

AUTOMAÇÃO NA AVIAÇÃO: OS EFEITOS DE FERRAMENTAS DE TECNOLOGIA NA SEGURANÇA DE VOO ¹

AUTOMATION IN AVIATION: THE IMPACT OF TECHNOLOGY TOOLS ON FLIGHT SAFETY

Kelvin Gabriel da Silva de Lima²

Fernando Lopes da Silva³

RESUMO

A segurança de voo é um aspecto de extrema importância para a continuidade da atividade aérea em todo o mundo, sendo um objetivo fundamental a ser buscado. Com o avanço da tecnologia, observamos que as soluções encontradas para mitigar acidentes e incidentes aéreos estão cada vez mais relacionadas ao campo tecnológico, visando garantir a operação segura na aviação. O presente trabalho teve como objetivo investigar se o uso da tecnologia tem efeitos significativos na segurança de voo, com foco no estudo da automação. Foram selecionados os recursos aviônicos TCAS, ILS, GPWS e TAWS como objetos de estudo, sendo realizada uma análise sobre a automação e sua interação com o fator humano dentro das cabines, a fim de avaliar se existem impactos positivos na segurança aérea. Para alcançar esse objetivo, além da revisão bibliográfica, foi realizada uma análise dos números de acidentes aéreos no cenário brasileiro, nos quais foi possível constatar uma influência benéfica na redução da porcentagem de ocorrências.

Palavras-chave: Aviação; Automação; Segurança de voo; Tecnologia.

¹Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA).

² Cadete Aviador do 4º Esquadrão (Turma Orthrus, 2023).

³ Maj QOAv. Chefe da Seção de investigação e prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAA) da Academia da Força Aérea. E-mail: silvafls@fab.mil.br

ABSTRACT

The safety of flight is an extremely important aspect for the continuity of aviation worldwide and a fundamental objective to be pursued. With the advancement of technology, it is evident that the solutions found to mitigate aviation accidents and incidents are increasingly related to the technological field, aiming to ensure safe operations in aviation. The present study aimed to investigate whether the use of technology has significant effects on flight safety, with a focus on the study of automation. The avionic resources TCAS, ILS, GPWS, and TAWS were selected as objects of study, and an analysis was conducted on automation and its interaction with the human factor within the cockpit, in order to evaluate whether there are positive impacts on aviation safety. To achieve this goal, in addition to the literature review, an analysis of Brazilian aviation accident numbers was conducted, revealing a beneficial influence on the reduction of the occurrence rate.

Keywords: Aviation; Automation; Flight safety; Technology.

INTRODUÇÃO

Um grande marco na história da humanidade foi a criação do avião. Desde que Alberto Santos Dumont efetuou o primeiro voo de um transporte mais pesado que o ar com o seu 14-bis, um avião feito de madeira, bambu e lona chinesa, na França em 1906, houve um grande avanço tecnológico na aviação (COSTA, 2006).

O grande salto da aviação ocorreu durante a Primeira Guerra Mundial, com o uso em larga escala dos aviões. Atrelado ao grande investimento monetário, houve avanços significativos na tecnologia empregada nas aeronaves devido ao perfil das missões em campo de batalha, assim tendo o aprimoramento da manobrabilidade, velocidade e teto operacional das aeronaves (LEMOS, 2012).

Durante a Segunda Guerra Mundial a aviação evoluiu ainda mais e, após o seu término, o mundo presenciou o crescimento da aviação comercial que trouxe novas tecnologias ao setor aeronáutico como as cabines pressurizadas e o uso de aviões para transportar um grande número de passageiros (LEMOS, 2012).

O fluxo intenso de aeronaves tornou fundamental um maior controle para organizar o espaço aéreo. A instalação da primeira torre de controle para o tráfego aéreo no navio Normandie em 1935, com a finalidade de impedir colisão de aeronaves e prover a detecção de suas posições, deu início ao sistema que é indispensável para a manutenção da atividade aérea mundial, o radar (BRASIL, 2014).

Anos depois do primeiro voo do 14-bis, em 1908, houve o primeiro acidente aéreo fatal. O tenente Thomas Selfridge faleceu em uma ocorrência, em que era passageiro, durante um voo de demonstração da aeronave Wright Flyer III dos irmãos Wright, que sofreu uma pane do motor e, após um movimento errado do piloto, Orville Wright, veio a cair (LEMOS, 2012). Após esse acidente passou a ter uma maior preocupação com a segurança de voo.

Atualmente, o transporte aéreo é o meio de transporte a longa distância mais seguro do mundo (IATA, 2023). O aumento das normas e legislações no cenário mundial, após a convenção de Chicago em 1944, é um ponto importante para essa reputação. Após essa reunião internacional, a segurança de voo evoluiu de forma crescente tendo a colaboração de diversos países para a sua melhora e diminuição do número de acidentes (FRANCISCONE; LIMA, 2021).

A Teoria do Dominó, desenvolvida por Herbert William Heinrich (HEINRICH; GRANNIS, 1959), e a Teoria do Queijo Suíço, proposta por James Reason (REASON, 2016), afirmam que os acidentes e incidentes são resultantes da presença de uma sequência de condições que, quando combinadas, desencadeiam sua ocorrência. As investigações dos acidentes aeronáuticos buscam descobrir os fatos que o provocaram para que, com esses dados, sejam capazes de encontrar uma forma de mitigar o número de acidentes (BRASIL, 2017b).

Embora a falha humana seja apontada como o principal fator causador de acidentes aéreos, visto que de 65% a 80% das ocorrências no transporte aéreo são atribuídas, em parte ou totalmente, ao erro humano (BILLINGS, 1997), é importante ressaltar que esse não é o único elemento envolvido nesses incidentes. Nesse contexto, a tecnologia surge como uma possível solução para mitigar outras condições que também podem levar a acidentes. Considerando esses aspectos, qual é o impacto observado do uso da tecnologia de automação e o investimento em sua evolução na redução do número de acidentes e incidentes?

Neste trabalho, iremos explorar a atual utilização de diferentes equipamentos tecnológicos na aviação, com ênfase na automação das aeronaves, tendo como objetivo geral analisar os efeitos da tecnologia na segurança de voo e na variação do número de ocorrências aeronáuticas. Desta forma, foi determinado três objetivos específicos. O primeiro é apresentar parte das tecnologias de automação das aeronaves e sua relação com o piloto. O segundo é expor os sistemas TCAS, GPWS, ILS e TAWS. Por fim, o terceiro é realizar uma análise sobre a evolução do número de acidentes aéreos no Brasil ao longo dos anos, estabelecendo uma correlação com a implementação desses sistemas e as melhorias subsequentes nesses instrumentos.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 SEGURANÇA DE VOO

De acordo com o MICHAELIS (2023), segurança tem o significado de “Condição ou estado do que está livre de danos ou riscos”. A partir dessa classificação pode-se ter a segurança de voo como uma meta a ser alcançada, onde não há chances de acontecer um acidente e um incidente. Sendo essa meta algo inacessível no atual contexto, são utilizadas medidas de segurança para a identificação de perigos e gestão de risco para que essas chances sejam as mais baixas possíveis (HOLLNAGEL, 2015)

Os fatos que a segurança de voo deseja mitigar são os acidentes e incidentes que, de acordo com o BRASIL (2017), são caracterizados da seguinte forma

ACIDENTE AERONÁUTICO Toda ocorrência aeronáutica relacionada à operação de uma aeronave tripulada, havida entre o momento em que uma pessoa nela embarca com a intenção de realizar um voo até o momento em que todas as pessoas tenham dela desembarcado ou; no caso de uma aeronave não tripulada, toda ocorrência havida entre o momento que a aeronave está pronta para se movimentar, com a intenção de voo, até a sua parada total pelo término do voo, e seu sistema de propulsão tenha sido desligado.

