

# A EVOLUÇÃO DO PAPEL DO PILOTO: UMA ANÁLISE DAS HABILIDADES NECESSÁRIAS DURANTE A NAVEGAÇÃO AÉREA

## *THE EVOLUTION OF THE PILOT'S ROLE: AN ANALYSIS OF THE ABILITIES REQUIRED DURING AERIAL NAVIGATION*

**Gustavo Marangom**<sup>1</sup>  
Marco Aurélio de Carvalho<sup>2</sup>  
Taís Pentiado Godoy<sup>3</sup>

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar as principais habilidades exigidas dos pilotos durante a fase da navegação aérea, no que diz respeito às transformações provocadas pela automação e pela crescente incorporação de sistemas eletrônicos embarcados nas aeronaves. A aviação passou por profundas mudanças nas últimas décadas, impactando diretamente o papel do piloto, que deixou de atuar predominantemente de forma manual para assumir a função de gestor de sistemas complexos. Com base em uma abordagem qualitativa, o estudo utilizou revisão bibliográfica e análise de conteúdo para identificar as habilidades tradicionais e as novas requeridas no cenário atual, considerando o avanço de sistemas aviônicos como o Flight Management System (FMS), o Piloto Automático, o Autothrottle e o Fly-by-Wire. Além disso, estudos de caso foram analisados a fim de evidenciar, na prática, os efeitos da automação sobre a consciência situacional e a tomada de decisão. Os resultados indicam que, embora a automação tenha reduzido significativamente a carga de trabalho física dos pilotos, ela aumentou as exigências cognitivas, demandando maior capacidade de monitoramento e interpretação de dados diante de cenários adversos. Observou-se que o piloto moderno deve ser capaz de monitorar e assimilar informações provenientes de diversas fontes, mantendo a capacidade de resposta rápida em situações críticas. Diante disso, torna-se essencial que a formação dos pilotos seja adaptada a essa nova realidade operacional, incorporando não apenas o domínio técnico dos sistemas embarcados, mas também aspectos comportamentais e psicológicos. A análise mostrou, ainda, que a automação mal compreendida pode representar um fator de risco à segurança operacional. Conclui-se, portanto, que a integração equilibrada entre homem e máquina é a chave para garantir a segurança e a eficiência na aviação moderna.

**Palavras-chave:** Piloto; Aviônica; Fator Humano; Automação.

---

<sup>1</sup> Cadete Aviador do 4º Esquadrão (Turma *Ártemis*, 2025).

<sup>2</sup> Coronel QOAv, bacharel em Ciências Aeronáuticas com habilitação em Aviação Militar pela Academia da Força Aérea (1999), especialização em Gestão Pública pela UFF (2010) e especialização em Planejamento e Gestão Estratégicos pela FGV (2023). Email: [marcoaureliomac@fab.mil.br](mailto:marcoaureliomac@fab.mil.br).

<sup>3</sup> 2º Tenente QOCon MTS. Graduação em Administração e Doutorado em Administração. Professora na Academia da Força Aérea. Email: [pentiadotpg@fab.mil.br](mailto:pentiadotpg@fab.mil.br).

## ABSTRACT

This study aimed to analyze the main abilities required from pilots during the air navigation phase, regarding the transformations brought about by automation and the increasing incorporation of embedded electronic systems in aircraft. Aviation has undergone profound changes in recent decades, directly impacting the pilot's role, which has shifted from predominantly manual operation to the management of complex systems. Based on a qualitative approach, the study employed a literature review and content analysis to identify both traditional competencies and the new skills required in the current scenario, considering the advancement of avionics systems such as the Flight Management System (FMS), Autopilot, Autothrottle, and Fly-by-Wire. Additionally, case studies were analyzed to demonstrate, in practice, the effects of automation on situational awareness and decision-making. The results indicate that, although automation has significantly reduced the pilots' physical workload, it has increased cognitive demands, requiring greater capacity for system monitoring and data interpretation in adverse scenarios. It was observed that the modern pilot must be capable of monitoring and assimilating information from various sources while maintaining the ability to respond quickly in critical situations. Therefore, it is essential that pilot training be adapted to this new operational reality, incorporating not only technical mastery of onboard systems but also behavioral and psychological competencies. The analysis also revealed that poorly understood automation can pose a risk to operational safety. It is concluded that a balanced integration between human and machine is key to ensuring safety and efficiency in modern aviation.

