

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

ANÁLISES SOBRE O PARADOXO DA AUTOMAÇÃO NA AVIAÇÃO

GOIÂNIA
2022

LARA GABRIELLY LIMA RESENDE

ANÁLISES SOBRE O PARADOXO DA AUTOMAÇÃO NA AVIAÇÃO

Artigo científico apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Professora Orientadora: Dra. Anna Paula Bechepeche.

GOIÂNIA

2022

ANÁLISES SOBRE O PARADOXO DA AUTOMAÇÃO NA AVIAÇÃO

ANALYZING THE AVIATION AUTOMATION PARADOX

Lara Gabrielly Lima Resende¹
Anna Paula Bechepeche²

RESUMO

Esta pesquisa se refere a utilização da automação no âmbito da aviação, mais diretamente em cabines de comando de aeronaves modernas, enfatizando o vínculo existente entre a automação e os fatores humanos e que essa tecnologia pode apresentar lacunas em seu núcleo. A presença da automação proporciona uma redução na carga de trabalho e limita as margens de erros cometidos por humanos. Entretanto, esses agrupamentos automatizados são complexos e exigem uma coerente interconexão com os tripulantes. Por outro lado, os sistemas operacionais são prescritos e programados por indivíduos que também são capazes de cometer equívocos. Isto é, até mesmo os computadores que são ditados como infalíveis podem apresentar falhas em seu software. A visto disso, esta pesquisa se dispõe em analisar alguns dos métodos que fazem parte da construção de sistemas computadorizados e demonstrar que a disposição dos códigos pode estar manipulada de maneira equivocada. Ademais, a metodologia utilizada foi de cunho descritivo, com uma abordagem qualitativa, na qual se dispôs de pesquisas e documentações bibliográficas aprofundadas. Assim sendo, por meio dos dados levantados, tornou visível que, é possível ocorrer falhas nos softwares de um determinado agrupamento e que a automação influencia uma certa complacência nos pilotos. Portanto, é necessário a presença de requisitos mais rigorosos para avaliar os sistemas de controle de voo que compõe um determinado avião e, sobretudo, é muito importante a presença de treinamentos específicos direcionados a tripulação para saber agir diante a ausência da automação, para que dessa forma a segurança de voo se torne cada vez mais confiável. Por fim, o tema discorre a respeito de um assunto muito discutido na aviação. No entanto, com uma visão direcionada especialmente para os sistemas operacionais que fazem parte da automação, almejando ser de grande proveito para as pesquisas futuras dentro desse viés.

Palavras chaves: Automação; Softwares; Fatores Humanos; Algoritmos; Sistemas.

ABSTRACT

This research is about the usage of automation in aviation environment, specifically inside modern aircraft cockpits, emphasizing the link between this automation and human factors and the fact that this technology might have gaps in its very core, where the presence of automation leads to a workload reduction and limits human pilots' margin of errors. However, those automated groups of components are complex and demand a coherent interconnection between them and the crew. On the other hand, operational systems are craft and programmed by individuals that can make mistakes, therefore, even computers, often took as flawless, may present flaws in their software. That being said, this research is keen to analyze some of the methods that are part of the computer-based systems building and demonstrate that code disposal might be wrongly manipulated. Furthermore, the used methodology was the

¹ Graduanda em Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO). Endereço eletrônico: lara_eustaquio_resende@hotmail.com

² Doutora em Química pela Universidade Federal de São Carlos (1996). Possui graduação em Física pela Universidade Federal de Goiás (1988). Mestrado em Física pela Universidade de São Paulo (1991). Endereço eletrônico: abechepeche@yahoo.com.br

description outlook, with a qualitative approach, in which research and deep documentation analysis were used. Therefore, according to available data, it became clear that it's possible to have failures in the software of specific groups of components and that automation leads to a certain self-indulgent behavior on some pilots. Hence, it's necessary that stricter requirements are used to assess the flight control systems that make up a specific aircraft and, on top of that, specific training for the crew when they lack automation support is very important to assure that flying safety is growing steady. Ultimately, the subject is about a very controversial point in aviation, although it looks specially for the operational systems that make up automation, aiming to be of a great use for future research in this concern.

Keywords: Automation; Software; Human Factors; Algorithm; System.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, os indivíduos apresentam um comportamento intrínseco habitual em buscar inovações que pudessem, de alguma forma, facilitar a execução de tarefas. Dessa maneira, após longas e grandes mudanças sociais e econômicas, o modo em realizar ações, que antes era completamente manual, se tornou cada vez mais automatizado, podendo até mesmo prosseguir sem nenhuma intervenção direta dos humanos. Na presença desse cenário, o meio aeronáutico obteve um grande proveito dessa tecnologia que se demonstrou muito prestativa ao auxiliar os tripulantes de cabine, pois os antigos aviões apresentavam funções que exigiam uma grande carga de trabalho e conseqüentemente a ausência da ergonomia. Logo, a implantação de sistemas automatizados trouxe a ideia de uma otimização de trabalho e assim uma maior segurança em relação às ações humanas.

Em virtude disso, o desenvolvimento dessa área se expandiu de uma forma exponencial, na qual, desde o acontecimento das duas grandes guerras mundiais, as indústrias especializadas buscam automatizar os sistemas das aeronaves intensamente visando uma melhor segurança. Todavia, entende-se que a automação é algo planejado e feito por humanos. Dessa maneira, cabe o questionamento em como a automação é colocada acima das ações dos pilotos, apresentando como intuito estabelecer uma maior segurança, sendo que ela é planejada por seres humanos que também estão fadados a falhas.

