

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

**FATORES DE RISCO A BORDO DAS AERONAVES COMERCIAIS  
RELACIONADOS À AUTOMAÇÃO**

GOIÂNIA

2020

BRUNO FERREIRA SILVA

**FATORES DE RISCO A BORDO DAS AERONAVES COMERCIAIS  
RELACIONADOS À AUTOMAÇÃO**

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

Orientador: Professor Roberto Márcio dos Santos

GOIÂNIA  
2020

BRUNO FERREIRA SILVA

FATORES DE RISCO A BORDO DAS AERONAVES COMERCIAIS  
RELACIONADOS À AUTOMAÇÃO

GOIÂNIA – GO, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

PROF. MSc. ROBERTO MARCIO DOS SANTOS		CAER/PUC-GO Nota	8,5
Msc. Renaldo Moreira De Faria		CAER/PUC-GO Nota	8,5
PROF. Mauricio de Melo Cardoso		CAER/PUC-GO Nota	8,5

# FATORES DE RISCO A BORDO DAS AERONAVES COMERCIAIS RELACIONADOS À AUTOMAÇÃO

Bruno Ferreira Silva<sup>1</sup>  
Roberto Márcio dos Santos<sup>2</sup>

## RESUMO

Este artigo discutiu os fatores de risco a bordo das aeronaves comerciais relacionados com a automação, através de uma pesquisa bibliográfica e documental. A automação presente nos aviões comerciais das grandes empresas, ao redor do mundo, caracteriza-se por um alto grau de complexidade que exige do piloto, tanto em formação, quanto já em operação, uma capacidade cognitiva que lhe permita acompanhar as frequentes e rápidas mudanças nessa automação. Este trabalho analisou a complexidade da automação embarcada nas modernas aeronaves, utilizadas na aviação comercial, e identifica possíveis fatores de risco na interface homem-máquina (IHM), indicando como isso pode afetar a segurança operacional do voo. Apresentamos, ainda, a transformação que as cabines de comando ao longo do tempo e identificamos possíveis perigos à segurança operacional relacionados à complexidade da automação e erros cometidos por pilotos na operação de tais tecnologias. Entre as principais conclusões, podemos indicar que a IHM foi fator contribuinte em muitos acidentes, a exemplo do B-737 800 MAX, que a inabilidade da tripulação, somada a problemas técnicos que a máquina apresentava, resultou em tragédias. Ainda que tal aeronave tivesse sido amplamente aguardada desde seu lançamento até o início de suas atividades, sua performance não foi um sucesso. Assim, finalizamos concluindo que a automação tem muito a agregar na aviação, mas precisa evoluir à medida que os operadores consigam dominá-la.

Palavras-chave: Automação; Sistemas de Voo; Interface; IHM; Embarcadas.

---

<sup>1</sup> Graduando em Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO) @outlook.com

<sup>2</sup> Graduado em Educação Física, ESEFFEGO/1987; Especialista em Metodologia do Ensino da Educação Física, ESEF-UFRGS/1994; Cap Esp Aer Controlador de Tráfego Aéreo, FAB/1981; Mestre em Psicologia do Desenvolvimento, IP-UFRGS/2000; Mestre em Segurança da Aviação e Aeronavegabilidade Continuada, ITA-FAB/2013; Especialista em Psicopedagogia, PUC GOIÁS/2013, Professor Assistente no Curso de Ciências Aeronáuticas na PUC GOIÁS. E-mail: rob.marcio@hotmail.com.

## **ABSTRACT**

**This article discusses risk factors at commercial aircrafts related to automation, through a bibliography and documentary research. The automation present in commercial airplanes of large companies, around the world, is characterized by a high degree of complexity that requires from the pilot, both in training and in operation, a cognitive ability that allows him to keep up with frequent and fast changes in this automation. The article to analyzes the complexity of the automation used in modern aircrafts and identify possible risks in the human-machine interface, indicating how it can affect the operational safety of the flight. We also present the transformation of the cabinets over time, and identify possible risks and dangers related to complexity automation and mistakes committed by pilots in the operation of such technologies.**

**In the main conclusions, we can indicate that IHM was a contributing in many accidents, such as the B-737 800 MAX, that the crew's inability, added to technical problems that the machine presented, resulted in tragedies. Even though the aircraft had been awaited from its launch until the beginning of this activities, its performance wasn't a success. So, we conclude that automation has a lot to add to aviation, but it needs to evolve as the operators can control it.**

***Keywords: Automation; Flight System; Interface; HMI; Boarded.***

## **1. INTRODUÇÃO**

A automação presente nos aviões comerciais das grandes empresas, ao redor do mundo, caracteriza-se por um alto grau de complexidade que exige do piloto, tanto em formação, quanto já em operação, uma capacidade cognitiva que lhe permita acompanhar as frequentes e rápidas mudanças nessa automação.

