

Rumo à inovação: oportunidades e metodologia para uso do TRM no desenvolvimento de um simulador de voo.

Towards innovation: using the technology roadmapping to support the development of a flight simulator

Guilherme Siqueira¹, Mauro Caetano² e Daniel Amaral³

¹Universidade de São Paulo, guilhermesiqueira@usp.br

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica, caetano@ita.br

³Universidade de São Paulo, amaral@sc.usp.br

Natureza do trabalho: acadêmico

O technology roadmapping (TRM) tem sido utilizado como guia para orientar a inovação em diversos setores industriais, incluindo o aeronáutico. Os roadmaps deste setor, porém, não incluem o mapeamento relacionado aos instrumentos de auxílio à formação de pilotos, os quais influenciam os aspectos físicos e psicológicos da tripulação nas operações de voo, necessários para a introdução de inovações no setor, com segurança. O trabalho relata um projeto de pesquisa que visa investigar o potencial do TRM no apoio ao desenvolvimento de um simulador de voo que está em desenvolvimento na EESC-USP. Por meio de uma pesquisa-ação participante, analisa-se o potencial do TRM para apoiar os esforços investidos no desenvolvimento desta inovação, especialmente quanto à melhoria na qualificação profissional de pilotos. Como resultado, descreve o problema, as diferentes oportunidades de uso e a metodologia que foi proposta para a condução do projeto, que visa desenvolver um modelo conceitual de TRM para este tipo de aplicação, e as implicações para a prática: contribuindo para o desenvolvimento de um simulador de voo *full motion* para Centros de Instrução de Aviação Civil e Aeroclubes, de modo a aprimorar o ganho de *airmanship* e o aumento da segurança de voo.

Palavras-chave: TRM; roadmap; planejamento da inovação; FSTD; treinamento

Keywords: TRM; roadmap; planejamento da inovação; FSTD; treinamento

1. INTRODUÇÃO

A sincronia harmoniosa entre treinamento de pilotos e inovação tecnológica no setor aeroespacial é fundamental sob diversos aspectos, dentre eles, a manutenção da segurança operacional na aviação. Jamieson et al. (2022), por exemplo, demonstram que, a partir dos dados de relatórios de investigação de acidentes e incidentes aeronáuticos, acidentes como os mais recentes envolvendo aeronaves do modelo Boeing 737MAX estão relacionados à ineficiente gestão do fabricante em relação ao treinamento necessário na nova tecnologia

embarcada, denominada MCAS (Maneuvering Characteristics Augmentation System), e no Standard Operating Procedure (SOP), em caso de falha ou mal funcionamento. Elementos esses que poderiam ser atendidos com a intensificação de treinamento para a tripulação no uso de simuladores de voo. O desenvolvimento e aplicação dessa solução demanda o planejamento da inovação de modo integrado às necessidades e características do mercado.

Os flight simulation training devices (FSTD's) - denominação mais ampla e técnica para dispositivos de simulação de voo - são fundamentais na capacitação de tripulantes técnicos civis e militares (Källström et al., 2022). Eles permitem o treinamento a um custo inferior comparativamente aos treinamentos realizados em aeronaves (Wu, 2020). Além da economia financeira, esses treinamentos possibilitam a redução de perdas materiais e humanas em acidentes de treinamento (Grundy et al., 2016), bem como otimizam a dedicação às experiências de voo, pois independem de condições meteorológicas favoráveis ou aeronavegabilidade da aeronave.

Entretanto, tais benefícios são por vezes difíceis de se atingir devido a problemas e limitações no desenvolvimento de um simulador. De acordo com Chertopolokhov et al. (2022), devido a sua extensa aplicabilidade, valem-se os esforços de melhoria nas capacidades de “cues” mais realistas, tornando o voo sintético o mais próximo possível da realidade. Para tal incremento, um equipamento fundamental consiste na plataforma de movimento (motion platform), isto é, o aparato mecânico que provê a movimentação da cabine nos 6 eixos de liberdades (6-DOF). O modelo mais comum utilizado tem sido o hexapod, ou plataforma de Stewart (Chertopolokhov; Andrianova; Hernandez-Sanchez, 2022), que equipa o simulador de voo utilizado aqui como estudo de caso. Pode-se ver na Figura 1 esse modelo de base de simulador *full motion*.

Nos laboratórios do departamento de Engenharia Aeronáutica da Universidade de São Paulo (USP) foi desenvolvida uma prova de conceito de uma plataforma com custo inferior ao das existentes no mercado, conforme proposto em Lemes et al. (2018), Lemes (2018) e Macedo et al. (2020), tendo sido até então utilizado apenas para propósitos científicos. Recentemente, a equipe do Flight Dynamics and Control Laboratory (EESC-USP) iniciou um esforço para transformar este conhecimento em inovação, ou seja, análise da viabilidade de oferta desse produto no mercado. Nesse sentido, a metodologia do Technology Roadmapping (TRM) pode

ser utilizada como um instrumento de orientação dos esforços de inovação aplicados nesse produto (Vinayavekhin et al., 2021).