Diante desse contexto, o objetivo da pesquisa em questão é analisar as possíveis falhas que podem surgir nos sistemas automatizados. Desse modo, para comprovar a tese apontada, utilizou-se da metodologia de natureza básica, voltada para objetivos descritivos e com

abordagem qualitativa, por meio de materiais e informações bibliográficas, como livros referenciados, documentos que retratam de forma significativa o respectivo assunto, além de dados apontados pela Boeing e notícias apresentadas por sites renomados tanto nacionais quanto internacionais.

Estruturalmente, esse artigo está dividido em quatro segmentos. De início, são apresentados os impactos sociais e tecnológicos ocasionados pelas duas imponentes revoluções industriais, considerando sua influência no âmbito da aviação. Em seguida, são exibidas análises a respeito de sistemas automatizados, pontuando como funcionam os respectivos bancos de dados e como são direcionados a tomarem determinadas decisões. O terceiro segmento é dedicado a um estudo de caso ocorrido recentemente, o qual evidencia problemas operacionais em um software. Por fim, a última parte traz consigo, as considerações finais adquiridas no decorrer da pesquisa.

O estudo se estrutura na problemática que envolve os possíveis erros que podem acontecer com a automação, e como essa tecnologia influencia a tomada de decisão e habilidade dos tripulantes de cabine. Logo, para haver uma soberania da segurança de voo, é necessário que as ações dos pilotos e a automação estejam sempre alinhadas, reforçando a ideia da redundância existente na aviação.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Há inúmeros relatos que marcam a linha temporal da existência humana, como, por exemplo, a queda do Império Romano e a Revolução Francesa. No entanto, é indubitável que as Revoluções Industriais possuem um grande impacto direto em todo o planeta Terra, onde, em meados de 1765, especificamente na Inglaterra, ocorreram uma sequência de invenções que abriram espaço para as máquinas, como o tear mecânico, modificando de maneira integral a capacidade produtiva inglesa e o nível de rendas. Logo, essas mudanças seguiram a cadeia de produção impondo uma alteração também nas relações sociais (MARX; ENGELS, 1998; HOBBSAWN, 2010, apud. DE LIMA, NETO, 2017).

Seguindo essa linha de raciocínio, com o passar do tempo, foram surgindo cada vez mais inovações que serviram de edificação para os conhecimentos tecnológicos da atualidade. Como, por exemplo, especificamente no meio do transporte aéreo, foi possível identificar que ele começou a ganhar um maior espaço com os acontecimentos das duas grandes guerras mundiais (1914-1945), sendo que, mais especificamente, após o fim da 2ª Guerra Mundial (1939-1945) os pilotos e as inúmeras aeronaves que antes eram utilizadas pelas forças armadas foram destinados a outra função: o transporte de passageiros. Por consequência, várias companhias aéreas surgiram ao redor do mundo e a ausência de pilotos obrigou as empresas a empregarem jovens pilotos, sendo que as aeronaves antigas precisaram coexistir com aquelas de nova tecnologia, onde esses novos sistemas trouxeram também novos riscos à aviação comercial. Por outro lado, os critérios de segurança de voo tornaram-se mais rigorosos, trazendo mais eficiência ao voo em todos os seus aspectos, os quais tornaram-se uma preocupação essencial: custo de combustível, custos de manutenção e tripulação (TARNOWSKI, 2002).

Nesse sentido, para suprir essas exigências, era de extrema necessidade a utilização de modernos aviões providos de sistemas capazes de auxiliar o trabalho dos pilotos, apresentando também grande importância a familiarização com os novos métodos, para que, dessa forma, as funções da tripulação fossem efetuadas de forma correta visando a segurança de voo. (TARNOWSKI, 2002). Visto que os painéis das aeronaves sofreram mudanças drásticas ao longo das décadas (FIG. 1 e 2), pode-se notar dois parâmetros: a complexidade nos inúmeros instrumentos analógicos e a forte confiança presente no *glass cockpit*³, que altera o comportamento da tripulação de voo.

Figura 1 – Cockpit de um DC3



Fonte: JETPHOTOS, 2017

Figura 2 – Cockpit de um Boeing 787



Fonte: WIKIPÉDIA, 2011.

³ Glass cockpit: Cabine de pilotagem que possui os instrumentos de voo expressos em telas eletrônicas.

1.1 Automação no âmbito da aviação

No início da aviação era comum a tripulação de um voo ser composta por cinco pessoas na cabine onde, cada uma, era responsável por executar uma determinada função: haviam dois pilotos que conduziam a aeronave; um engenheiro de voo que era encarregado de gerenciar os diversos parâmetros dos sistemas da aeronave; um navegador de voo, que por meio de cálculos complexos e observação dos astros celestes determinava a localização estimada da aeronave na rota a ser percorrida para chegar no lugar desejado; e um rádio operador que detinha como função estabelecer a comunicação com os outros aviões ou com o controle do espaço aéreo (BASSETO, 2020). À medida que as inovações tecnológicas foram avançando, muitas dessas profissões perderam o espaço sendo substituídas por telas coloridas, como no caso do Boeing 737 que foi um avião lançado no final da década de 1960 e foi o primeiro homologado pela *Federal Aviation Administration* (FAA)⁴ para operar apenas com dois pilotos na cabine, dispensando a presença do engenheiro de voo.