INCIDENTE AERONÁUTICO Uma ocorrência aeronáutica, não classificada como um acidente, associada à operação de uma aeronave, que afete ou possa afetar a segurança da operação. (BRASIL, 2017b, p. 14-17)

Nos primórdios da aviação e início das investigações dos acidentes aéreos, na década de 30, a análise dos acidentes era feita com a convicção de que apenas um fator era o causador: o ser humano (DE LA GARZA; FADLER, 2007). Após estudos na área da segurança do trabalho, houve a constatação da tese de que os acidentes são causados por vários fatores e não apenas um fator isolado. Existem algumas teorias que afirmam essa tese, como a do dominó de Heinrich e do queijo suíço de James Reason, que serão abordadas mais à frente.

Com esse pensamento, houve uma mudança no sistema de investigação, fazendo com que as investigações tivessem a finalidade de identificar essas causas com o objetivo de realizar medidas para mitigar a ocorrência dos acidentes. No Brasil, a investigação dos acidentes aeronáuticos é responsabilidade da Força Aérea Brasileira (FAB) que possui órgãos específicos para realizar essa missão.

1.1.1 Teoria do dominó e teoria do queijo suíço

Como mencionado anteriormente, essas teorias auxiliaram na formação de uma nova visão sobre os acidentes e seus causadores, adicionando pontos importantes que outros estudos dessa área não possuíam. Embora essas sejam teorias idealizadas no século passado, com a do dominó sendo criada em 1959 e a do queijo suíço em 1997, elas ainda são utilizadas como guia nas investigações de acidentes.

Heinrich e Grannis (1959) realizaram um profundo estudo sobre os acidentes, analisando 5000 acidentes e chegando à conclusão que, para cada acidente onde há vítimas fatais ou feridas, acontecem centenas de eventos onde não há mortos ou feridos. Esse estudo originou a ideia que controlando esses eventos perigosos pode-se impedir que os casos sem ferimentos se transformem em casos com fatalidades ou ferimentos, sendo essa a ideia principal da teoria do dominó de Heinrich

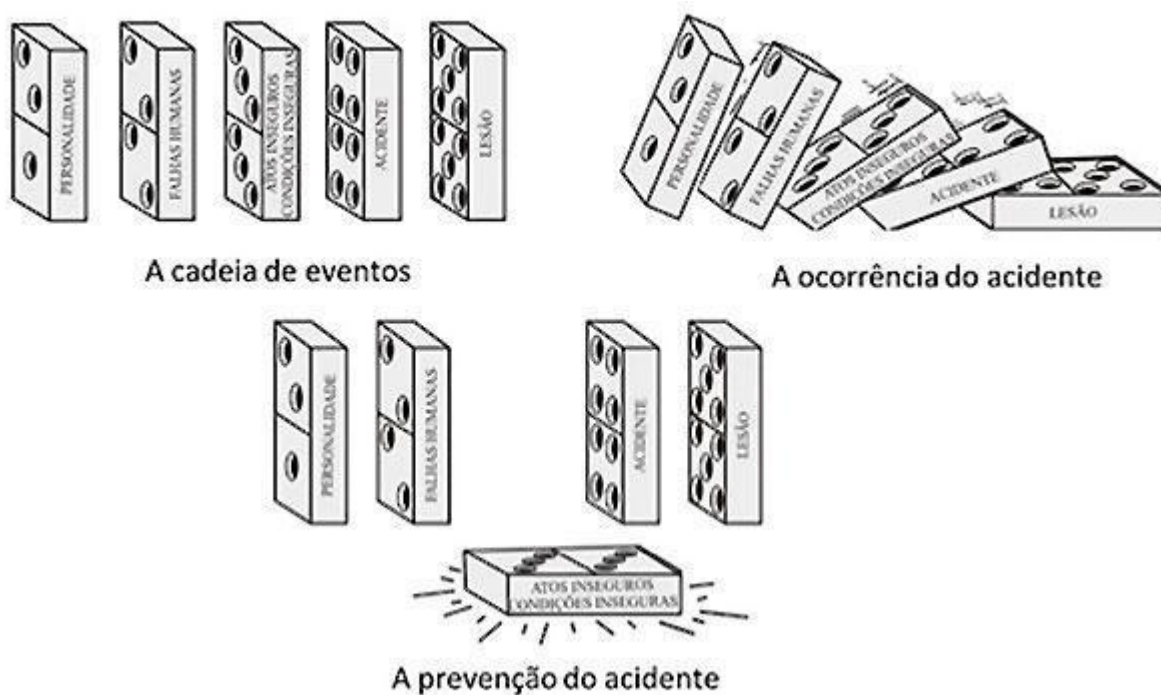


Figura 1 - teoria do dominó de Heinrich

Fonte: NETO (2020)

A Teoria do Queijo Suíço, desenvolvida por James Reason (2016), explica que em situações de possíveis acidentes existem múltiplas barreiras representadas por eventos. Essas barreiras têm como objetivo evitar acidentes e, em uma situação ideal, estariam completamente intactas. Contudo,

na realidade, essas barreiras apresentam "furos" semelhantes aos buracos em um queijo suíço. Esses furos representam riscos não gerenciados e fragilidades. Quando os furos dessas barreiras se alinham, ocorrem os acidentes. Quanto maior for o número de riscos não gerenciados e fragilidades, maior será o número de furos e, conseqüentemente, aumenta a probabilidade de alinhamento desses furos, resultando em um maior risco de acidentes.

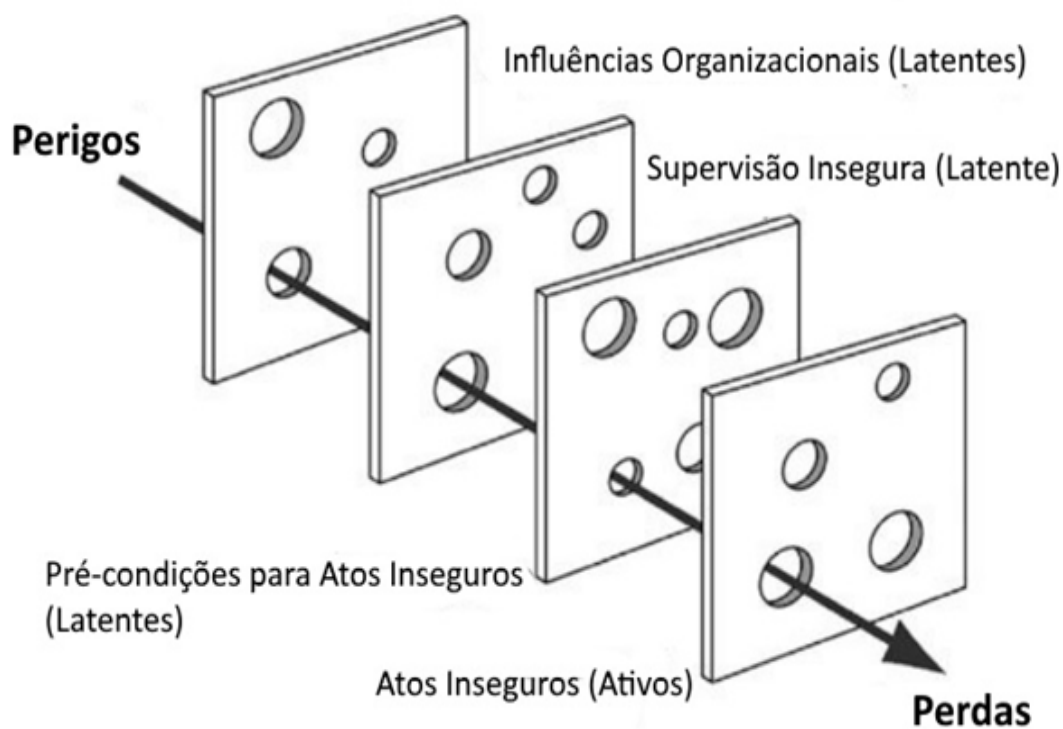


Figura 2 - Teoria do queijo suíço

Fonte: Adaptado de Griffin, Young e Stanton (2015)

