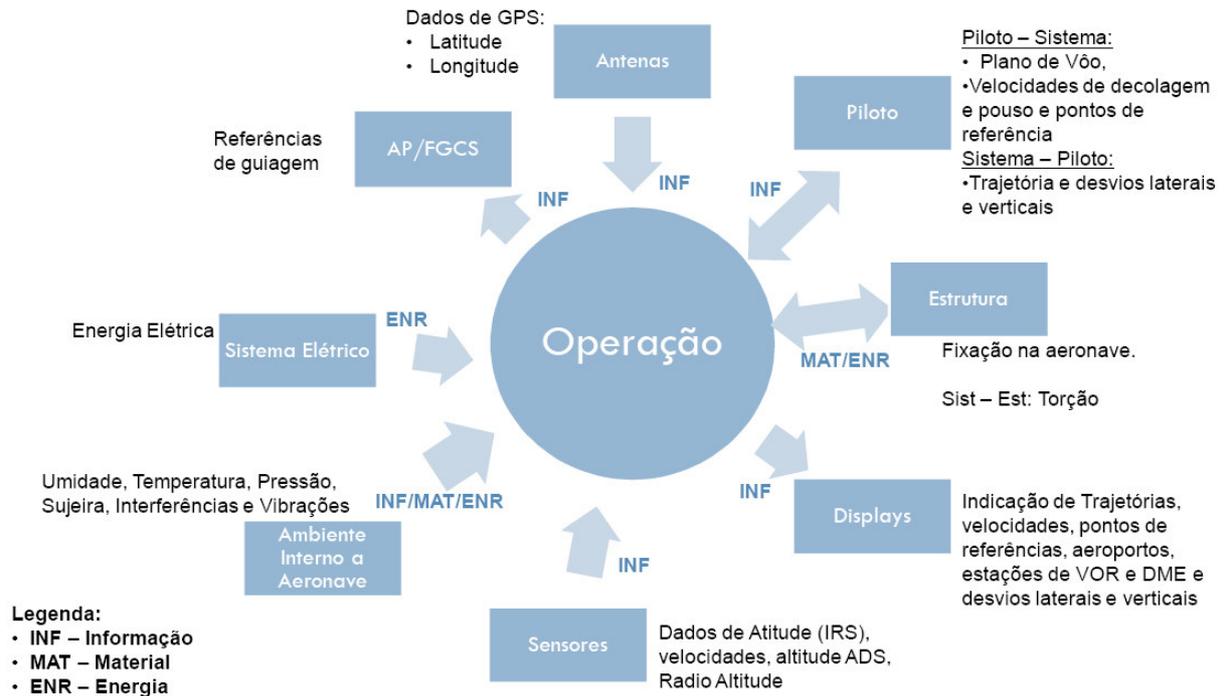


Figura 2. Contexto funcional do sistema em operação^[6].