O objetivo geral deste artigo é analisar a complexidade da automação embarcada nas modernas aeronaves, utilizadas na aviação comercial, e identificar possíveis fatores de risco na interface homem-máquina (IHM), indicando como isso pode afetar a segurança operacional do voo. Como objetivos específicos, ainda, apresentaremos a transformação que as cabines de comando vêm passando ao longo do tempo.

Este trabalho se justifica pela necessidade de identificar possíveis perigos à segurança operacional relacionados à complexidade da automação e erros cometidos por pilotos na operação de tais tecnologias.

Dessa forma, este artigo utilizará uma pesquisa bibliográfica e documental e está estruturada em 5 seções.

Na 1ª seção será apresentado um breve histórico da aviação e alguns equipamentos utilizados nos sistemas automatizados presentes nas aeronaves na atualidade. Na 2ª, será feita uma análise sobre a relação dos pilotos com esses sistemas e seus desdobramentos.

## **2. BREVE HISTÓRICO DA AVIAÇÃO**

A partir de meados de 1915, na primeira metade do século XX, que foi marcado por duas Guerras Mundiais, a aviação começou a ter um papel muito importante no meio militar. O poder aéreo era de grande valia para todos os envolvidos, já que as aeronaves se tornavam um veículo capaz de carregar um alto poder bélico, realizar reconhecimento de áreas, transporte de cargas e tropas. Durante esses anos, a indústria aeronáutica teve uma grande evolução, com o objetivo de aprimorar os aviões para que pudessem ter maior poder de combate durante as guerras, além de atender todas as outras missões. Essa época tornou-se de extrema importância para a aviação comercial atual, que herdou os avanços e desenvolvimento do setor que aconteceram durante as Grandes Guerras. (GONZALES, 2018)

Após o final de cada Guerra, a indústria aeronáutica direcionou suas pesquisas e avanços para a aviação comercial de transporte de cargas e passageiros. Era de extrema importância a necessidade de melhorias no setor. As aeronaves precisavam ser adaptadas para voar mais alto e por mais tempo,

além de necessitarem de equipamentos de navegação e comunicação mais sofisticados e seguros, além de mais pistas de pouso e decolagem nos continentes, que só aconteceu após a Segunda Grande Guerra,

A busca por segurança e economia fez a tecnologia a bordo das aeronaves comerciais passar por grandes mudanças. O crescimento e a globalização do transporte aéreo trouxeram um novo mercado a ser explorado e mais um desafio para a indústria aeronáutica: a operação de aeronaves cada vez maiores e mais velozes, porém com sistemas cada vez mais complexos. Na década de 50, surgiram as primeiras aeronaves com motores a jato e posteriormente as aeronaves supersônicas. A partir de 1970, foram criados os primeiros sistemas de navegação automática, de gerenciamento de voo e os sistemas digitais. (DIANIN, 2010)

Acreditava-se que, com os avanços tecnológicos, os acidentes envolvendo aeronaves chegariam próximo de zero, ou não existiriam, porém, isso não aconteceu da forma como se esperava. Com a evolução tecnológica, as aeronaves se tornaram mais seguras e mais confiáveis, em função da precisão dos equipamentos de navegação, mas também trouxeram um problema novo, exigindo do piloto um conhecimento sempre atualizado do funcionamento das novas tecnologias, com alta complexidade, para uma operação com segurança. (AMALBERTI, 2001)

### **3. INTRODUÇÃO À AUTOMAÇÃO: TECNOLOGIAS EMBARCADAS**

A tecnologia utilizada na aviação atual está em desenvolvimento constante. Diversos itens foram implantados nas aeronaves comerciais ao longo do tempo, com o objetivo de aumentar a precisão dos voos e prevenir os acidentes aeronáuticos. O desenvolvimento de tecnologia é baseado nos resultados de investigações de incidentes e acidentes, buscando um nível aceitável de segurança operacional. (CENIPA, 1971)

As aeronaves comerciais atuais são equipadas com vários sistemas automatizados, que auxiliam o piloto em diversos momentos do voo, além de reduzir a carga de trabalho. No início da aviação comercial, além dos pilotos na cabine de comando, fazia-se necessário também a presença do engenheiro de

voo que tinha, entre outras funções, a tarefa de efetuar cálculos da rota, consumo de combustível e velocidade.