1.1.2 A investigação e prevenção dos acidentes aéreos no Brasil

A investigação e prevenção são processos realizados a fim de se evitar novos acidentes e compreendem a junção e análise dos dados e obtenção de conclusões, identificando os fatores que levaram a ocorrência para a realização de recomendações sobre a segurança. (SANTOS, 2014)

1.1.2.1 SIPAER

De acordo com BRASIL (2017b)

No Brasil, as investigações de ocorrências aeronáuticas são conduzidas no âmbito do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER), que detém a competência legal para a realização de tais investigações, com único objetivo de reduzir a sua probabilidade de recorrência. (BRASIL, 2017b, p. 4)

O SIPAER tem como atribuição planejar, controlar e executar as atividades de investigação e prevenção dos acidentes aéreos, levando os fatores humanos, materiais e operacionais em consideração. Sendo essa constituída pelos seguintes órgãos e elementos (BRASIL, 2017a):

- a) CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.
- b) CIAA – Comissão de Investigação de Acidentes Aeronáuticos.
- c) CNPAA – Comissão Nacional de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.
- d) SIPAA – Seção de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.
- e) SPAA – Seção de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Pertencente à estrutura dos Comandos Aéreos Regionais, Diretorias e Forças Aéreas.
- f) SSIPAA – Subseção de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.

1.1.2.2 CENIPA

É o órgão central do SIPAER responsável pela investigação e prevenção dos acidentes aéreos, subordinado a Força Aérea Brasileira (FAB), ele tem a missão de promover a prevenção de acidentes aeronáuticos, preservando os recursos humanos e materiais, visando o progresso da aviação brasileira (BRASIL, 2017c)

Para a prevenção dos acidentes, o CENIPA segue alguns princípios:

- a) Todas as missões podem ser cumpridas sem sacrifício da segurança de voo;
- b) A finalidade da segurança de voo é assegurar o cumprimento da missão de uma organização por meio da manutenção da sua capacidade operacional;
- c) Todos os acidentes podem ser evitados, para tanto, efetivas ações precisam ser adotadas antes que seja atingido o ponto de irreversibilidade do acidente aeronáutico;
- d) Para que a prevenção de acidentes produza benefícios almejados, faz-se necessário uma mobilização geral em torno do mesmo objetivo (CENIPA, 2011)

Esse órgão é responsável por conduzir investigações de acidentes e incidentes com o objetivo principal de prevenir ocorrências futuras. Durante as investigações, busca-se identificar os fatores que contribuíram para o evento e, com base nessa análise, emitem-se recomendações de segurança. (BRASIL, 2005)

1.2 TECNOLOGIAS NA SEGURANÇA DE VOO

Após a terceira revolução industrial, houve um grande número de inovações que mudaram a vida das pessoas, facilitando a execução de tarefas e também tornando muitas dessas mais seguras. Essas inovações também alcançaram a aviação, com a introdução de instrumentos automatizados e evolução dos sistemas, tornando grande parte computadorizada. (SCHWAB, 2016)

A modernização dos aviões trouxe consigo desafios que precisavam ser superados, especialmente em relação ao aumento do tráfego aéreo e ao desenvolvimento de aeronaves mais velozes e poderosas. Diante desses desafios, foram desenvolvidos instrumentos que desempenham um papel crucial durante o voo. Um exemplo notável são os equipamentos de auxílio à navegação, os quais permitiram que os pilotos não dependessem exclusivamente da visão para se orientar, além de reduzirem a carga de trabalho da tripulação. (PORTILHO; BUKZEM, 2015).

Assim, enxergou-se na tecnologia um caminho para aumentar a segurança de voo e ajudar os pilotos a enfrentarem os desafios da evolução da aviação.

1.2.1 Automação

A automação é um sistema que não precisa de ação manual para o seu funcionamento, funcionando de forma autônoma ao controlar e comandar os mecanismos para o seu funcionamento. De acordo com Billings (1997, p.4) “Ela é uma ferramenta, ou recurso, que permite ao usuário a realização de uma tarefa que seria difícil ou impossível de ser concretizada sem a ajuda das máquinas”.

Com a aplicação desses instrumentos nas aeronaves, foi verificado um aumento na produtividade da população, além da diminuição da carga de trabalho e, assim, reduzindo a fadiga. Houve, também, a atenuação de alguns procedimentos operacionais e uma operação mais econômica (WIENER; CURRY, 1980).

Os mais variados instrumentos automatizados são usados na aviação atual como por exemplo: os sistemas TCAS, GNSS, GPS, *FLY BY WIRE*, PILOTO AUTOMÁTICO, FMS, ILS, GPWS, TAWS. Alguns desses sistemas serão objetos de estudo durante a nossa pesquisa, apresentando as suas funcionalidades e operação.

2 METODOLOGIA CIENTÍFICA

A presente pesquisa tem um caráter descritivo e foi realizada a partir de pesquisas bibliográficas e documentais, seguindo uma abordagem quali-quantitativa.

Para contextualizar e explicar a segurança de voo no Brasil, foram utilizados documentos das Forças Armadas. Além disso, foram consultados artigos científicos e livros específicos sobre segurança de voo. No que diz respeito à automação na aviação, utilizou-se o livro de Charles E. Billings (2018), que aborda a relação entre automação e ser humano na segurança de voo, propondo direcionamentos para o uso dessa tecnologia, com foco na integração homem-máquina. Também foram consultados artigos científicos publicados pela *Federal Aviation Administration* (FAA) para explorar os equipamentos relacionados à automação na aviação. Além disso, foram realizadas pesquisas em sítios eletrônicos e livros. Sendo essa parte do estudo feita por uma análise de conteúdo.

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar se o uso da tecnologia influencia na segurança de voo. Para isso, foram coletados dados sobre o número de acidentes no Brasil, relacionando-os aos equipamentos utilizados ou à sua finalidade, sendo feita uma análise estatística a partir da média móvel. Esses dados foram fornecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo CENIPA. Os relatórios sobre os acidentes também foram obtidos junto ao CENIPA.

É importante destacar que esta pesquisa bibliográfica possui algumas limitações. Está baseada na revisão da literatura existente e está sujeita à disponibilidade e qualidade dos documentos consultados. Além disso, a interpretação dos resultados é baseada nas informações apresentadas na literatura analisada e nos relatórios de acidentes obtidos.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 AUTOMAÇÃO NA AVIAÇÃO

A utilização da automação na aviação é relativamente recente e foi introduzida com o objetivo de aumentar o nível de segurança das operações aéreas. Ela se tornou um aspecto central na terceira geração do *Crew Resource Management* (CRM), um conceito desenvolvido para aprimorar a segurança e eficiência das operações aéreas. O CRM é uma abordagem que visa a melhorar a comunicação e o trabalho em equipe na aviação. Na terceira geração do CRM, a automação ganha destaque, com treinamentos que abordam a interação entre a equipe e os sistemas automatizados. É importante que os pilotos compreendam as vantagens e limitações da automação, garantindo seu uso seguro e eficaz.

Os sistemas automatizados realizam ações e tarefas que antes eram efetuadas pelos pilotos de acordo com a seguinte definição da automação na aviação: “consignação às máquinas, por decisão da tripulação, de algumas funções, ou de parte das funções humanas” (OACI, 1992, p. 3). Diferente da automação usada em indústrias onde a máquina substitui o trabalho do homem, na aviação ela tem a função de auxiliar o piloto na condução do voo e mitigar alguns erros humanos (BILLINGS, 1997).

3.1.1 Automação x piloto

A automação desencadeou uma mudança fundamental na cabine de pilotagem, onde, anteriormente, todas as operações eram conduzidas unicamente pelo piloto. Com a introdução da automação, surgiu a possibilidade de uma divisão de tarefas visando melhorar a eficiência e a segurança dos voos. No entanto, é necessário ressaltar que essa introdução trouxe consigo novos riscos e desafios para os pilotos.