Sendo assim, destaca-se que, comandar a aeronave, monitorar os parâmetros dos diversos aparelhos presentes no avião, manter as radiocomunicações e ainda gerenciar o automatismo complexo no *flight deck*⁵ é um dever que exige uma grande demanda da força física e mental dos profissionais. Portanto, os pilotos precisam sempre estarem atentos e gerenciando os sistemas automatizados, onde, em condições regulares, a função é apenas monitorar, ficando de lado as habilidades físicas dos aviadores (DE ABREU JÚNIOR, 2008). No entanto, nota-se que essas funções podem causar um comodismo negativo nos profissionais e, até mesmo, uma falta de experiência ao agir diante situações anormais.

1.2 Relação entre o fator humano e a automação

Segundo o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), fator humano é a maneira como as pessoas agem diante dos acontecimentos rotineiros da vida e do trabalho envolvendo o uso de máquinas, levando em consideração se o desempenho do

⁴ Órgão responsável por regularizar os parâmetros da aviação civil nos Estados Unidos.

⁵ Cabine de comando de voo de um avião.

indivíduo são: eficiente, eficaz, seguro e adequado diante as situações citadas (MCA 3-6, 2017)⁶. Enquanto a Organização de Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization* – ICAO) discorre que, na aviação, fator humano é tudo aquilo que está relacionado ao comportamento do indivíduo diante as circunstâncias de um voo, como: tomada de decisão, interação com os instrumentos da aeronave, softwares, manual de operação, entre outros parâmetros (ICAO, 1993).

Seguindo essa perspectiva, é notório o quanto a automação proporciona uma perda da operação manual feita pelos humanos e conseqüentemente um afastamento entre os pilotos e a aeronave. Apesar de que, essa tecnologia pode sim apresentar pontos positivos, sendo o mais evidente a redução de carga de trabalho dos profissionais além da ergonomia dentro da cabine. No entanto, esse recurso ainda pode gerar complacência nos pilotos por não se sentirem como parte da aeronave (BILLINGS, 1996). Assim sendo, é possível identificar a importância de se fazer presente uma clara e objetiva conformidade entre os tripulantes e a máquina que está sendo comandada, uma vez que, na presença de uma falha humana ou um equívoco na automação poderá originar um acidente (SALLES *et al.* 2017).

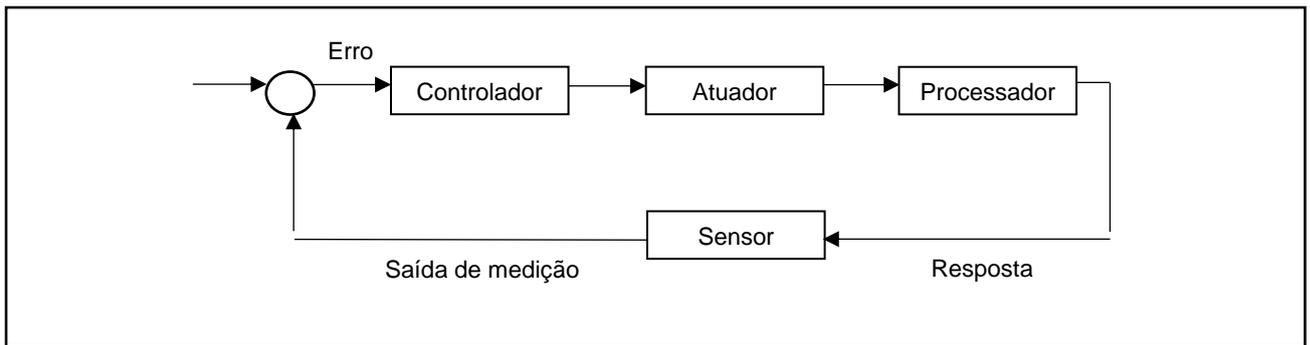
2. COMO FUNCIONA A AUTOMAÇÃO

Atualmente, todo aparelho para ser considerado autônomo deve constar em seu agrupamento sensores que executam uma determinada leitura que lhe foram demandadas e, após a interpretação, os dados coletados são mandados para um sistema de controle (CAMPELLO, 2018). Segundo Dorf e Bishop (2016), um sistema de controle é um agrupamento responsável por interligar componentes para que, ao final, possa ser obtida a resposta desejada, uma vez que esse mecanismo obedece a teoria de sistemas lineares, que adota uma posição de causa e efeito no sistema.

Na figura 3 apresentada a seguir, é possível identificar visualmente como funciona essa interconexão entre os componentes:

Figura 3 – Sistema de controle de ciclo fechado (com feedback)

⁶ Manual de Investigação do SIPAER.



Fonte: adaptado de DORF e BISHOP, 2016.

Ainda de acordo com os autores, esse agrupamento é composto por um sensor que fornece uma medição do respectivo sinal requisitado; seguido do controlador que é responsável em determinar o movimento; acompanhado do atuador que irá executar o movimento e por fim o processador que será a peça controlada. Isto é, para que haja a conexão entre os computadores e as superfícies do comando do avião, são utilizados sensores que interpretam e transmitem os respectivos dados ao computador para que dessa forma eles respondam novamente, comandando as superfícies.

Sendo que, o sistema de controle possui em seu banco de dados informações essenciais que irão percorrer um procedimento para atender a necessidade de uma ideia inicial e principal (CAMPELLO, 2018). Ou seja, para que esse agrupamento saiba o que executar e como agir, se utiliza de variados e complexos algoritmos.