Com o avanço da tecnologia e automação, os computadores ganharam espaço, realizando as funções operacionais com maior velocidade, precisão e segurança e algumas funções executadas a bordo passaram a não ser mais necessárias, como a função do engenheiro de voo, que começou a perder espaço até o lançamento do Airbus A300, em 1974, quando a empresa lançou um novo conceito conhecido por “*Forward Facing Crew Cockpit*”, referindo-se à cabine de comando com uma tripulação olhando toda para a frente, fazendo uma alusão direta à retirada do engenheiro de voo que se posicionava para a lateral da aeronave onde se encontravam os seus instrumentos. (KLOTZEL, 2015) Apesar de todo o prestígio dado hoje à automação nas aeronaves, quando essas inovações começaram a aparecer, muitos aviadores apresentaram resistência em aceitá-las. Em partes, pela dificuldade de lidar com tantos aparatos desconhecidos, mas também por suas habilidades manuais heroicas serem menos exaltadas, já que a tecnologia as ofuscava.

O manuseio de tais sistemas não era tão intuitivo, o que causava preocupação nos pilotos, pois, por não poderem impossibilitar a inserção e evolução das técnicas de voo que estavam surgindo naquele momento, muitas vezes precisavam operar essas tecnologias com pouquíssimo domínio, conforme cita Bordini (1999):

“Esses aviões representavam uma completa mudança nos procedimentos de voo até então existentes na VARIG. Não só era necessária a adaptação a um avião mais moderno e veloz como precisavam, os pilotos, aprender a voar por instrumento sem referência visual com o terreno, e a fazer aproximações em IFR” (p. 86).

Um dos objetivos da automação era tornar a cabine mais segura, porém, havia também objetivos econômicos, como reduzir o número de tripulantes na cabine de 3 para 2 e reduzir o consumo de combustível. Todavia, é importante salientar que o piloto deve dominar o uso e a interpretação de tais tecnologias para que elas sejam, de fato, auxiliares, pois é inegável que, à medida que tais

sistemas evoluem, sua operação se torna mais complexa, o que exige um constante aprendizado por parte do piloto.

Isso é evidenciado no excerto de FAJER, (2009):

“A introdução de equipamentos de aviso de proximidade de solo, ou sistemas para evitar colisão durante a navegação e a introdução de equipamentos de navegação aérea passaram a ser sentidas pelas tripulações como dificuldades à medida que os equipamentos se tornaram mais complexos para serem operados. (p.37)”

Abaixo serão apresentados alguns sistemas automatizados que foram introduzidos nas aeronaves de grande porte, reduzindo e auxiliando na operação da mesma e diminuindo a carga de trabalho dos pilotos.

### 3.1 Sistema de Instrumentos Eletrônicos de Voo (EFIS – Eletronic Flight Instrument System)

O EFIS é um sistema automatizado dos instrumentos de voo com exibição eletrônica. Ele é composto por uma tela primária, que apresenta recursos primários do voo, como o GPS, uma tela de múltiplas funções, que apresenta informações meteorológicas, de navegação, e uma tela com informações dos sistemas e alerta dos motores, que exibe dados do sistema hidráulico e de combustível da aeronave e identifica anomalias, estando instalados em pontos de visualização acessível aos pilotos, além de possuírem alertas visuais e sonoros.

A apresentação das informações difere de acordo com o modelo da aeronave, sendo imprescindível que a interface seja amigável, permitindo ao piloto interpretar os sistemas de forma clara.

### 3.2 Piloto Automático (AP - Auto Pilot)

O Piloto Automático é constituído por atuadores, sensores e processadores. Tais dispositivos são interdependentes, de modo que a altitude

e direção são medidas, controladas e repassadas para o computador de bordo, tornando possível que os controles do avião sejam acionados automaticamente. O mecanismo do piloto automático pode ser ativado e desativado a qualquer momento.

Este recurso permite que o avião voe sem que o piloto esteja com as mãos no manche. Lawrence Sperry, inventor pioneiro da aviação, apresentou este mecanismo em 1914. No entanto, o projeto era de seu pai, Elmer Sperry, que por anos aperfeiçoou o dispositivo para que pudesse ser usado. A apresentação ocorreu em Paris, no dia 18 de junho e tratava-se de um concurso de segurança aeronáutica. A demonstração do projeto do piloto automático foi além de um simples voo: junto com o mecânico Emil Cachin, Lawrence retirou as mãos do manche e depois, de forma ainda mais convincente, a dupla deixou os assentos e cada um se posicionou em uma asa da aeronave. Mesmo assim, ela manteve o voo estabilizado e nivelado. Devido ao sucesso da demonstração de Sperry, ele recebeu um prêmio de 50.000 francos, do Aeroclube da França.

Obviamente, o piloto automático contribui para a segurança do voo, já que é capaz de preservar a direção e altitude da aeronave. Assim, o piloto pode se dedicar a outras funções durante o voo, inclusive no monitoramento dos sistemas de voo.

### 3.3 FBW – Fly by Wire

Este sistema é muito importante no que diz respeito à automação das aeronaves, pois substitui o sistema mecânico, integrado por engrenagens e pesados cabos de aço, por um sistema eletrônico e digital.