Billings (1997) em seu livro “*Aviation automation: The search for a human centered approach*” apresenta três mitos que envolvem o uso da automação na aviação. O primeiro mito é que a automação torna os aviões mais seguros sem afetar negativamente os pilotos e vemos que a automação pode levar a complacência ou falta de atenção dos pilotos, aumentando os riscos de acidentes, além de criar novas tarefas que às vezes podem aumentar a carga de trabalho dos pilotos. O segundo mito é que ela torna os aviões mais fáceis de pilotar que é refutado pelo fato de ela

tornar os aviões mais complexos e difíceis de entender. O último mito é que os pilotos não precisam entender completamente dos sistemas, algo infactível pois para poderem usar os equipamentos com segurança e eficácia, os pilotos devem entender como é o funcionamento, além de permitir a detecção de problemas e falhas na automação.

3.1.2 Abordagem centrada no ser humano

A abordagem centrada no ser humano na aviação é uma filosofia de design que coloca as necessidades e habilidades dos usuários no centro do processo de design. Essa abordagem é especialmente relevante no contexto da automação, onde os sistemas devem ser projetados levando em consideração as capacidades e limitações dos pilotos.

Charles E. Billings, em seu trabalho sobre a automação na aviação, destaca a importância de projetar a automação de forma a atender às necessidades dos operadores humanos. Isso implica em ter uma interface clara e intuitiva, que permita a interação fácil e eficiente entre o piloto e o sistema automatizado. Além disso, a automação deve oferecer um controle distribuído, ou seja, permitir que o piloto mantenha o controle sobre tarefas críticas enquanto a automação auxilia nas tarefas rotineiras ou repetitivas.

Outro aspecto fundamental da abordagem centrada no ser humano é a tomada de decisões compartilhadas. Isso envolve apresentar as informações relevantes ao piloto e fornecer sugestões para auxiliar na tomada de decisões, garantindo uma colaboração efetiva entre o piloto e o sistema automatizado.

Essa abordagem tem como objetivo melhorar a eficiência e a segurança das operações de voo, reduzindo a carga cognitiva dos pilotos e aumentando sua eficácia. Reconhece-se que a automação, por si só, não pode eliminar completamente os acidentes aéreos. Portanto, a abordagem centrada no ser humano enfatiza a importância do treinamento e desenvolvimento dos pilotos para garantir que possam utilizar a automação com segurança e eficácia.

3.2 TRAFFIC ALERT AND COLLISION AVOIDANCE SYSTEM (TCAS)

O sistema de anticollisão de tráfego foi projetado com a finalidade de diminuir o risco de colisões de aeronaves em voo, auxiliando o piloto a visualizar potenciais perigos e provendo instruções para o piloto de como livrar o tráfego.

Com o aumento do número de aviões voando nos anos 50 e após uma colisão de dois aviões sobre o grand canyon, houve um aumento do interesse de se achar uma forma de evitar acidentes como esse (EILEEN, 2020). Assim, em 1974 a Federal Aviation Administration (FAA) criou o Beacon Collision Avoidance System (BCAS), um sistema operado em torno do transponder. Após alguns anos, em 1981, o nome desse sistema foi mudado para TCAS e apenas em 1990 o primeiro sistema TCAS comercial entrou em operação. Em 2003 a Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO) fez mandatório o uso do TCAS em aeronaves de turbo propulsão com capacidade para mais de 30 passageiros ou que o peso máximo de decolagem exceda 15000 kg. Em Janeiro de 2005, o mandato estendeu-se para cobrir aeronaves com capacidade para mais de 19 passageiros ou peso máximo de decolagem exceda 5700 kg. Atualmente, mais de 25000 aeronaves no mundo são equipadas com o TCAS (USA, 2011).

3.2.1 Transponder

O transponder é um equipamento importante para a aviação é essencial para a atuação de certos sistemas aviônicos, como é o caso do TCAS.

Esse instrumento tem a finalidade de enviar informações de identificação e localização dos aviões para os controladores de tráfego aéreo e para as outras aeronaves, desde que equipadas com o ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) (MOIR, 2013).

O seu funcionamento é dividido em partes ou modos de interrogação, sendo cada um deles responsável por um tipo, são eles:

A: Permite a identificação da aeronave por parte da torre

B: Permite a identificação da aeronave por parte da torre, porém com um tempo de resposta mais longo

C: Permite a identificação da aeronave por parte da torre, além de fornecer dados sobre a sua altitude

S: Permite a identificação da aeronave por parte da torre e outras aeronaves, além de fornecer dados sobre a sua altitude (FAA, 2012).

O sistema funciona com a emissão e recepção de sinais, ele envia um sinal na frequência 1030 MHz de forma omnidirecional, sendo que o receptor é capaz de reconhecer a direção de onde está vindo o sinal (HARMAN, 1989).

Os alertas desse sistema aparecem em diferentes modos dependendo da proximidade do tráfego, esses modos são:

Traffic advisory (TA): Indica que há algum tráfego próximo, mas sem risco de colisão.

Resolution advisory (RA): Indica que há algum tráfego próximo que, caso não seja tomada nenhuma atitude, pode ocasionar uma colisão.

Other traffic (OT) ou *Proximate traffic (PT)*: Apenas sinaliza que há algum tráfego, mas sem estar perto da aeronave, assim não há a emissão de um alerta. O PT está fora da zona da TA, porém dentro do alcance do equipamento e pode no futuro ser um TA. No caso do OT, ele também aparece na tela, mas serve apenas para que haja uma consciência situacional mais elevada (FAA,2012).

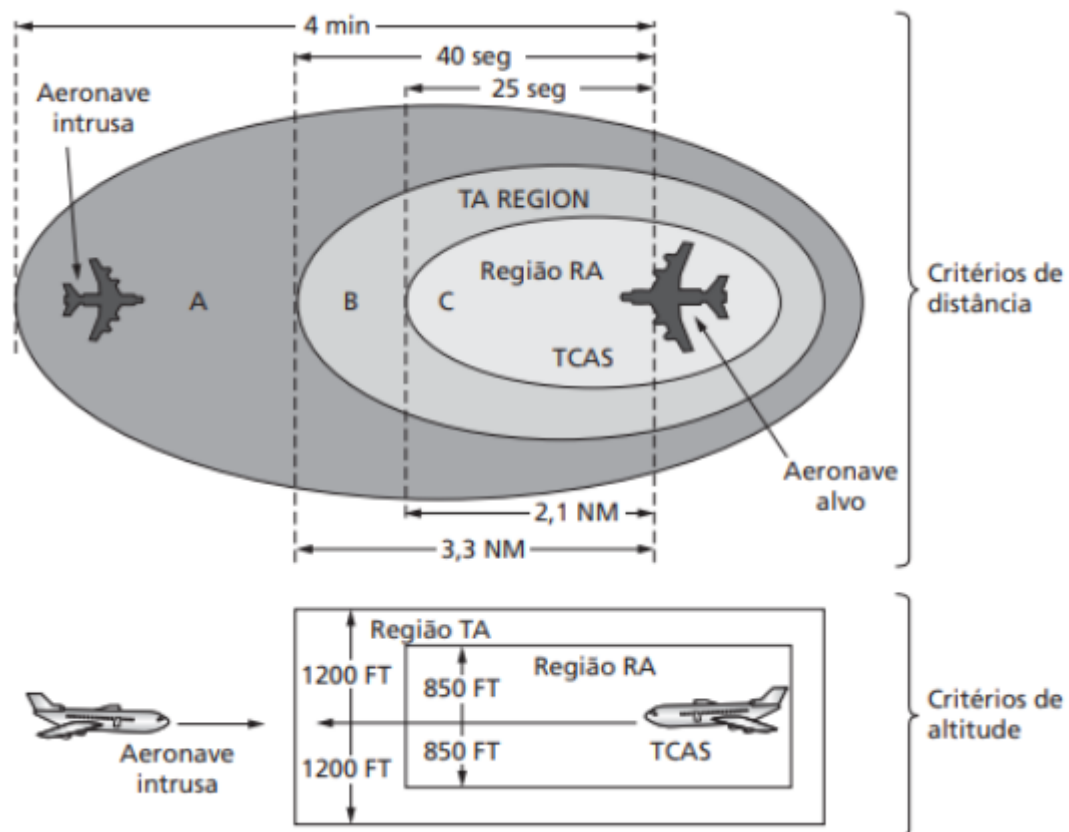


Figura 3 - Funcionamento do TCAS

Fonte: hangamma (2023)

3.2.2 Tipos de TCAS

TCAS I - Esse sistema é apenas informativo, possuindo apenas o alerta de tráfego.