2.1 Algoritmos

Inicialmente, foi no século IX que Al Khwarizmi apresentou a ideia do que viria a ser conhecida como algoritmo: uma maneira simples, ágil e precisamente eficiente para executar as operações matemáticas que, na época, eram muito complexas devido ao uso dos números romanos (DASGUPTA, PAPADIMITRIOU, VAZIRANI, 2010). Seguindo esse viés, Cormen (2012) afirma que algoritmo é uma soma de etapas que devem ser cumpridas na ordem em que estão descritas para que um computador consiga executar uma determinada função. Logo, um algoritmo define o caminho que deve ser seguido para chegar até a solução de um determinado problema. Ele é caracterizado por possuir instruções bem definidas e finitas que, quando executadas, geram um resultado, como, por exemplo, uma receita culinária que irá apresentar passo a passo o que deve ser feito (MEDINA, FERTIG, 2006).

Agora, voltado especialmente para o âmbito computacional, é perceptível que a linguagem de programação de um computador é estabelecida e compreendida propriamente por números, onde a presença de algoritmos nesse tipo de linguagem é um método muito complexo para pessoas comuns (MEDINA, FERTIG, 2006), sendo necessário a presença de outros procedimentos que trabalhem como tradutores para assessorar a interpretação da linguagem de máquina.

Outrossim, o algoritmo de computador irá funcionar da mesma maneira que uma lista de itens, na qual esse agrupamento de fases deve ser seguido com precisão com o intuito de executar a tarefa definida e ainda deve ser transmitido de maneira compreensível para um computador (CORMEN, 2012). Todavia, as pessoas sabem lidar e tolerar supostos imprevistos, enquanto uma máquina não. Na ausência de qualquer etapa ou até mesmo uma pequena falha na integridade do algoritmo, o equipamento não consegue prosseguir. Mais precisamente, as linguagens de programação não são capazes de efetuar todas as eventualidades presentes no mundo real, uma vez que, apenas um conjunto de códigos são interpretados pelos computadores (MEDINA, FERTIG, 2006).

Uma marcante demonstração de como os humanos sabem lidar com eventualidades foi a tomada de decisão do Comandante Sullenberger que, diante uma inesperável condição, ao perder os dois motores logo após a decolagem, adotou uma postura, de antemão, equivocada perante as autoridades de investigação dos Estados Unidos e da própria fabricante do avião em questão. No entanto, após uma profunda avaliação e levando em consideração o fator humano e o tempo de resposta para uma anormalidade, foram constatados que a atitude tomada pelos tripulantes foi a melhor diante a situação, evitando uma catástrofe na maior cidade do mundo, Nova Iorque, e ainda salvando todos a bordo daquele voo (CAMPOS, 2019).

Sendo que, na construção de algoritmos, é possível coexistir ações diferentes que irão direcionar o fluxo de instruções de um determinado algoritmo, gerando diferentes caminhos finais que podem ser executados (MEDINA, FERTIG, 2006). Ainda conforme o autor, comumente, não é possível demonstrar se a decisão do respectivo computador está correta ou não, podendo ocasionar ambiguidade e ainda mais complexidade, como ocorreu no acidente do voo Air France 447, onde a tripulação não soube agir de forma correta diante a ausência do Piloto Automático⁷ e não apresentou o mínimo de competência e dominância para comandar a

⁷ Sistema que comanda a aeronave automaticamente, até estabilizá-la em uma condição de voo pré-selecionada pelo computador ou piloto de dentro da aeronave ou por controle remoto.

aeronave de maneira manual, violando a segurança de voo e ocasionando um desastre (NARCIZO, 2015).

2.2 Aprendizado de máquina

Atualmente, devido a 4ª Revolução Industrial, a tecnologia se tornou algo essencial e presente em todos os âmbitos que rodeiam a sociedade. Um eminente exemplo disso é a Inteligência Artificial (IA) e a sua capacidade em poder aprender e moldar a maneira de como agir diante as escolhas pessoais de cada um nos smartphones, na qual essa função da tecnologia é conhecida como aprendizado de máquina (MUELLER, MASSARON, 2019). Mais precisamente, aprendizado de máquina é um segmento da Inteligência Artificial responsável por dispor de uso de dados e algoritmos para reproduzir a forma como os humanos aprendem (NOLETO, 2020).

Eventualmente, a funcionalidade desse recurso se deve graças a utilização de estatística e probabilidade, onde os algoritmos são treinados para executar previsões que estimularão o processo de decisão baseado em um banco de dados. Isso significa que o ponto inicial para a elaboração desse método é baseado em hipóteses, na qual o profissional responsável faz uma determinada pergunta e atinge determinadas respostas (MUELLER, MASSARON, 2019). Entretanto, ainda de acordo com os autores, no meio desse processo é mais comum a presença de falhas do que acertos, sendo necessário a revisão das supostas respostas obtidas.

Nota-se que, esse método possui a capacidade de trabalhar sem a ação humana. No entanto, para que isso aconteça, é necessário que a primeira etapa do processo seja executada por pessoas. Por exemplo, toda interatividade que há entre máquinas é oriunda de um programador que seja capaz em desenvolver códigos em uma linguagem de programação para que dessa forma ela possa realizar o que lhe foi passado de maneira correta (NOLETO, 2020).

Ainda segundo o autor, o principal impasse desse procedimento é a manipulação de dados efetuada de maneira errônea por profissionais não qualificados, podendo comprometer as informações e gerar danos na produção dos dados, uma vez que o banco de dados se encontra incorreto, as demais decisões não apresentarão precisão em sua integridade. Contudo, esses processamentos são de grande proveito no meio da automação, na qual em caso de algum

imprevisto, a IA consegue prosseguir desde que seus dados antecedentes estejam pertinentes (MUELLER, MASSARON, 2019).