Dessa forma, o FBW permite que as aeronaves sejam mais leves, o que melhora sua performance, economiza combustível, otimiza seu espaço e atinge maior velocidade. Não obstante, por ser elétrico, torna possível que os comandos sejam feitos de forma sutil. Além disso, o sistema é computadorizado, o que permite configurar os voos por fases, assim, possui um controle de voo muito preciso.

Portanto, ao mover o manche, realizando comandos, o piloto envia sinais para um sistema formado por três computadores, e, cada um deles possui 3 CPUs, conhecidas como Lanes. Por sua vez, essas Lanes se comunicam entre si, analisando e filtrando o comando dado pelo piloto. Essa é uma grande vantagem do sistema, pois com certeza garante uma maior segurança no voo, já que resulta em um melhor desempenho da aeronave e é capaz de impedir manobras que ultrapassem seu limite.

Isso porque as Lanes tomam as decisões em conjunto, não apenas uma máquina é responsável pelo funcionamento do sistema. Nesse viés, compreende-se que uma Lane comanda, a segunda fica em *stand-by* e a outra monitora as demais.

Apesar disso, como a maioria dos dispositivos automatizados, o FBW também possui uma desvantagem diretamente ligada à interação HomemMáquina, pois é um sistema que não é pilotado manualmente, mas por um sistema automático de voo. Portanto, sua compreensão é complexa, exigindo grande domínio sobre o sistema por parte da tripulação, pois quando ele está em bom funcionamento, a carga de trabalho dos pilotos é, de fato, diminuída, mas em caso de falhas, exige grande conhecimento para ser interpretado e operado.

#### **4. CASO BOEING 737-800 MAX**

O Boeing 737-800 MAX, anunciado em 2011, tinha uma proposta que consistia em uma aeronave segura, econômica, sustentável e repleta de recursos tecnológicos. Em seu lançamento, a empresa Boeing obteve diversas encomendas da aeronave. Seu primeiro voo ocorreu em 2017 e, em março de 2019, a operação dessa aeronave foi suspensa pelas agências reguladoras (OACI – Organização da Aviação Civil Internacional).

A suspensão ocorreu devido ao fato de que o modelo esteve envolvido em dois acidentes aeronáuticos, em um intervalo de quatro meses. Tratam-se dos voos JT610, da Lion Airlines, e ET302, da Ethiopian Airlines, ocorridos em outubro de 2018 e março de 2019. Seu retorno estava previsto para o primeiro semestre de 2020, porém o Boeing 737-8 MAX continua impedido de voar. (JUNIOR, 2019)

Profissionais da área e grande parte da população, de um modo geral, ficaram surpresos com a performance da aeronave e comovidos com o número de vítimas envolvidas (mais de 300, somados os dois acidentes).

No que se diz respeito à segurança operacional, o tema é dividido em três parâmetros: organizacional, humano e técnico. Eles se referem ao gerenciamento de riscos e gestão da qualidade nos processos desenvolvidos; às características fisiológicas e psicológicas do ser humano; e às características da máquina, respectivamente. (KNKT, 2018)

Nesse contexto, é importante analisar a segurança operacional fornecida pela automação nesta aeronave, visto que ambas tragédias foram causadas, primordialmente, após o sistema MCAS (Sistema de Aumento das Característica de Manobra) interpretar de forma equivocada dados errados dos indicadores do AoA (Ângulo de Ataque). Com parâmetros incorretos o MCAS agiu conforme programado para a situação reportada pelo AoA, baixando o nariz da aeronave. Os pilotos não tinham indicações sobre problemas nos indicadores dos sensores, iniciando assim uma cadeia de reações que levou ao acidente. (JUNIOR, 2019)

É importante ressaltar, porém, que no voo anterior ao JT610, em outubro de 2018, reparos foram feitos, tratava-se da troca do sensor de ângulo de ataque (AOA: *Angle of Attack*) no lado esquerdo da fuselagem e correção dos alarmes de velocidade e altitude. Essa revisão foi checada pelo piloto e engenheiro de manutenção antes da decolagem. No entanto, tal voo foi extremamente conturbado, visto a dificuldade de manter altitude e demais dificuldades, como as citadas por Vaz Junior (2019, p.29) “*stick-shaker* ativo durante todo o percurso e o uso do trim manual mecânico ao longo do trajeto”

Todavia, no voo JT610 a tripulação não conseguiu identificar falhas nesses sensores, de acordo com o Komite Nasional Keselamatan Transportasi, que disponibilizou o relatório final sobre o acidente. Contudo, todos os Boeings 737 possuem alarmes que deveriam indicar alerta no caso de divergência entre os sensores de ângulo.