**Keywords:** Pilot; Avionic; Human Factor; Automation.

## INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a tecnologia tem ganhado cada vez mais espaço no cotidiano das pessoas, sendo utilizada de diversas maneiras, dinamizando até as tarefas mais simples do dia a dia, e na aviação não foi diferente. Existem registros pré-históricos que exaltam a tentação dos seres humanos em alçar voos, “Desde o alvorecer dos tempos, povos ao redor do mundo expressaram o sonho de voar, enfatizando o incrível e retratando os poderes aéreos como um elemento da religião, mitologia ou guerra.” (HALLION, 2003, p. 3). Como observado na história de Daedalus e Ícaro, os quais usaram de asas feitas de cera e penas para fugir da ilha de Creta, ou na representação dos Anjos do Senhor, na crença cristã. Mas somente com Leonardo da Vinci que surgiram os primeiros estudos e projetos que buscavam esse fim, como o aeroplano. Porém, apenas no século XVIII, com o luso-brasileiro Bartolomeu Gusmão é que foi efetivado o primeiro voo do mais leve que o ar, um balão de ar quente que subiu apenas alguns metros do chão, mas que foi considerado o primeiro passo em busca do sonho de voar. Posteriormente, em 1906, foi registrado o primeiro voo da

história, com o 14 Bis, desenvolvido por Alberto Santos Dumont, onde o protótipo foi capaz de decolar sem auxílio externo e se manter voando por cerca de 60 metros, a mais de 2 metros de altura.

Segundo Hallion (2003), mesmo Santos Dumont não ter desenvolvido seu trabalho para fins militares, ele serviu de grande inspiração para os militares franceses iniciarem estudos nessa área, o que pode ser observado alguns anos mais tarde, já na Primeira Guerra Mundial. Nela, o avião se tornou uma verdadeira máquina de guerra, passando por diversas melhorias e recebendo suporte para novos armamentos. “Em menos de um ano, o avião passou de uma maravilha do tempo de paz, um símbolo do melhor da humanidade, para uma temível ferramenta de guerra, um portador de destruição e morte.” (HALLION, 2003, p. 337), sendo amplamente explorado na fase final da guerra e continuado após o término do conflito. Já a 2ª Grande Guerra, teve um papel ainda mais importante, impulsionando os estudos e ampliando ainda mais o emprego das aeronaves em diversos setores. Assim, teve como principais contribuições o desenvolvimento do radar, motores a jato e o computador (embora não diretamente ligado à aviação, até então, serviu como grande avanço e influenciaria todo o mundo após alguns anos). Nas décadas seguintes, de 1950 a 1990, é quando há mudanças expressivas no cenário mundial. O advento tecnológico trouxe consigo novos eletrônicos embarcados nas aeronaves e colaborou com o desenvolvimento de projetos cada vez mais eficientes, sendo na aerodinâmica das aeronaves, no rendimento dos motores ou nos novos sistemas de navegação e auxílios à pilotagem. E, após a década de 90, foram consolidados os sistemas de gerenciamento de cabine.

O desenvolvimento desses sistemas passaram a exigir dos pilotos novas habilidades nas operações. Billings (1997), afirma que nessa nova era as habilidades psicomotoras dos operadores são pouco requisitadas, se fazendo necessárias apenas quando há falhas nos sistemas ou circunstâncias imprevistas provenientes do meio. Diante das transformações provocadas pela automação na aviação, este estudo tem como objetivo analisar as principais habilidades exigidas dos pilotos durante a fase de navegação aérea, no que diz respeito às transformações provocadas pela automação e pela crescente incorporação de sistemas eletrônicos embarcados nas aeronaves. Essa inserção impõe a necessidade de novas capacidades por parte dos pilotos, além das tradicionais, exigindo uma adaptação constante para garantir a segurança e a eficiência das operações.