2.3. Sistemas automatizados

A primeira aparição de um item autônomo na indústria ocorreu devido o matemático e engenheiro britânico James Watt em 1796, que consistia em um regulador centrífugo que funcionava como uma válvula autorreguladora de pressão controlando a velocidade das máquinas a vapor sem a interferência humana, apenas com o efeito comportamental da física termodinâmica e mecânica (CAMPELLO, 2018).

Como já foi citado anteriormente, as revoluções industriais e as novas tecnologias que foram surgindo ao longo dos anos alavancaram todos os setores conhecidos pelos humanos, nos quais a presença de computadores e produtos mecanizados se tornaram indispensáveis. Para compreender melhor o que é um sistema automatizado, é necessário saber o significado íntegro de automático: “que tem movimento de autômato; próprio de autômato; inconsciente; maquinal; que se opera por meios mecânicos; sem intervenção da vontade” (FERNANDES, LUFT, GUIMARÃES, 1995, p.81).

Dessa maneira, se entende que sistema automatizado é um mecanismo que utiliza técnicas computadorizadas que controlam e comandam dispositivos eletrônicos para seu próprio funcionamento (BILLINGS, 1997). Ou seja, é um método que realizará, se necessário, os devidos ajustes para o desempenho da determinada tarefa que lhe foi concebida.

3. COMPLICAÇÕES NA AVIAÇÃO OCASIONADAS POR ERROS NO SISTEMA OPERACIONAL DE CONTROLE DE VOO

Como foi relatado antes, é possível que apareçam algumas lacunas ao transcrever uma linguagem de computador e que o sistema não consiga se portar diante de imprevistos que não foram treinados. Sendo assim, o software tende a ficar incapacitado de trabalhar perfeitamente. A seguir, será demonstrado um caso que constava um defeituoso agrupamento eletrônico em seu núcleo, o que resultou em dois grandes desastres.

3.1 Metodologia

A metodologia empregada será baseada em pesquisas documentais e um estudo de caso. Desse modo, as informações necessárias foram retiradas de sites de notícias, jornais digitais e de um documentário pertencente a uma empresa de *streaming*⁸, sendo que, em todos os trabalhos analisados serão descritos os dados que mais condizem com as noções discutidas até então.

3.2 Estudo de Caso MCAS – Boeing 737 MAX

Em 2011, uma das maiores fabricantes de aeronaves do mundo decidiu inovar o seu modelo mais popular, o Boeing 737, o qual já havia passado por duas versões, sendo a primeira conhecida como *Classic* e a segunda *Next Generation* (NG). A Boeing apresentou a última versão, que foi nomeada como MAX, sendo que, um dos principais motivos em lançar essa nova versão era a necessidade em alcançar a sua principal concorrente, a Airbus com o A320 NEO (GATES, 2019).

Como resultado, foi necessário que os engenheiros responsáveis da Boeing elaborassem medidas cabíveis para implantar um motor maior e mais eficiente economicamente em uma fuselagem originalmente criada no final dos anos 1960. Desse modo, algumas mudanças foram feitas para o motor ser introduzido na aeronave, como movê-lo para frente e para cima, contando também com um aumento no tamanho da perna do trem de pouso (OSTROWER, 2018).

Entretanto, como relata a Terceira Lei de Newton: toda ação tem uma reação de mesma intensidade, mas com direção oposta, o avião adotou uma tendência em relação as modificações de elevar o nariz. Sendo assim, para corrigir esse movimento a empresa criou o Sistema de Aumento de Características de Manobra (*Maneuvering Characteristics Argumentation System-*

⁸ Um novo método proporcionado graças a internet, onde é possível visualizar conteúdos variados como filmes e séries ou até mesmo música sem precisar baixá-los (SILVA, 2022).

MCAS) que seria encarregado em abaixar o nariz da aeronave suavemente em determinadas velocidades (NETFLIX, 2022).

3.2.1 O que é o MCAS

Primordialmente, a ideia de um mecanismo automatizado que pudesse auxiliar os pilotos nos altos ângulos de ataque foi proposto por David Davies (1967), na qual todos os Boeing da série 707 deveriam possuir um aparelho que controlasse a tendência de subir o nariz ao selecionar a primeira posição do flap⁹ (MENTETH, 2019). De forma similar, para solucionar o problema citado acima, a fabricante de aeronaves norte-americana incrementou o MCAS nos novos 737, cujo software informa se o ângulo de ataque¹⁰ da aeronave está excessivamente alto, sendo que ele trabalha com os sinais recebidos por um sensor de ângulo de ataque¹¹ (FIG. 4) e atua de maneira automática, podendo por si só movimentar o estabilizador horizontal e consequentemente acionar o nariz para baixo sem a influência do piloto (SULLENBERGER, 2019).

Figura 4 – Local dos sensores de ângulo de ataque na fuselagem



Fonte: Boeing, tradução livre, 2021.

⁹ É um dispositivo localizado no bordo de fuga da asa que possui a função de aumentar a curvatura da asa e consequentemente aumentar a sustentação da mesma (HOME, 2010).

¹⁰ Diferença entre o ângulo de inclinação do nariz e o ângulo do vento relativo (BOEING, 2021).

¹¹ Dispositivo localizado do lado de fora da aeronave que coleta dados a respeito do ângulo de ataque (BOEING, 2021).