Diante das anomalias observadas no dia anterior e de sua não correção, fica evidente que a aeronave não deveria ter decolado para realizar o voo JT610, principalmente porque, devido à falha no AOA não ter sido identificada, outros alarmes foram acionados. Assim, a tensão na cabine resultou numa grande

carga de trabalho, visto as soluções que a tripulação precisava procurar sob pressão. (KNKT, 2018)

Isso posto, tais falhas pareciam aleatórias, porém, o episódio se repetiu em março de 2019, no voo ET302, o que ratificou os indicativos de problemas no software do Boeing 737-8 MAX e no projeto da aeronave como um todo. Nessa última ocorrência, porém, apesar de o relatório final não estar pronto, as caixas pretas evidenciam que a tripulação respeitou e realizou todos os procedimentos de emergência para evitar a queda, mesmo assim, o acidente não pode ser evitado. (JUNIOR, 2019)

É indubitável que o estresse pode colaborar com a ocorrência de erros humanos, o que afeta ainda mais a segurança operacional. Em vista disso, notase que a demasiada quantidade de alarmes pode distanciar o piloto da decisão correta sobre como resolver o problema, principalmente quando este não está sendo sinalizado de forma direta.

## **5. INTERFACE HOMEM-MÁQUINA**

A interface homem-máquina, em aeronaves cada vez mais automatizadas, é um dos maiores desafios do desenvolvimento tecnológico dos equipamentos embarcados, porque, apesar dos sistemas eletrônicos terem como objetivo a facilitação dos voos, muitas vezes a sua complexidade de operação pode atingir o resultado oposto, já que, para que as tecnologias instaladas nas aeronaves sejam melhor aproveitadas, faz-se necessário um melhor gerenciamento desse sistema.

As cabines de pilotagem são repletas de recursos que minimizam o trabalho dos pilotos e também evitam que erros humanos ocorram, já que fornecem dados precisos sobre fatores internos e externos à aeronave.

Nesse viés, Filho e Giacaglia (2014, p.142) afirmam que:

“São visíveis os benefícios da automação como a diminuição da carga física de trabalho na rotina dos pilotos a bordo, os alarmes audiovisuais que antecipam o mau funcionamento pela inserção de novos padrões

operacionais nos computadores de bordo e os equipamentos muito mais precisos e acurados de navegação aérea, entre outros.”

No entanto, esse automatismo requer conhecimento para um adequado gerenciamento dos sistemas, por isso, muitas vezes, os pilotos sentem-se não na posição de aviador, mas identificam-se apenas como um operador de sistemas, já que pouco se usa das habilidades manuais para pilotar a aeronave.

Assim, de acordo com Zandoná (2003):

“A nova tecnologia também coloca em pauta a qualificação do trabalhador, pois pode ser considerada qualificadora e desqualificadora para o mesmo, simultaneamente. Qualificadora em termos do saber instrumental e exigência de novos conhecimentos, e desqualificadora, pois reduz o profissional a um executor de operações mecânicas, monótonas e inconsciente.”

De acordo com o exposto, fica evidente que a automação tem como objetivo deixar os voos mais seguros e diminuir a carga de trabalho dos pilotos. No entanto, nota-se que automatizar os voos pode trazer alguns problemas, como a anulação do operador humano da aeronave, que não se vê como participante ativo dos voos que realiza, assim causando uma monotonia no trabalho.

Além disso, essa inatividade pode fazer com que o piloto não coloque seus conhecimentos em prática com frequência, por conseguinte, se a automação falhar, ele pode ter dificuldades em recuperar o sistema e a segurança do voo. Isso pode ser comprovado na afirmativa “As barreiras que se erguem entre pessoas de especialidades diferentes impedem que seus conhecimentos reajam com velocidade adequada à solução de problemas”.

(CARDELLA, 1999).

Nesse viés, cabe salientar que, na maioria das vezes, o erro humano está relacionado à alta carga de trabalho, pois apesar de a automação diminuir a necessidade de ação motora, ainda são os pilotos quem projetam, operam, mantêm, controla, interpreta e gerencia o voo.

Todavia, é importante observar o fator humano no voo e as condições fisiológicas e psicológicas do indivíduo, visto que, de acordo com o CENIPA, nos

últimos dez anos, 82% dos acidentes aéreos estavam relacionados à falha humana.

É importante ater-se para as fragilidades encontradas nesse setor, pois apenas assim será possível desenvolver práticas e estratégias que garantam a plena segurança da atividade aérea. Por isso, é muito importante um acompanhamento contínuo da saúde, principalmente mental, do piloto; pois é de conhecimento geral que ocorrências da vida pessoal, financeira, doméstica podem afetar o desenvolvimento profissional de qualquer pessoa. No entanto, as consequências de tal interferência podem ser graves na aviação, visto que tem-se a responsabilidade por diversas vidas, o que pode, inclusive, gerar certa pressão psicológica nos pilotos.