2. REVISÃO TEÓRICA

Uma forma de identificar os caminhos para o desenvolvimento de uma inovação é por meio do planejamento estratégico de rotas tecnológicas, sendo o TRM uma das principais ferramentas. O TRM busca identificar oportunidades e analisar estrategicamente um negócio, produto, tecnologia, etc. (Phaal and Kerr, 2022). Ele consiste em projetar um plano de ações estratégico e flexível que alinhe os desafios, tendências atuais e futuras de mercado, produto e disponibilidade tecnológica com as metas da organização (Carlos, Amaral e Caetano, 2018).

Quando tais aplicações demandam a análise de elementos à jusante e à montante do objeto alvo do TRM, tal aplicação torna-se complexa, o que exige esforços adicionais na customização dessa ferramenta. No caso de simuladores de voo, um destes elementos é o requisito de integração com o planejamento da formação de pilotos. Um exemplo de característica específica deste tipo de inovação que impacta no processo de roadmapping. Outras mais precisam ser investigadas. Portanto, compreender como realizar o mapeamento de rotas nestas situações é uma necessidade para o avanço da teoria de TRM e também para o desenvolvimento deste tipo de produto.

O simulador desenvolvido na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP), conta com algumas limitações de homologação (Lemes, 2018; Macedo, 2021). De acordo com o apêndice A do RBAC 61 (ANAC, 2020), um dos requisitos para homologação de um simulador *full motion* é que ele tenha um cockpit em escala 1:1 do ambiente e componentes da aeronave real. O simulador em questão está equipado para simular um B777-200, entretanto, não possui os requisitos de escala e semelhança de cockpit - conforme Figuras 1 e 3. Esse seria, por exemplo, um dos impasses para a sua utilização em escala comercial e de treinamento.



Figura 1: Vista externa do protótipo.

Fonte: dados da pesquisa.



Figura 2: Vista do interior (cockpit).

Fonte: Macedo (2021).

Assim, a pesquisa objetiva identificar desafios e propor passos para o desenvolvimento de rotas tecnológicas para orientar a adequação do simulador aos requisitos das autoridades aeronáuticas e formalizar os procedimentos em um método de planejamento da inovação na aviação por meio do TRM.

3. METODOLOGIA

Esse estudo tem sido desenvolvido a partir de uma ampla revisão bibliográfica sobre aplicação de TRM no setor aeronáutico, com especial ênfase na busca de estudos sobre aplicações em simuladores de voo e também na identificação das lacunas existentes na literatura de TRM. Alguns dos estudos fundamentais podem ser identificados em Aleina et al. (2018), Aleina et al. (2018), Phaal and Kerr (2020), Song et al. (2022), Petrescu et al. (2021), entre outros. Após as análises de diferentes estudos, estabeleceu-se um conjunto de passos para o desenvolvimento do TRM.

3.1. Proposta de metodologia para o projeto

As principais atividades propostas para aplicação do TRM no caso estudo podem ser identificadas na 5.

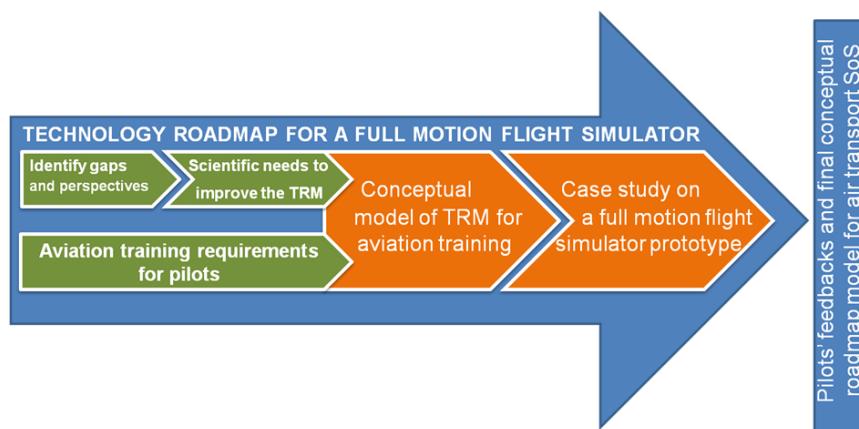


Figura 3: Proposta de metodologia para conduzir a pesquisa.

Fonte: dados da pesquisa.