TCAS II - Esse sistema além de informar sobre os tráfegos ao redor e dos alertas, indica também a atitude que deve ser tomada pelo piloto para evitar a colisão, com manobras verticais, ou seja, subir ou descer a aeronave (FAA, 2012).

3.3 INSTRUMENT LANDING SYSTEM (ILS)

O ILS é um sistema de auxílio à navegação aérea usado para fornecer ao piloto a orientação necessária durante os procedimentos finais para o pouso.

Em 1942 os EUA introduziram um sistema de pouso às cegas, o SCS-51, que oferecia ao piloto um meio para pousar em condições meteorológicas ruins porém não era o suficiente para prover o pouso automático. Nesse contexto entra a telecommunications Research Establishment (TRE) da RAF que utilizando esse projeto como base e adicionando um rádio altímetro que permitia avaliar o momento certo para o arredondamento e uma cabo magnético, antes da cabeceira, que fornecia a orientação lateral precisa ao longo da linha central de aterrissagem, conseguiu realizar a primeira aproximação e pouso por instrumentos totalmente automático ocorrida em 16 de Janeiro de 1945 na base aérea da real força aérea em Defford na Inglaterra, utilizando a aeronave Boeing 247D (BRASIL, 2021).

A partir desse sistema, com as evoluções tecnológicas, houve a criação de diversos auxílios à navegação, como o Radiofarol Não Direcional (NDB) e o Radiofarol Omnidirecional em Frequência Muito Alta (VOR), tendo como premissa básica dividir a responsabilidade do pouso com o piloto, auxiliando em situações com baixa visibilidade e sendo usado até mesmo em situações de tempo bom (MOIR, 2013).

O NDB é uma antena que emite sinal em todas as direções sendo utilizada para auxílio ao pouso e a navegação, sendo um sistema considerado simples. O VOR é um pouco mais sofisticado, também sendo utilizado para as duas funções de auxílio, sendo a diferença entre eles que o NDB apenas pode direcionar para uma aeronave chegar até ele ou se afastar em determinadas direções, chamadas de radiais (MOIR, 2013).

O ILS funciona apenas como auxílio para a aproximação e pouso e diferente dos auxílios citados acima ele é categorizado como auxílio de aproximação de precisão, tendo como função auxiliar o pouso alinhando o avião com e a pista e o guiando em uma razão de descida específica.

O princípio básico de funcionamento do ILS são as ondas de rádio, emitidas a partir de antenas posicionadas nos aeroportos, próximo a pista de pouso. Sendo necessária uma infraestrutura para o localizer que proverá a guiagem horizontal, para o glide slope ou glide path que proverá a guiagem vertical e para o marker beacon que proverá a posição da aeronave durante a aproximação para o pouso (FAA, 2012).

A aeronave também necessita de instrumentos específicos que recebem sinais das ondas de rádio e comunicam para o piloto.

Localizer - Atua como um guia da posição horizontal da aeronave, servindo para que a aeronave fique centralizada com a faixa central da pista para efetuar o pouso. O sistema opera em VHF, enviando dois lóbulos distintos de sinais, um esquerdo com modulação em amplitude de 90Hz e um direito de 150Hz. A sobreposição desses sinais marca o eixo medial da pista, ou seja, caso o avião esteja recebendo o sinal dos lóbulos na mesma intensidade significa que o mesmo está no centro e caso um sinal esteja mais fraco que outro significa que está à esquerda ou à direita. Sobre o seu alcance e abrangência, o localizer possui dois arcos. O primeiro possui um raio de 10 milhas náuticas e uma abertura de 35° e o segundo possui um raio de 18 milhas náuticas e uma abertura de 10°, os dois a partir da cabeceira oposta de pouso (MOIR, 2013).

GlideSlope - Atua como um guia da posição vertical da aeronave, permitindo que ele faça uma descida em uma razão controlada e constante para toque no início da pista, normalmente essa rampa é um ângulo entre 2.5° e 3.5° com o solo. O sistema opera em UHF, com o princípio de funcionamento sendo o mesmo do localizer porém no plano vertical, ou seja, lóbulo superior e inferior. A abrangência espacial é de 1.4° com alcance de 10 milhas náuticas (MOIR, 2013).

Marker Beacon - Atuam como “pontos de controle”, sendo utilizados para verificação do piloto durante a realização de procedimento ILS. O sistema é composto de antenas estrategicamente posicionadas que emitem sinais verticalmente em VHF a 75 MHz. Ao passar por cima dessa antenas, uma indicação luminosa aparece para o piloto de acordo com a posição. Existem três posições que podem ser indicadas: outer (OM), middle (MM e inner (IM), sendo essa última presente apenas no ILS de cat II e III que serão explanados a frente (MOIR, 2013).

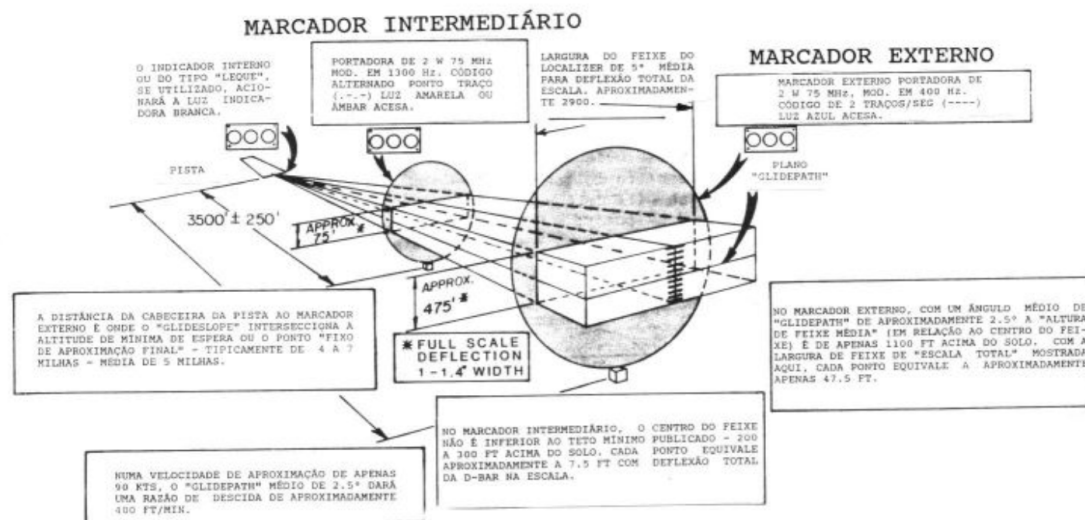


Figura 4 - Funcionamento do ILS

Fonte: Mecânicos de plantão (2017)

3.3.1 Tipos de ILS

Atualmente, há três tipos de ILS divididos em categorias e classificados de acordo com a decision height ou altura de decisão, que é o ponto em que o piloto tem que assumir o controle dos comandos para prosseguir com o pouso, ou com o *runway visual range* (RVR), que é o ponto em que o piloto estabelece contato visual com a pista (FAA, 2012).