3.2.2 Lacunas no sistema

É válido salientar que, o MCAS pertence a um software de código fechado que funciona a partir de um algoritmo que coleta dados em tempo real (BERGSTRA, BURGESS, 2019). Todavia, os projetistas não obedeceram a lei da redundância existente na aviação, uma vez que o MCAS levava em consideração a leitura de apenas um de seus sensores, possibilitando a ativação do sistema tendo como base informações falsas e então gerando um ponto crítico para a ocorrência de uma falha, o que o torna sem confiabilidade e integridade (SULLENBERGER, 2019).

Por outro lado, esse sistema foi criado de maneira sigilosa, sendo ocultado até mesmo dos pilotos, pois no Boletim de Manual de Operações de Tripulação de Voo (FCOM)¹² não constava informações a respeito do novo mecanismo (OSTROWER, 2018). Certamente, houve esse acobertamento para evitar custos extras em treinamentos e homologações, porque para o MAX ser aceito como uma variante do seu antecessor, era necessário que ele apresentasse características de voo semelhantes, como afirma MENTETH (2019). Se não houvesse parâmetros equivalentes ao 737 NG, seria preciso um maior investimento para lançar e certificar a nova variante. Ademais, com a inserção desse procedimento, a própria Boeing foi contra os seus princípios em sempre delegar o controle total da aeronave aos pilotos, uma vez que o MCAS atuaria sem a intervenção do tripulante de cabine (GATES, 2019). Em virtude desses impasses, dois grandes acidentes envolvendo o avião apresentaram como principal causa o mecanismo citado, na qual as circunstâncias de voo eram bastante similares como, baixa altitude e velocidade.

O primeiro desastre aconteceu no dia 29 de outubro de 2018, 13 minutos após a decolagem o avião da companhia aérea da Indonésia começou a relatar vários sinais sonoros e visuais informando uma atitude inadequada e uma altitude discrepante, sendo que isso ocorreu devido o computador de voo ter coletado justamente a informação do sensor esquerdo que constava dados errôneos e desse modo, enquanto os pilotos tentavam recuperar o comando da aeronave, o software MCAS o impulsionava para baixo (NETFLIX, 2022).

Como resultado, a Boeing emitiu um comunicado ao público afirmando que seriam feitos reparos a respeito do sistema e continuavam sustentando que o avião era seguro.

¹² Informações suplementares de operações (BOEING, 2021).

Entretanto, ao passar 5 meses, ocorreu outra fatalidade com o mesmo modelo de aeronave, só que desta vez os pilotos já estavam atentos com o sistema e o detalhe que mais chama atenção nesse acidente envolvendo a companhia aérea *Ethiopian*, é que a tripulação desligou o compensador automático do estabilizador horizontal e desativou também o sistema defeituoso, executando assim os procedimentos descritos pela fabricante (PASSOR, TANGEL, 2019). Todavia, essas ações não foram suficientes para impedir a queda do avião, que colidiu com o chão após 6 minutos da decolagem, matando todos a bordo.¹³

3.2.3 Solução do problema

Após a ocorrência das duas fatalidades envolvendo o 737 MAX, a FAA que é um órgão extremamente importante na aviação tanto nos Estados Unidos quanto no mundo todo, não havia adotado nenhuma medida para retrair os voos do novo modelo. Mediante esse fato, um dia após o segundo acidente os chineses e outros países, em forma de manifestação, anunciaram que o avião estaria proibido de voar em seus respectivos espaços aéreos (NETFLIX, 2022). Como consequência, esse ato gerou uma certa pressão sobre o país nativo da aeronave, onde o atual presidente da época, Donald Trump, emitiu uma nota de emergência oficial determinando que todas as categorias do 737 MAX fossem suspensas e mantidas em solo até a averiguação do problema (LIPTAK, 2019).

Durante 1 ano e 8 meses, a Boeing executou inúmeras análises para decifrar e reformular o problema presente no antigo software. Por meio de uma atualização no sistema MCAS, foram adicionadas mais etapas de proteção que pudessem filtrar melhor a coleta de dados e assim mitigar uma falha. Assim sendo, as principais alocações feitas no meio eletrônico foram que o computador de voo agora receberá as informações obtidas pelos dois sensores de ângulo de ataque existentes e o MCAS não poderá mais comandar o profundor¹⁴ além da intensidade em que seja possível a tripulação de voo executar uma manobra tendo como intenção a reversão do movimento indesejado (BOEING, 2021).

Ainda conforme a fabricante, foram feitos reparos que almejavam uma ampla melhoria na familiarização entre o B737 MAX e os pilotos. Com a utilização dos novos treinamentos intensificados, era exigido uma qualificação acadêmica contendo como material de apoio

¹³ Fonte: Wikipédia (2022).

¹⁴ Outra nomeação para o estabilizador horizontal.

documentações adequadas aos tripulantes, e para completar o curso de adaptação da migração entre o B737 NG para o B737 MAX ainda seria necessário a execução de aulas práticas em um simulador sofisticado acompanhado de um instrutor. Em suma, essas estratégias adotadas pela fabricante de aviões norte-americana buscavam reforçar a ideia de que após todas as alterações feitas, o avião se tornou seguro e pronto para voar novamente, uma vez que, ao existir uma interação harmônica entre os fatores humanos e a automação, os níveis de falhas serão cada vez mais anulados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa apresentou alguns dos métodos que são utilizados para a construção de sistemas operacionais, mais especificamente, os algoritmos e as linguagens de programação. Ademais, houve o apontamento da evolução das aeronaves em geral até se tornarem automatizadas, e como é feita a manipulação de dados de um determinado sistema, para que assim possam atuar sem a intervenção humana, levando em consideração a relação entre os fatores humanos e o elevado nível de automação na aviação. Desse modo, o artigo verificou que as medidas adotadas para criação de softwares podem conter erros e que para reduzir ou mitigar os problemas envolvendo a automação na cabine de comando, a ideal conduta para solucionar esses impasses é uma melhor preparação nos treinamentos disponibilizados, cujo objetivo é estimular as habilidades dos pilotos em operações de voo manual.