Por isso a relevância de esses indivíduos estarem constantemente preparados psicologicamente, além de as empresas contratantes serem mais presente nesse esse aspecto, avaliando e acompanhando a capacidade psicológica da tripulação, a fim de escalar profissionais habilitados para a atividade aérea.

De acordo o art. 18 da Lei nº 7.183/84, segundo a Lei nº 7.183/84 de 05 de abril de 1984 (Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 06 abril 1984), os pilotos podem exercer jornadas de 11 horas/dia até 20 horas/dia, desde que não se ultrapassem 60 horas semanais e 176 horas mensais.

Assim, percebe-se que os pilotos tendem a ter uma carga de trabalho além da esperada, visto que esta se dá não apenas no momento do voo, mas na preparação, no acompanhamento de projetos, estudos, organização de escalas, o gerenciamento de sistemas, a checagem da aeronave pré e pós funcionamento. Desse modo, fica evidente a exposição da tripulação a fatores estressores que podem afetar o desenvolvimento e performance dos profissionais envolvidos.

Além disso, segundo a World Health Organization<sup>7</sup> (1995, p. 01), saúde é definida como “o completo estado de bem-estar físico, mental e social, e não simplesmente a ausência de enfermidade”, por isso a relevância de sempre avaliar as condições físicas e emocionais dos pilotos, visto que fatores externos ao trabalho também são capazes de interferir seu desempenho no momento da atividade aérea. Nesse sentido, as tecnologias fornecidas pela automação

podem ser invalidadas no que tange à segurança do voo caso o piloto não apresente plenas condições de trabalho.

O elemento humano é a parte mais flexível, e valiosa do sistema de aviação. Mas ele é também a parte mais vulnerável a influências, podendo afetar negativamente seu desempenho. Lapsos no desempenho humano são citados fatores causais na maioria dos incidentes/acidentes que são comumente atribuídos a “erro humano”. Fatores humanos têm sido progressivamente desenvolvidos para aumentar a segurança de sistemas complexos, como a aviação, pela promoção da compreensão das limitações humanas previsíveis e suas aplicações para que seja possível lidar adequadamente com o erro humano. É somente quando vemos tal erro de um ponto de vista de um sistema complexo, que podemos identificar causas que levam a ele e dar atenção a essas causas (ICAO, 2003, p.01).

Ainda, tem-se o *Crew Resource Management* (CRM), que busca aprimorar dinâmicas de grupo entre toda a tripulação, com foco na tomada de decisões, formação e interação da equipe, gestão do stress e consciência situacional. No decorrer do tempo, o CRM passou por várias etapas evolutivas, que são tratadas como “geração”. Hoje, estima-se que ele está na quinta geração, e conforme evolui, a incidência de tragédias aéreas decresce. (RIBEIRO, 2009)

Nesse programa, entende-se que o erro é inevitável, em algum momento ele vai acontecer, então, é necessário saber gerir o erro, considerando os fatores humanos, físicos, psíquicos e adaptando os recursos de acordo com regiões, crenças e diferentes culturas.

Assim, nos cursos de CRM, apresentam-se modelos e métodos para reconhecer falhas e evitar a ocorrência de erros. Um deles é o Modelo SHELL, do qual trataremos a seguir.

A fim de facilitar a compreensão de como os fatores humanos se relacionam com os elementos de segurança na aviação civil, em 1998 a ICAO propôs o modelo SHELL (introduzido em 1972, por Elwyn Edward e alterado por Frank Hawkins, em 1975).

Ele é representado pela sigla SHEL, que se detalha da seguinte forma:

S – Software: Suporte lógico, documentação, símbolos e procedimento.

H – Hardware: Painéis, equipamentos, máquinas.

E – Environment: Ambiente dentro e fora do local de trabalho (ruído, qualidade da pista, climatização)

L – Lifeware: Este é o elemento mais crítico e flexível do sistema, pois trata-se das relações humanas e pode ser afetada por diversos fatores, dentre eles o físico, que diz respeito às capacidades físicas individuais, como visão e audição; o fisiológico, que trata-se de alterações que podem comprometer o rendimento tanto físico quanto cognitivo do indivíduo, como o uso de drogas, álcool e tabaco; o fator psicológico, que diz sobre a saúde mental da pessoa; e o psicossocial, que se dá por situações momentâneas que podem afetar o desempenho da pessoa, como a morte de um ente.