CRITÉRIOS ICAO			
CATEGORIA	MÍNIMOS DO SISTEMA	ALTURA DE DECISÃO (DA)	REQUISITOS DE ALCANCE VISUAL DA PISTA (RVR)
CAT I	60 m (200 ft)	Acima de 200 ft	Acima de 550 m ou visibilidade do solo acima de 800 m
CAT II	30 m (100 ft)	Abaixo de 200 ft e acima de 100 ft	Acima de 350 m**
CAT III A	Nenhum	Abaixo de 100 ft ou sem DA	Acima de 200 m
CAT III B	Nenhum	Abaixo de 50 ft ou sem DA	Acima de 50 m*
CAT III C	Nenhum	Sem DA	Nenhum
* O Requisito Conjunto de Aviação para a operação de transporte aéreo comercial (JAR OPS) especifica 75 m de mínimo de RVR para o CAT III B.			
** Requisito de acordo com o Anexo ICAO 6, 8ª Edição, Julho de 2001. De acordo com o Anexo ICAO 6, 9ª Edição, Julho de 2010 o RVR mínimo é 300 m.			

Figura 5 - Categorias do ILS

Fonte: adaptado de hangaruno (2018)

3.4 TERRAIN AVOIDANCE AND WARNING SYSTEM (TAWS)

O TAWS, sistema de aviso e percepção de terreno, tem a finalidade de evitar colisões não intencionais com o solo, os *controlled flight into terrain* (CFIT). Esse sistema é composto pelo *ground proximity warning system* (GPWS), que por sua vez possui uma evolução, o EGPWS.

Esse sistema começou a ser idealizado na década de 1960, na época estava havendo um significativo aumento dos números de acidentes aéreos causados pela falta de consciência do piloto em relação a proximidade do terreno. Assim iniciou-se a corrida para criar um sistema que pudesse alertar os pilotos sobre a ameaça iminente de colisão com o solo e em 1967, C. Donald Bateman criou o GPWS e após o seu bom desempenho em evitar esses acidentes, a FAA decretou, em 1974, que o sistema seria obrigatório em grandes aeronaves (NATIONAL INVENTOR HALL OF FAME, 2023).

O sistema utiliza-se das informações do radar de solo, da velocidade e da altitude barométrica para localizar a posição da aeronave em relação ao solo. Dessa forma, o equipamento cria uma previsão da trajetória da aeronave em relação aos terrenos ao redor e alguma provável elevação de terreno no decorrer dessa trajetória, para alertar o piloto sobre essa proximidade (MOIR, 2006).

O GPWS é dividido em três classes. A categorização entre as classes é baseada na presença ou não dos seguinte modos de alerta:

Modo 1: Razão de Descida Excessiva

Modo 2: Excesso de Proximidade com o Terreno

Modo 3: Razão de Subida Negativa Após a Decolagem

Modo 4: Voo em Direção ao Terreno fora da Configuração de Pouso

Modo 5: Desvio para Baixo em uma Rampa de ILS

Modo 6: Descida para 500 pés ou menos do Terreno ou da Pista mais Próxima

A classe A tem todos os modos e as classes B e C têm os modos 1,3 e 6. A única diferença entre a classe B e C é que a classe C é designada para aquelas aeronaves que não tem a exigência de possuir esse sistema, porém o tem instalado (FAA, 2009).

3.5 ESTUDO SOBRE O NÚMERO DE ACIDENTES AÉREOS

Este capítulo apresenta o estudo realizado sobre os números de acidentes aéreos no contexto brasileiro, levando em consideração a utilização da automação na aviação. Ao longo do trabalho, foram discutidos os princípios de funcionamento desses equipamentos e como eles se integram à segurança de voo. Com base nessas informações, será realizada uma análise da variação da quantidade de acidentes ao incorporar esses aviônicos nas operações aéreas.

EQUIPAMENTO	DÉCADA EM QUE FOI CRIADO
ILS CAT 1	1940
ILS CAT 2	1960
ILS CAT 3	1970
TCAS 1	1980
TCAS 2	1990
TAWS	1980
EGPWS	1990

Figura 6 - Década de criação dos equipamentos

Fonte: Autoria própria

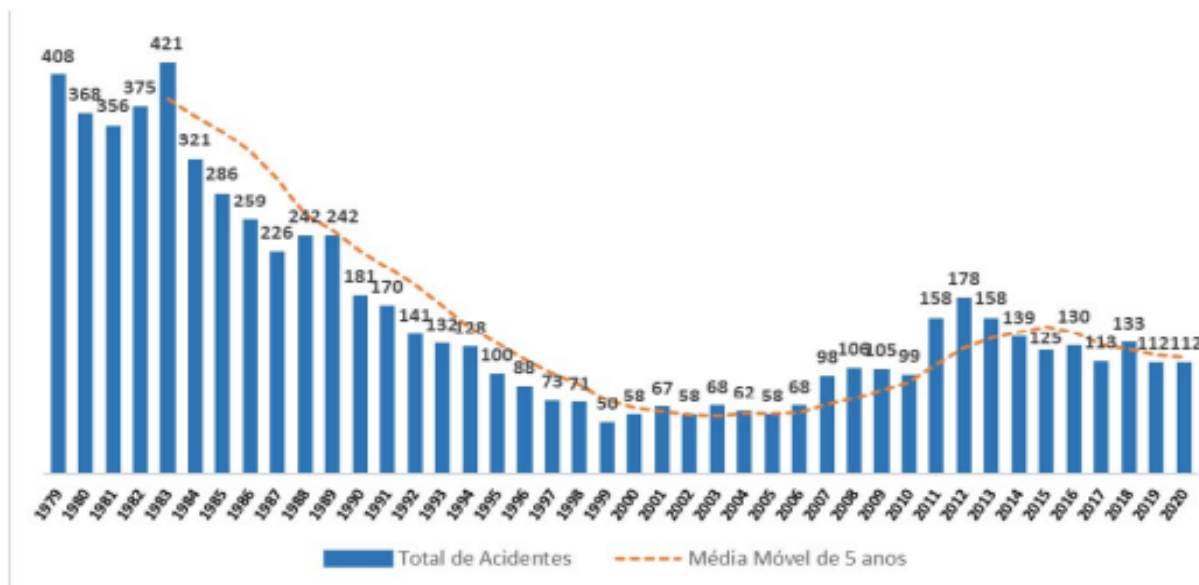


Figura 7 - histórico de acidentes da aviação civil brasileira

Fonte: ANAC (2020)

Ao analisar o gráfico por décadas, observamos alguns padrões. Na década de 1980, por exemplo, houve uma média de 309,6 acidentes por ano, com um pico de 421 acidentes. No entanto, a partir de 1983, todos os anos ficaram abaixo da média móvel⁴, indicando uma redução no número de acidentes. Essa década foi marcada pela introdução do TCAS 1 e do TAWS.

Na década de 1990, a média anual de acidentes diminuiu para 113,4, com o pico de 181 acidentes. Todos os anos dessa década ficaram abaixo da média móvel, demonstrando uma continuidade na redução de acidentes. Durante esse período, foram implementados o TCAS 3 e o EGPWS.

Entre 2000 e 2009, a média anual foi de 74,8 acidentes, com um pico de 106 acidentes. A maioria dos anos superou a média móvel, com exceção de 2002 e 2006, que ficaram iguais. Nessa década, não houve criação de novos equipamentos estudados neste trabalho.

A partir de 2010, a média anual de acidentes aumentou para 134,5, com um pico de 178 acidentes. Alguns anos, como 2014, 2015, 2016 e 2019, ficaram abaixo da média móvel. Não foram introduzidos novos equipamentos durante essa década.

⁴ A média móvel é um conceito estatístico que é amplamente utilizado para analisar tendências e padrões em conjuntos de dados ao longo do tempo. Ela é uma técnica de suavização que calcula a média de um determinado número de pontos adjacentes em uma série temporal, criando uma nova série de médias. Nesse caso foi utilizado a média móvel simples que é calculada somando os valores dos pontos em um determinado intervalo de tempo e dividindo pelo número de pontos considerados. (TRIOLA, 2017)

Com base nessas informações, podemos observar que a introdução dos equipamentos estudados teve um possível impacto positivo na redução de acidentes nas décadas de sua implementação. No entanto, após o ano 2000, houve um aumento no número de acidentes, sugerindo que outros fatores podem estar contribuindo para esse crescimento, além da influência dos equipamentos analisados.