A evolução da aviação não apenas alterou os procedimentos técnicos, mas também redefiniu a interação homem-máquina. Diante disso, a justificativa deste trabalho baseia-se na importância de compreender as transformações ocorridas na navegação aérea em vistas ao avanço tecnológico e

a introdução progressiva de sistemas automatizados. Analisar como essas mudanças impactaram o papel dos pilotos se torna fundamental para entendermos as novas exigências necessárias para a gestão segura e eficiente das operações aéreas. A investigação é importante para observar quais foram as principais alterações nos processos de navegação e de tomada de decisão. Assim, o presente estudo pretende responder à seguinte questão de pesquisa: **quais são as principais habilidades desenvolvidas pelos pilotos durante a fase de navegação aérea no contexto da tecnologia moderna?** Nesse contexto, os objetivos específicos são: identificar as principais tecnologias de automação empregadas na navegação aérea e compreender seus impactos sobre o gerenciamento de recursos de cabine.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

A aviação moderna é marcada pela crescente incorporação de tecnologias automatizadas, que alteraram o modo como as operações aéreas são conduzidas. A automação tornou-se uma grande aliada na busca por uma maior eficiência, segurança e precisão. Para analisarmos os impactos que ela trouxe sobre as novas habilidades exigidas para os pilotos, devemos entender alguns conceitos da aviação moderna. Bem como, conhecer alguns dos novos sistemas embarcados inseridos no meio aéreo ao longo das últimas décadas, observando quais aspectos cada um deles alterou na dinâmica do voo. Além disso, iremos explorar quais os novos desafios que essas tecnologias trouxeram em relação ao fator humano, no que diz respeito a interação homem-máquina e tomada de decisão. Por fim, iremos analisar alguns estudos de caso buscando constatar a real relação entre os conceitos elencados nesta pesquisa.

### 1.1 AUTOMAÇÃO NA AVIAÇÃO

A evolução tecnológica nas últimas décadas gerou diversas mudanças na aviação, introduzindo sistemas cada vez mais complexos. A automação, que inicialmente surgiu como um recurso para reduzir a carga de trabalho dos pilotos, expandiu para outras fases do voo, desde o planejamento até a condução do voo.

Segundo Billings (1996), automação é um sistema ou método que realiza ou controla tarefas de forma autônoma por alguma máquina ou dispositivo eletrônico, considerando esse recurso como sendo uma ferramenta que necessita de supervisão humana, mas que diminuiu os esforços

empregados para tal, trazendo então mais eficiência, segurança e barateamento na operação. Parasuraman (2000), complementa que ela pode ser entendida como um dispositivo ou conjunto de dispositivos capaz de realizar tarefas, seja parcial ou completamente, que eram originalmente realizadas por pessoas. Ele também nos propõe uma escala contínua de níveis de automatização, dividida entre dois extremos, a operação totalmente manual e a totalmente automática, como mostra o Quadro 01. Essa divisão se faz necessária para que seja possível elencar de forma mais concreta o impacto que cada sistema embarcado trouxe, ou se faz capaz, dentro das operações.

**Quadro 01** Níveis de automação de decisão e seleção de ação

Nível	Descrição
10	O computador decide tudo, age autonomamente, ignorando o humano.
9	Informa o humano apenas se decidir fazê-lo.
8	Informa o humano apenas se solicitado.
7	Executa automaticamente e necessariamente informa o humano.
6	Permite ao humano um tempo restrito para vetar antes da execução automática.
5	Executa a sugestão se o humano aprovar.
4	Sugere uma alternativa.
3	Reduz a seleção a algumas alternativas.
2	Oferece um conjunto completo de alternativas de decisão/ação.
1	O computador não oferece assistência: o humano toma todas as decisões e ações.

Fonte: Adaptado de Parasuraman (2000)

Segundo Collinson, (2011), existem algumas atualizações que foram implementadas ao longo dos anos, e possuem maior popularidade no cenário atual, dentre elas estão: *Autopilot* (A/P, Piloto Automático), *Flight Management System* (FMS, Sistema de Gerenciamento de voo), *Autothrust/Autothrottle* e *Fly-by-wire* (FBW).

O *Autopilot* (A/P, Piloto Automático), foi desenvolvido com o intuito de diminuir a fadiga da tripulação durante voos de longa duração e permitiu que os pilotos investissem mais atenção a fatores que necessitam exclusivamente do fator humano, como a comunicação, por exemplo

(Collinson, 2011). Esse sistema é um dos mais antigos e possui grande importância dentro da aviação, sendo projetado para controlar a atitude e o rumo da aeronave sem a intervenção manual constante do piloto. Seguindo a divisão proposta por Parasuraman, em sua forma mais básica, o piloto automático presta auxílios para manter a aeronave em condições estáveis de voo, ajustando automaticamente os comandos de aileron, profundor e leme, podendo ser em apenas um ou mais comandos. Nas versões mais avançadas, o sistema é capaz de gerenciar fases inteiras do voo, incluindo subidas, cruzeiros, descidas e aproximações. Segundo Collinson (2011, p. 418), "um sistema de piloto automático reduz a carga de trabalho do piloto ao manter o controle da aeronave durante todas as fases do voo, desde a subida até a descida".