De acordo com a Figura 3, inicialmente são identificadas as lacunas teóricas presentes na literatura de TRM, de forma a listar as possíveis contribuições de melhorias ao estado da arte e, com isso, aprimorar a técnica do TRM para o caso específico de simuladores. Uma vez formulado o modelo conceitual, ele então é testado no projeto de introdução do simulador da EESC/USP em inovação tecnológica. Ao final destas etapas, espera-se a geração de um modelo conceitual de TRM capaz de alinhar necessidades e inovações tecnológicas às necessidades (demandas) do setor aeronáutico, e que conte com os demais *gaps* apontados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O relato apresenta os resultados preliminares da pesquisa que está sendo conduzida, com o intuito de investigar o desenvolvimento de um simulador de voo por meio do roadmapping. O principal problema de pesquisa está associado a como planejar o desenvolvimento tecnológico de simuladores de voo e assim propor meios para que o planejamento de inovações no setor aeronáutico passe a considerar de maneira mais efetiva este aspecto do treinamento. A implementação do TRM de modo mais robusto pode ter um impacto na segurança do processo de inovação tecnológica do setor. Há também implicações práticas imediatas. A pesquisa-ação poderá auxiliar na difusão das tecnologias e no conhecimento acumulado no laboratório da EESC/USP, disponibilizando este resultado de forma direta para a sociedade, bem como contribuir para o aprimoramento do TRM.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto e Equipe, em especial à aluna de mestrado Mariane Dutra Turaça, pelas significativas colaborações no fornecimento das informações; ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica, pela oportunidade de Bolsa de Iniciação Científica

Voluntária (PICV); ao Laboratório de Transporte Aéreo (LabTar); ao Grupo de Pesquisas Inovações em Transporte Aéreo (MTOW); e à organização do XII Workshop do IGDP.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). RBAC 61 Requisitos para qualificação e uso de dispositivos de treinamento para simulação de voo. Retificado no Diário Oficial da União 24/03/2020, Seção 1, página 66. Disponível em: [https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbac-e-rbac/rbac-60](https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbac-e-rbac/rbac/rbac-60). Acesso em 10/10/2022.

CARLOS, Rafael; AMARAL, Daniel C.; CAETANO, Mauro. Framework for continuous agile technology roadmap updating. Innovation and management review. Vol. 15 No. 3, pp 321-336 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1108/INMR-05-2018-0030>

CHERTOPOLOKHOV, Viktor; ANDRIANOVA, Olga; HERNANDEZ-SANCHEZ, Alejandra et al. Averaged sub-gradient integral sliding mode control design for cueing end-effector acceleration of a two-link robotic arm. ISA Transactions (2022). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2022.07.024>

GRUNDY, John G.; NAZAR, Stefan; O'MALLEY, Shannon; MOHRENSHILDT, Martin V., SHEDDEN, Judith M. The Effectiveness of Simulator Motion in the Transfer of Performance on a Tracking Task Is Influenced by Vision and Motion Disturbance Cues. Human Factors, 58(4): 546-559, June 2016. DOI: <https://doi.org/10.1177/0018720816639776>

JAMIESON, Greg A.; SKRAANING, Gyrd; JOE, Jeffrey. The B737 MAX 8 Accidents as Operational Experiences with Automation Transparency. IEEE Transactions on Human-Machine Systems, vol. 52, no. 4, pp. 794-797, Aug. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/THMS.2022.3164774>.

KÄLLSTRÖM, Johan; GRANLUND, Rego; HEINTZ, Fredrik. Design of simulation-based pilot training systems using machine learning agents. The Aeronautical Journal, 126(1300), 907-931. DOI: <https://doi.org/10.1017/aer.2022.8>

LEMES, Rodrigo C; SOUZA, Mateus M.; BELO, Eduardo M.; BIDINOTTO, Jorge H. Latency on a Stewart Platform Using Washout Filter. The Aeronautical Journal. Vol. 122 (1252): 1-17 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/aer.2018.35>

MACEDO, João Paulo C. A.; BIDINOTTO, Jorge H.; BROMFIELD, Michael. Loss of Control in Flight: comparing qualitative pilot opinion with quantitative flight data. AIAA Aviation 2020. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2020-2911>

MACEDO, João Paulo C. A. de. A comparison between qualitative pilots' opinion and quantitative flight data on potential loss of control in flight conditions. Tese de mestrado orientada pelo Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto. São Carlos, 2021. Disponível em: [A comparison between qualitative pilots' opinion and quantitative flight data on... \(usp.br\)](https://www.ime.usp.br/~jorgeb/tese.pdf). Acesso em: 10/10/2022.

PHAAL, Robert; KERR, Clive. Roadmapping and Roadmaps: definition and underpinning concepts. IEEE Transactions on Engineering Management. v. 69, n°1, p. 6-16, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3096012>

VINAYAVEKHIN, Sukrit; PHAAL, Robert; THANAMAITREEJIT, Thananunt; ASATANI, Kimitaka. Emerging trends in roadmapping research: A bibliometrics literature review. Technology Analysis & Strategic Management, Set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537325.2021.1979210>

WU, Lung-Nan. Development of an affordable and high-fidelity flight simulation training device. Journal of Aeronautics and Aviation, Vol. 52 (3), pages 335-346. June 2020. DOI: [https://doi.org/10.6125/JoAAA.202009_52\(3\).08](https://doi.org/10.6125/JoAAA.202009_52(3).08)