Existem várias teorias sobre o que pode ter causado esse aumento. Uma delas é que os acidentes podem estar sendo ocasionados por motivos diferentes daqueles que os equipamentos foram criados para evitar. Também é possível considerar que os equipamentos podem não estar mais sendo eficazes na mitigação dos acidentes relacionados à sua criação.

Em suma, os acidentes aéreos são influenciados por uma combinação de vários fatores, não se limitando apenas a um único elemento.

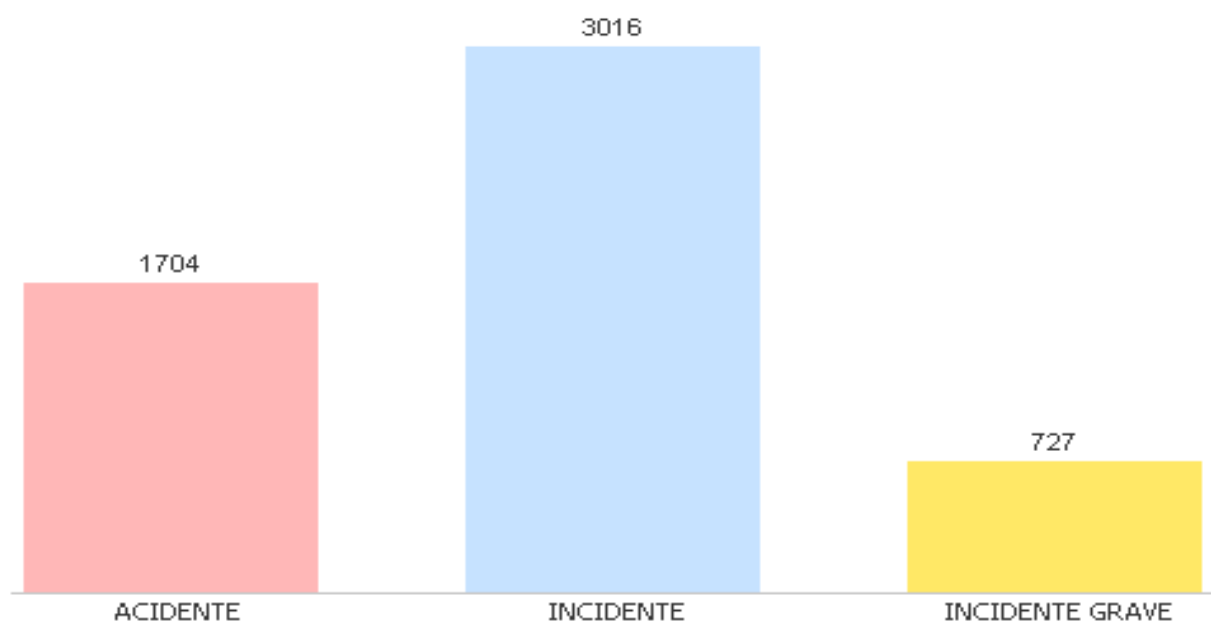


Figura 8 - N° de acidentes e incidentes aéreos no Brasil entre 2013 e 2022

Fonte: BRASIL (2023)

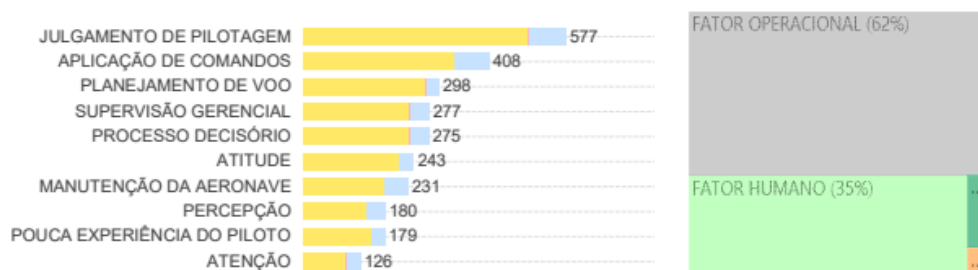


Figura 9 - Fatores contribuintes de acidentes e incidentes aéreos no Brasil entre 2013 e 2022

Fonte: BRASIL (2023)

Nas duas figuras acima, podemos observar que, durante os acidentes ocorridos entre os anos de 2013 a 2022, o fator humano esteve presente em 35% dos casos. Essa constatação ressalta a relevância desse fator nos acidentes aéreos. Diante disso, é evidente que as tecnologias devem ser desenvolvidas e aprimoradas com o objetivo de mitigar essa falha humana, seguindo a perspectiva defendida por Billings, na qual a automação deve ser concebida com o ser humano como o centro de sua concepção.

Essa análise ressalta a importância de abordar a interação entre humanos e tecnologia na aviação, reconhecendo que a automação não deve substituir completamente o papel dos pilotos, mas sim complementar suas habilidades e contribuir para a segurança de voo. Portanto, é fundamental investir em pesquisas e desenvolvimento de tecnologias que considerem a interface humano-máquina, promovendo uma colaboração efetiva e equilibrada entre os pilotos e os sistemas automatizados.

Além disso, é válido destacar a necessidade contínua de treinamentos adequados e atualizados para os pilotos, de modo a capacitá-los a compreender, utilizar e interagir de forma eficiente com as tecnologias embarcadas nas aeronaves. A combinação de um projeto de automação cuidadosamente elaborado, treinamento adequado e conscientização sobre os limites e as características das tecnologias são elementos essenciais para garantir a segurança e o desempenho eficaz das operações aéreas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, adotamos uma abordagem descritiva baseada em pesquisas bibliográficas e documentais, com o objetivo de investigar a influência da automação na segurança de voo. Utilizamos dados das Forças Armadas, artigos científicos, livros e informações fornecidas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA).

Ao longo do estudo, pudemos compreender melhor o cenário da segurança de voo no Brasil e sua relação com a automação. O livro de Charles E. Billings (2018) desempenhou um papel fundamental ao explorar a integração homem-máquina e propor direcionamentos para o uso dessa tecnologia.

Também examinamos em detalhes o funcionamento dos equipamentos TCAS, TAWS e ILS, com o objetivo de compreender como esses sistemas contribuem para a segurança de voo e facilitam o trabalho dos pilotos.

Os resultados obtidos revelaram que a automação exerce um impacto significativo na segurança de voo. Os equipamentos e sistemas automatizados desempenham um papel crucial na prevenção de acidentes e na melhoria dos padrões de segurança. No entanto, também identificamos desafios associados à dependência excessiva da automação, como complacência e sobrecarga de informações.

Ao confrontar os dados de acidentes com os dados sobre os equipamentos e sua finalidade, constatamos uma relação direta entre o uso da tecnologia e a redução do número de acidentes. Essas descobertas reforçam a importância de políticas e regulamentações eficazes para garantir a implementação adequada da automação na aviação.

É importante destacar que este estudo tem algumas limitações. A análise baseou-se em dados disponíveis e acessíveis, o que pode ter influenciado os resultados. Além disso, não foram considerados outros fatores além da automação que podem afetar a segurança de voo.

Com base nos resultados obtidos, recomendamos que futuras pesquisas aprofundem a análise dos desafios relacionados à automação, explorando estratégias para minimizar os efeitos negativos e maximizar os benefícios. Além disso, é fundamental continuar monitorando e atualizando as regulamentações para acompanhar os avanços tecnológicos e garantir a segurança contínua na aviação.

Em conclusão, este estudo contribui para uma melhor compreensão da relação entre a automação e a segurança de voo no contexto brasileiro. Esperamos que as descobertas aqui apresentadas possam subsidiar tomadas de decisão informadas e promover o avanço da segurança aérea, protegendo vidas e aprimorando os sistemas de transporte aéreo como um todo.