Em virtude do que foi observado, é possível concluir que, os sistemas automatizados, para existirem e operarem suas respectivas funções, dependem de algoritmos matemáticos, nos quais, para que isso ocorra de forma prescrita e adequada, os programadores necessitam produzir informações e dados corretos, sobretudo, na aviação, é essencial que esses fatores estejam alinhados e em concordância, a fim de evitar a ocorrência de um acidente aeronáutico, pois nesse âmbito, a presença de falhas, em algumas das vezes, não permitem uma segunda chance.

Seguindo essa linha de raciocínio, por meio dos dados obtidos entre 2018 e o primeiro semestre de 2022, a respeito do software MCAS, proveniente do Boeing 737 MAX, foi observado a ocorrência de dois grandes acidentes em um curto período envolvendo a nova aeronave. Sendo válido salientar que, entre os fatores contribuintes, destacam-se a falha presente no sistema de controle de voo, a omissão da presença do componente por parte da

própria fabricante e conseqüentemente a ausência de um treinamento propício para um dos mais importantes pilares da segurança de voo, que são os pilotos. Sendo assim, o caso do 737 MAX, expressa claramente a relevância em se ter uma harmônica conexão entre os sistemas automatizados e os fatores humanos.

Logo, se torna visível a importância em revisitar esses assuntos, para melhor preparar os pilotos diante de tal tecnologia e incluir os programadores nos problemas enfrentados na automação, para assim apresentarem uma solução. Uma vez que, muitos dos pilotos estão perdendo as suas habilidades de pilotagem, pois, atualmente, devido ao alto nível de automação, os tripulantes estão tendo apenas a função de gerenciamento dentro da cabine. Por outro lado, entende-se que a automação é algo planejado e feito por seres humanos, no entanto, quando ocorre qualquer tipo de anormalidade, os primeiros a serem culpados são os pilotos, sendo que, os programas de automação, que são comumente ditados como à prova de defeitos e muito mais seguro e preciso que os humanos, obedecem a uma margem estabelecidas pelo próprio ser humano, o qual também está sujeito a falhas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto ABNT 08;020.30-009-1: **aeronáutica e espaço – vocabulário**, p. 1 aeronaves. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por-por/tr575.htm>. Acesso em: 03 nov. 2022.

BASSETO, M. **Engenheiro de Voo: a rara, mas ainda existente função no Brasil no Boeing 727**. Disponível em: <https://aeroin.net/engenheiro-de-voo-rara-ainda-existente-funcao-brasil-boeing-727-total/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

BERGSTRA, J., A., BURGESS, M. **A Promise Theoretic Account of the Boeing 737 MAX MCAS Algorithm Affair**. 2019 [S.I]. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2001.01543.pdf>. Acesso em: 23 out. 2022.

BILLINGS, C., E. **Human-Centered Aviation Automation: Principles and Guidelines**. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19960016374/downloads/19960016374.pdf>. Acesso em: 29 out. 2022.

BILLINGS, C., E. **Aviation automation: The search for a human-centered approach**. 1 ed. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1997.

BOEING. **737 MAX updates: The latest information, updates and statements on the 737 MAX.** Acesso em: <https://www.boeing.com/commercial/737max/737-max-software-updates.page>. Acesso em: 21 out. 2022.

BOEING. **737 Updates.** Acesso em: <https://www.boeing.com/737-max-updates/#how-many-newer-737-airplanes-were-built>. Acesso em: 22 out. 2022.

BORGES, V. A. **A influência da Automação na operação das aeronaves comerciais.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Automação Industrial) Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, Minas Gerais. Disponível em: <https://www.eng-automacao.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/152/2018/01/TCC-VINICIUS-Vers%C3%A3o-Definitiva-EAI-2017.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **MCA 3-6: Manual de Investigação do SIPAER.** Brasília, 2017.

CAMPELLO, M. De O. **Automação de Voo.** 2018. Monografia (Bacharel em Ciências Aeronáuticas) Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Santa Catarina. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8147/1/Automa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Voo.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2022.

CAMPOS, L., A., G. **Análisis de la película de Sully: una hazaña em el Hudson.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Administração com menção em Gestão de Recursos Humanos) Faculdade de Ciências Administrativas, Lima, Peru. Disponível em: https://www.academia.edu/39889520/Una_Haza%C3%B1a_en_el_Hudson_Una_aplicaci%C3%B3n_al_Liderazgo_y_Toma_de_decisiones?from=cover_page. Acesso em: 03 nov. 2022.

CORMEN, T. **Desmistificando Algoritmos.** 1 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2017.

DASGUPTA, S., PAPADIMITRIOU, C., VAZIRANI, U. **Algoritmos.** 1 ed. São Paulo: AMGH Editora, 2010.

DE ABREU JÚNIOR, C., E. **Automação No Cockpit Das Aeronaves: Um Precioso Auxílio à Operação Aérea ou um Fator de Aumento da Complexidade no Ambiente Profissional dos Pilotos? REVISTA AÇÃO ERGONÔMICA.** [s.l.] 2008 v. 3 n. 2 p. 06-15. Disponível em: <https://www.revistaacaoergonomica.org/revista/index.php/ojs/article/view/80>. Acesso em: 05 ago. 2022.