De acordo com a ICAO (1998), para estudar os fatores sistêmicos na aviação é necessário interagir o ser humano com os elementos do modelo, da seguinte maneira:

- L/S (Interação operador humano/ suporte lógico) é a relação existente entre o operador humano e aquilo que se encontra como suporte no local de trabalho (manuais, regulamentos, checklist, publicações, procedimentos, símbolos, etc.). Devido ao fato de se relacionar com problemas de baixa incidência, são mais difíceis de serem detectados e resolvidos;

- L/H (Relação entre operador humano e máquinas) relaciona-se com o operador humano no seu assento, na condução de máquina, executando procedimentos, em conformidade com a relação homem-máquina prescrita nos manuais ou regulamentos. A ICAO afirma que uma das grandes preocupações na aviação civil neste quesito é a adaptação do ser humano às eventuais não conformidades, e essa adaptação pode gerar acidentes, visto que não permitem que sejam notificadas e corrigidas;

- L/E (Interação homem e ambiente) foi uma das primeiras relações reconhecidas na aviação. Inicialmente, adaptava-se o ser humano ao ambiente e, logo depois, criava-se o ambiente propício aos requisitos humanos. Esta interface envolve a relação entre os indivíduos e o ambiente externo e interno. O ambiente interno envolve fatores físicos como calor, ruído, odor, iluminação, etc., já o ambiente externo refere-se aos recursos disponíveis, à sistematização do sistema e administração do mesmo, etc.;

- L/L (homem/homem) são as relações existentes entre seres humanos que trabalham no mesmo local. Esta interface analisa a relação entre

os indivíduos, com respeito à administração das pressões que podem afetar consideravelmente o comportamento humano.

Com isso, tem-se o homem como o elo mais “frágil”, flexível e sensível da interação humana-máquina. Isso porque é o setor que mais pode sofrer alterações de diversos fatores internos e externos, implicando na diversa possibilidade de reações frente tais alterações. Episódios como estes influenciam a perda da consciência situacional e o erro no momento de cumprir alguma instrução de segurança, podendo causar acidentes.

Portanto, é importante compreender o homem como um ser biológico e suas limitações, para, enfim, explorar alternativas que permitam tornar as falhas humanas menos recorrentes na aviação, de modo que os fatores psicossociais sejam considerados e supervisionados.

## **6. CONCLUSÃO**

Pudemos confirmar com este trabalho a evolução e a complexidade da automação embarcada nos aviões, ficando evidente a busca por voos cada vez mais seguros, em que a interação entre homem e máquina se dê de forma menos conflituosa.

A automação favorece o estado de complacência por parte dos pilotos, pois quando é reconhecida a eficiência da máquina, do computador, a confiança depositada na sua infalibilidade o leva a se acomodar no monitoramento. Isso reduz a consciência situacional colocando em cheque a segurança operacional, principalmente em situações não rotineiras.

Assim, faz-se necessário um maior estudo acerca da interação do homem e a automação no que diz respeito à modernização das aeronaves e a capacidade humana de acompanhar tais procedimentos e operá-las de modo a realmente evitar episódios negativos, como acidentes e incidentes aeronáuticos.

Diante disso, pudemos confirmar que o objetivo da automação era tornar a cabine mais segura, porém, havia também objetivos econômicos, como reduzir o número de tripulantes na cabine de 3 para 2 e reduzir o consumo de combustível. Todavia, é importante salientar que o piloto deve dominar o uso e a interpretação de tais tecnologias para que elas sejam, de fato, auxiliares, pois é inegável que, à medida que tais sistemas evoluem, sua operação se torna mais

complexa, o que exige um constante aprendizado por parte do piloto, sendo evidente que a tecnologia é uma grande aliada da aviação.

Entre as principais tecnologias, identificamos que estão presentes nas aeronaves, entre outras, o EFIS (*Electronic Flight Instrument System*), que consiste na exibição eletrônica dos dados do voo; o Piloto Automático que é capaz de manter a altitude e direção do voo; e o *Fly by Wire*, que controla as superfícies móveis da aeronave por meio de um computador que filtra os comandos.

Em relação à interação homem-máquina, foi possível perceber que ainda há muito o que ser trabalhado para que ambos estejam alinhados, como um melhor treinamento para que as tecnologias embarcadas sejam melhor compreendidas, e o acompanhamento psicológico constante da tripulação, a fim de que as condições de trabalho e fatores externos sejam percebidos antes de colocar principalmente pilotos em atividade, assim evitando que problemas externos ou internos prejudique a performance dos mesmos.

O modelo SHELL coloca o fator humano em evidência, analisando cada um de seus componentes e a forma como eles se relacionam com todos os fatores internos ou externos ao trabalho, de modo que essa relação permite investigar os riscos presentes e situações que mais estão propícias a causar o erro humano, considerando sua participação desde a manutenção até a operação das aeronaves.

Não há estatísticas de números de acidentes que foram evitados por meio de recursos de gerenciamento de cabine e de mitigação ao erro, porém de acordo com o CENIPA, o setor caminha para o terceiro ano de redução de acidentes aeronáuticos.

Assim, para que um voo aconteça com um nível aceitável de desempenho operacional, é importante que as cabines contem não só com dispositivos de última geração, mas com pilotos qualificados, dominando as interfaces tecnológicas.