REFERÊNCIAS

- ANAC. **Relatórios Finais de Investigação de Acidentes e Incidentes Aeronáuticos**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/gerenciamento-da-seguranca-operacional/relatorios-finais-de-investigacao>. Acesso em: 17 ago. 2022.
- BIANCHINI, D. **Regulamentos de Tráfego Aéreo VFR e IFR**. 9 ed. Editora Bianch Pilot Training, 2020.
- BILLINGS, C. E. **Aviation automation: The search for a human-centered approach**. CRC Press, 1997.
- BJORKMAN, E. **The Tragic Mid-Air Plane Crash That Changed the American Aviation Industry Forever**. 2020. Disponível em: <https://time.com/5885096/airplane-collision-history/>. Acesso em: 6 mai. 2023.
- BRASIL. Agência nacional de aviação civil. **Relatório anual de segurança operacional (RASO) - 2020**, 2020.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos (CENIPA). **NSCA 3-3: Gestão da segurança de voo na aviação brasileira**, 2013.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos (CENIPA). **NSCA 3-2: Estrutura e atribuições dos elementos constitutivos do SIPAER**, 2017.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos (CENIPA). **MCA 3-6: Manual de investigação do SIPAER**, 2017.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos (CENIPA). **MCA 3-3: Manual da prevenção do SIPAER**, 2012.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos (CENIPA). **MCA 3-8: Manual de gerenciamento do risco de fauna**, 2017.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos (CENIPA). **Panorama dos acidentes nos últimos 10 anos**. Painel SIPAER. 2023. Disponível em: https://painelsipaer.cenipa.fab.mil.br/QvAJAXZfc/opedoc.htm?document=SIGAER%2Fgia%2Fqv%2Fpainel_sipaer.qvw&host=QVS%40cirros31-37&anonymous=true. Acesso em: 2 jul. 2023.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos (CENIPA). **Relatório final A-022/CENIPA/2008**, 2008.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos (CENIPA). **Relatório final 20/03/96 PT-LSD LR-25D**, 1996.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Aviação Civil. **IAC 139-1002: sistema de gerenciamento da segurança operacional (SGSO) em aeroportos**. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL, Comando da Aeronáutica. Departamento de controle do espaço aéreo (DECEA). História do Controle do Espaço Aéreo. **Aeroespaço**, v. 2, 2014. Disponível em: https://issuu.com/aeroespaco/docs/historia_controle_2edicao. Acesso em: 20 jun. 2023.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Museu Aeroespacial (MUSAL). **Primeiro pouso por instrumento da história**. Museu Aeroespacial, 2021. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/musal/index.php/curiosidades-historicas-item-de-menu/835-primeiro-pouso-por-instrumentos-da-historia-da-aviacao/>. Acesso em: 06 Maio 2022.

BUSCH, C. **Preventing Industrial Accidents: Reappraising HW Heinrich–More than Triangles and Dominoes**. Routledge, 2021.

COSTA, F. H. **Alberto Santos Dumont: história e iconografia**. 2 ed Rio de Janeiro: Villa Rica Editoras Reunidas, 2006. 80 p.

DE LA GARZA C, FADIER E. **Segurança e prevenção: referências jurídicas e ergonômicas**. In Falzon P. editor. Ergonomia. São Paulo: Blucher, 2007.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Advanced Avionics Handbook**, 2009.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Instruments flying Handbook**, 2012.

FRANCISCONE, B. G.; LIMA, P. A. L. . A CONSOLIDAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO GLOBAL DE NAVEGAÇÃO AÉREA. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 6–32, 2023. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/23>. Acesso em: 10 set. 2023.

GRIFFIN, T. G. C. .; YOUNG, M. S. .; STANTON, N. A. . **Human factors models for aviation accident analysis and prevention**. Burlington: Ashgate Publishing Limited, 2015.

HARMAN, W. H. TCAS: A System for Preventing Midair Collisions. **Lincoln Laboratory Journal**, v. 2, n. 3, 1989

HEINRICH, H. W. **Industrial Accident Prevention**. A Scientific Approach., n. Second Edition, 1941.

HEINRICH, H. W.; GRANNISS, E. R. **Industrial accident prevention: a scientific approach**. Nova York: McGraw-Hill, 1959.

HOLLNAGEL, E. **The ETTO principle: efficiency-thoroughness trade-off : why things that go right sometimes go wrong**. Ashgate Publishing, 2015.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA). **Travel & Safety**. IATA. 2023. Disponível em: <https://www.iata.org/en/youandiata/travelers/aviation-safety/#:~:text=Aviation%20is%20the%20saf>

[est%20form%20of%20long%20distance%20transport](#). Acesso em: 20 jun. 2023.

KAYTON, M; FRIED, W. **Avionics Navigation Systems**. 2 ed. Nova York, 1997.

LEMOS, V. **História da aviação : livro didático** / Valmir Lemos ; design instrucional Marina Melhado Gomes da Silva. – Palhoça : UnisulVirtual, 2012.

MCSHEA, R. E. **Test and Evaluation of Aircraft Avionics and Weapon Systems**. 2 ed. Edison, 2014.

MOIR, I. **Civil Avionics Systems, 2nd Edition**. Chichester, 2013.

MOIR, I. **Military Avionics Systems**. Chichester, 2006.

NATIONAL INVENTORS HALL OF FAME. **C. Donald Bateman**. National Inventors Hall of Fame. 2023. Disponível em:

<https://www.invent.org/inductees/c-donald-bateman#:~:text=Donald%20Bateman%20invented%20the%20Ground,low%20or%20approaching%20a%20mountain>. Acesso em: 25 abr. 2023.

NETO, N. W. **Teoria dos Dominós nos Acidentes de Trabalho I Teoria de Heinrich**.

segurancadotrabalhonwn.com. 2020. Disponível em:

<https://segurancadotrabalhonwn.com/teoria-dos-dominos-nos-acidentes-de-trabalho-i-teoria-de-heinrich/>. Acesso em: 10 out. 2022.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). **Compendio Sobre Factores Humanos nº 5. Consecuencias Operacionales de la Automatización en los Puestos de Pilotaje de Tecnología Avanzada. Circular 234-NA-142**. Montreal. 1992.

O SISTEMA DE POUSO POR INSTRUMENTO – ILS. Mecânicos de plantão. 2017. Disponível em: <https://mecanicosdeplantaio.com.br/site/ils/>. Acesso em: 1 jul. 2023.

PORTILHO, F. A; BUKZEM, S. C. **Os precedentes históricos da navegação aérea baseada em instrumentos: necessidade, surgimento e evolução**. *Aviation in Focus, Journal of Aeronautical Sciences*, Dec. 2015.

REASON, J. **Managing the risks of organizational accidents**. Routledge, 2016.

SANTOS, P. R. D. **Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional - SGSO** : Livro didático. Palhoça: UnisulVirtual, 2014.

SCHWAB, K. S. **A Quarta Revolução Industrial**. Tradução Daniel Moreira Miranda. São Paulo: EDIPRO, 2016. Tradução de: *The fourth industrial revolution*.

SEGURANÇA. *In: MICHAELIS: Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa*. Editora Melhoramentos, 2023. Disponível em:

<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/seguranca/>. Acesso em: 11 set. 2023.

SISTEMA ANTICOLISÃO DE TRÁFEGO (TCAS). hangar mma. 2023. Disponível em:

<https://hangar MMA.com.br/glossary/glossary-categories/sistema-anticolisao-de-trafego-tcas/>. Acesso em: 1 jul. 2023.

AIRBORNE Collision Avoidance System (ACAS). Skybrary. 2021. Disponível em:

<https://www.skybrary.aero/articles/airborne-collision-avoidance-system-acas>. Acesso em: 20 jun. 2023.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 12 ed. LTC, 2017.

UNITED STATES OF AMERICA (USA). Federal Aviation Administration (FAA). U.S. Department of transportation. **Introduction to TCAS II**. 2011

WIENER, E; CURRY, R. **Flight-Deck Automation**: promises and problems. Moffett Field: Nasa, 1980. 27 p.