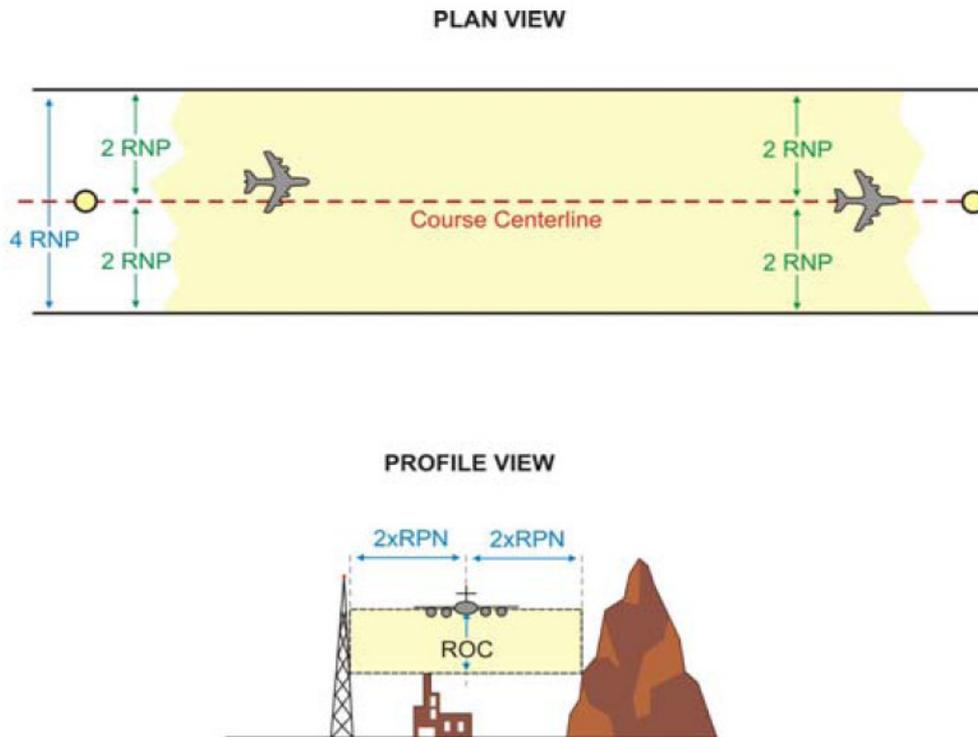


Figura 3. Proximidade de obstáculos em cenário operacional RNP AR^[5].

Estas análises propostas não esgotam a abordagem de Engenharia de Requisitos, mas fornecem indicativos do potencial desta abordagem na mitigação dos riscos associados a uma base de requisitos que sofre continuada evolução, tal como ocorre com o CNS-ATM.

5- Conclusão

Este trabalho apresentou uma discussão preliminar sobre o uso de engenharia de requisitos para reduzir riscos no desenvolvimento de futuros sistemas de navegação aeronáutica, como parte de um trabalho maior em andamento. Foi exposto um ambiente que envolve soluções integradas e complexas, além de uma evolução continuada da base de requisitos para Certificação de Aeronavegabilidade, sendo apontada a abordagem de Engenharia de Requisitos como efetivo fator de redução de riscos nestes casos.

A Engenharia de Requisitos é uma abordagem complexa e dispendiosa^[6]. É necessária análise criteriosa para a decisão de aplicar esta abordagem, de modo a evitar agregar custo e complexidade desnecessários ao ciclo de desenvolvimento. Dado o contexto em que os sistemas CNS-ATM estão inseridos, acredita-se que a aplicação da abordagem de Engenharia de Requisitos proporcione benefícios em termos de melhor definição dos requisitos do sistema e redução de modificações em etapas tardias do processo de desenvolvimento, entre outros, benefícios estes que excederão os custos da utilização desta abordagem.

6- Agradecimentos

Os autores agradecem penhoradamente: à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), pelo espaço enriquecedor na compreensão dos desafios relacionados à segurança na Aviação Civil; ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelo espaço de estudo e pesquisa; e ao Curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais (ETE/CSE) pelos conhecimentos e experiências transmitidos nos assuntos de Engenharia de Requisitos e Engenharia de Sistemas.

7- Referências

1. FAA, *AC 20-138A - Airworthiness Approval of Global Navigation Satellite System (GNSS) Equipment*, December 22, 2003.
2. FAA, *AC 20-138B - Airworthiness Approval of Positioning and Navigation Systems*, September 22, 2010.
3. FAA, *Roadmap for Performance Based Navigation - Evolution for Area Navigation (RNAV) and Required Navigation Performance (RNP) Capabilities - 2006-2025*, July 2006.
4. RTCA, *NextGen Mid-Term Implementation Task Force Report*, September 9, 2009.
5. FAA, *Order 8260.52 - United States Standard for Required Navigation Performance (RNP) Approach Procedures with Special Aircraft and Aircrew Authorization Required (SAAAR)*, June 3, 2005.
6. Loureiro, G., Adinolfi, A. G., Ribeiro, C. E. V., Andrade, R. C. B. *Systems Concurrent Engineering to Develop an Aeronautical Navigation System*. Product: Management & Development, vol. 8, nº 2, December 2010.
7. Performance-based Navigation (PBN) Manual. International Civil Aviation Organization (ICAO), doc 9613, Third Edition, 2008.
8. FAA, *AC 20-165 – Airworthiness Approval of Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) Out Systems*, May 21, 2010.
9. FAA, *AC 20-140A – Guidelines for Design Approval of Aircraft Data Link Communication Services Supporting Air Traffic Services (ATS)*, April, 7, 2010.