O progresso da relação homem-máquina é totalmente positivo, onde visa um trabalho em conjunto e coordenado, proporcionando uma maior segurança na operação da aeronave.

## 7. REFERÊNCIAS

AMALBERTI, René. (2001). The paradoxes of almost totally safe transportation systems. *Safety Science*. 37. 109-126. 10.1016/S0925-7535(00)00045-X. Acesso em: Out. 2020.

ANAC. <https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-do-transporte-aereo/ultimas-publicacoes/anuario-do-transporte-aereo2013-2017>. Acesso em: Nov. 2020.

ASN. **Airliner Accident Statistics 2017**.

[https://aviationsafety.net/graphics/infographics/ASN\\_infographic\\_2017.jpg](https://aviationsafety.net/graphics/infographics/ASN_infographic_2017.jpg). Acesso em: Nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 20 de mar. de 2002. Acesso em: Set. 2020.

BUENO, Maria Ribeiro. **Um estudo sobre fatores humanos com foco em acidentes e incidentes aéreos**. Universidade de Araraquara, 2018. Acesso em Out. 2020.

CARDELLA, B. **Segurança no Trabalho e Prevenção de Acidentes: Uma Abordagem Holística**. São Paulo: Editora Atlas, 1999. Acesso em: Nov. 2020.

CENIPA. <https://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/investigacoes>. Acesso em: Ago.2020.

CENIPA, 2011 - **O SIPAER E SUAS FERRAMENTAS** - Anais do 4º Simpósio de Segurança de Voo. 2011.

DIANIN, Isabel. **A aviação do começo do século XX**. Instituto de Engenharia. 2010. Disponível em: <  
<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2010/05/10/a-aviacao-docomecodo-seculo-xx-1o-parte/>>. Acesso em: Set. 2020.

FAJER, Márcia. **Sistema de Investigação dos Acidentes Aeronáuticos da Aviação Geral – Uma Análise Comparativa**  
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-14012010095713/publico/MarciaFajer.pdf>. Acesso em Out. 2020.

FILHO, EC Vinhote; GEO GIACAGLIA. **Automação dos sistemas de aeronaves**. *Engineering Research*: São Paulo, v.5, n.6, p.142-163 nov. 2014. Acesso em: Ago. 2020.

GONZALEZ, Guadalupe. **El legado tecnológico de la Segunda Guerra Mundial**. Universidad Tecnológica de Panamá. 2018. Disponível em: <  
[revistas.utp.ac.pa/prisma/article/download/pdf](https://revistas.utp.ac.pa/prisma/article/download/pdf)>. Acesso em: Set. 2020.

HERKERT, Joseph; BORENSTEIN, Jason; Muller, Keith. **The Boeing 737 MAX: Lessons for engineering ethics**. Science and Engineering Ethics, 2020. Acesso em: Nov 2020.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Human Factors Guidelines for Aircraft Maintenance Manual** (Doc 9824). Montreal, Canadá: ICAO, 2003. Disponível em: Acesso em: Out. 2020.

JUNIOR, Carlos André Vaz. **Lições aprendidas de incidente envolvendo aeronave modelo boeing 737-8 (MAX): estudo de caso do voo LNI043**. Brazilian Journal of Development 5, no. 12 (2019): 29524-29551. Acesso em Nov. 2020.

KLOTZEL, ERNESTO. **Memórias de um engenheiro de voo**. 2015. Disponível em: < [https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/memorias-de-umengenheiro-de-voos\\_1961.html](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/memorias-de-umengenheiro-de-voos_1961.html)>. Acesso em: Set. 2020.

KNKT, Komite Nasional Keselamatan Transportasi Republic Of Indonesia, **“Aircraft Accident Investigation Report / PT. Lion Mentari Airlines / Boeing 737-8 (MAX); PK-LQP Tanjung Karawang, West Java; Republic of Indonesia; 29 October 2018”**. Disponível em: <https://www.flightradar24.com/blog/wp-content/uploads/2019/10/JT610-PKLQP-Final-Report.pdf>. Acesso em: Nov 2020.

LEMOS, Valmir. **História da Aviação**. Palhoça, UnisulVirtual, 2012. Acesso em: Set. 2020.

SOBREDA, Simone Figueira; SOVIERO, Paulo Afonso de Oliveira. **SERA E HFACS: Dois sistemas para análise e classificação do erro humano em acidentes e incidentes aeronáuticos**. SIPAER, 2011. Acesso em: Out. 2020

RIBEIRO, Selma Leal. **Psicologia No Contexto da Aviação: Breve Retrospectiva**. Rio de Janeiro, 2009. Acesso em: Out. 2020

ZANDONÁ, Norma da Luz Ferrarini. **Tecnologia e subjetividade**. 215 f. Dissertação (Mestrado em Psicologia do Trabalho). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003. Acesso em: Jul. 2020