DE LIMA, E. C., NETO, C. R. De O. **Revolução Industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial. REVISTA ESPAÇO ACADÊMICO.** Maringá: 2017 v. 17 n. 194 p. 102-113. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EspacoAcademico/article/view/32912/19746>. Acesso em: 05 mar. 2022.

DOMINIC, G. **Flawed analysis, falied oversight: How Boeing, FAA certified the suspect 737 MAX flight control system. The Seattle Times,** Seattle, 17 mar. 2019. Disponível em: <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/failed-certification-faa-missed-safety-issues-in-the-737-max-system-implicated-in-the-lion-air-crash/>. Acesso em: 20 out. 2022.

DORF, C., BISHOP, H. R. **Modern Control System**. 13 ed. Nova Jersey: Pearson, 2016.

FERNANDES, F. LUFT, P., C., GUIMARÃES, E., M. **Dicionário Brasileiro: Português**. São Paulo: Globo, 1995.

HOMA, J., M. **Aerodinâmica e Teoria de Voo**. 28 ed. São Paulo: Asa, 2010.

ICAO. CIRCULAR ICAO 247-AN/148: Human factors, management and organization. Montreal, Canada: ICAO, 1993.

Kennedy, R. **Queda livre: A tragédia do caso Boeing**. Netflix: Ron Howard, 2022.

LIPTAK, K. Trump administration grounds Boeing 737 MAX planes. **CNN Politics**, Washington, 13 mar. 2019. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2019/03/13/politics/donald-trump-boeing-faa/index.html>. Acesso em: 22 out. 2022.

MEDINA, M., FERTIG, C. **Algoritmos e Programação: Teoria e Prática**. 1 ed. São Paulo: Novatec, 2006.

MENTETH, S. O. **A Basic “MCAS” System was installed in the Boeing 707 in the 1960s**. Disponível em: <https://leehamnews.com/2019/11/01/a-basic-mcas-system-was-installed-in-the-boeing-707-in-the-1960s/>. Acesso em: 20 out. 2022.

MUELLER, J., P., MASSARON, L. **Aprendizado de Máquina Para Leigos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018.

NARCIZO, R., R. **Automação na cabine de comando e suas consequências na segurança de voo**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Tecnológica em Manutenção de Aeronaves) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Carlos, São Paulo. Disponível em: <https://www.eng-automacao.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/152/2018/01/TCC-VINICIUS-Vers%C3%A3o-Definitiva-EAI-2017.pdf>. Acesso em: 30 set. 2022.

NOLETO, C. **Aprendizado de máquina: 8 exemplos para entender as aplicações**. Disponível em: <https://blog.betrybe.com/tecnologia/aprendizado-de-maquina/>. Acesso em: 10 set. 2022.

OSTROWER, J. **What is the Boeing 737 MAX Maneuvering Characteristics Augmentation System?** Disponível em: <https://theaircurrent.com/aviation-safety/what-is-the-boeing-737-max-maneuvering-characteristics-augmentation-system-mcas-jt610/>. Acesso em: 21 out. 2022.

PASSOR, A., TANGEL, A. Ethiopian Airlines Pilots Initially Followed Boeing’s Required Emergency Steps to Disable 737 MAX System. **The Wall Street Journal**, Nova Iorque, 3 abr. 2019. Disponível em: https://www.wsj.com/articles/ethiopian-airlines-pilots-initially-followed-boeings-required-emergency-steps-to-disable-737-max-system-11554263276?reflink=desktopwebshare_permalink. Acesso em: 22 out. 2022.

SALLES, Antonio Augusto Rosa *et al.* **Análise da Interação Humana com os Sistemas Automatizados das Aeronaves Boeing e Airbus**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-

graduação em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada) Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo.

SILVA, M., M. **Streaming: Entenda o que é streaming e confira as principais plataformas.**

Disponível em: <https://melhorplano.net/streaming#:~:text=Servi%C3%A7os%20de%20streaming%20s%C3%A3o%20aqueles,total%20para%20come%C3%A7ar%20a%20usar>. Acesso em: 01 nov. 2022.

SULLENBERGUER, S. **My Testimony Before the House Subcommittee on Aviation.**

Disponível em: <https://www.sullysullenberger.com/my-testimony-today-before-the-house-subcommittee-on-aviation/>. Acesso em: 20 out. 2022.

TARNOWSKI, E. **Cockpit Automation Philosophy.** Blagnac, France: 2002. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA422301>. Acesso 25 ago. 2022.

WIKIPÉDIA. **Voo Ethiopian Airlines 302.** Disponível em:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Voo_Ethiopian_Airlines_302#:~:text=A%20bordo%20da%20aeronave%20estavam,foi%20referido%20como%20%22louv%C3%A1vel%22.. Acesso em: 03 nov. 2022.

RESOLUÇÃO nº 038/2020 - CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

O estudante Lara Gabrielly Lima Resende
do Curso de Ciências Aeronáuticas, matrícula 2019.1.0047.0056-1, telefone:
(62) 99329-9006, email lara_eustaquio_resende@hotmail.com, na
qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do
autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de
Conclusão de Curso intitulado O paradoxo da automação na emissão
gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos,
conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato
especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG,
MWV, AVI, QT); outros específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de
divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 21 de setembro de 2022.

Assinatura do autor: 

Nome completo do autor: Lara Gabrielly Lima Resende

Assinatura do professor-orientador: 

Nome completo do professor-orientador: Anna Paula Bechepeche