O funcionamento do piloto automático baseia-se em uma série de sensores que monitoram parâmetros como atitude, velocidade e posição, além de computadores que processam essas informações e enviam comandos aos atuadores da aeronave. Em muitos casos, o sistema opera em conjunto com outros dispositivos, como o FMS e o autothrottle, para realizar uma gestão integrada da operação. A principal vantagem do piloto automático é a redução da carga de trabalho dos pilotos, permitindo uma maior atenção na gestão global do voo, como dito por Collinson (2011).

*Flight Management System* (FMS, Sistema de Gerenciamento de voo): Possui grande destaque pela capacidade de redução da carga de trabalho sobre os pilotos e no cenário militar, permitiu o emprego de aeronaves de combate avançadas por uma tripulação única (COLLINSON, 2011).

Esse sistema revolucionou a operação de aeronaves ao integrar funções de navegação, gestão de combustível, controle de performance e planejamento de voo em uma única interface. Collinson (2011) traz o FMS como sendo uma peça chave dos sistemas aviônicos, devido a expressiva redução na carga de trabalho do piloto. Ele é composto por um banco de dados de navegação, um computador de gerenciamento de voo e uma unidade de controle e exibição (CDU – Control Display Unit), permitindo que os pilotos insiram e modifiquem planos de voo de maneira dinâmica. Segundo Billings (1996), o FMS automatizou não apenas o seguimento de rotas, mas também incorporou estratégias de otimização de combustível e cálculos automáticos para perfis de subida, cruzeiro e descida.

Com sua integração direta ao piloto automático, o FMS assume grande parte da navegação da aeronave, liberando os pilotos de tarefas rotineiras e permitindo foco na supervisão e na tomada de decisões estratégicas. Todavia, sua utilização intensiva exige elevado grau de familiaridade dos

pilotos com a lógica de funcionamento do sistema e constante monitoramento das entradas e saídas de dados, a fim de prevenir erros operacionais.

*Autothrust/Autothrottle*: São sistemas similares que permitem ao piloto controlar a potência dos motores de acordo com os parâmetros a serem mantidos. Billings (1997), ressalta que esses sistemas minimizam o desgaste e aumentam a eficiência dos motores, além de reduzir o consumo de combustível.

O autothrottle foi projetado para controlar a potência dos motores de uma aeronave, ajustando automaticamente as manetes para manter a velocidade ou a potência desejada conforme definido pelos pilotos ou por sistemas integrados, como o FMS.

Segundo Collinson (2011, p. 441), "o sistema de autothrottle ajusta automaticamente as configurações de potência do motor para manter uma condição de voo desejada, como velocidade ou nível de impulso, reduzindo a carga de trabalho do piloto durante fases críticas". O autothrottle pode operar em modos distintos, dependendo da fase do voo: controle de velocidade indicada (IAS hold), controle de empuxo (thrust hold) ou controle de razão de subida/descida.

Ao liberar os pilotos da necessidade de fazer constantes ajustes nas manetes de potência, o autothrottle contribui para a redução da carga de trabalho e aumenta a precisão na manutenção dos parâmetros, especialmente em operações sob condições meteorológicas adversas.

*Fly-by-wire* (FBW): Este sistema serviu como substituto aos antigos mecanismos mecânicos de atuações de comando de voo. Collinson (2011), explica-o como sendo uma interface eletrônica que capta os comando emitidos pelo piloto, transforma-o em sinais elétricos que são transmitidos por fios, interpretados por sensores, os quais são capazes de identificar possíveis excessos que tenham sido empregados e só então transmitir esses sinais às superfícies de comando. O autor também elenca alguns pontos importantes trazidos por esse sistema, entre eles: a redução do consumo de combustível e o aumento do número máximo de passageiros.

O sistema Fly-by-Wire (FBW) representa uma das mais avançadas inovações tecnológicas aplicadas ao controle de aeronaves. Ao substituir os comandos mecânicos tradicionais — compostos por cabos, roldanas e hastes — por sinais elétricos transmitidos por computadores, o FBW transformou a forma como os pilotos interagem com a aeronave.

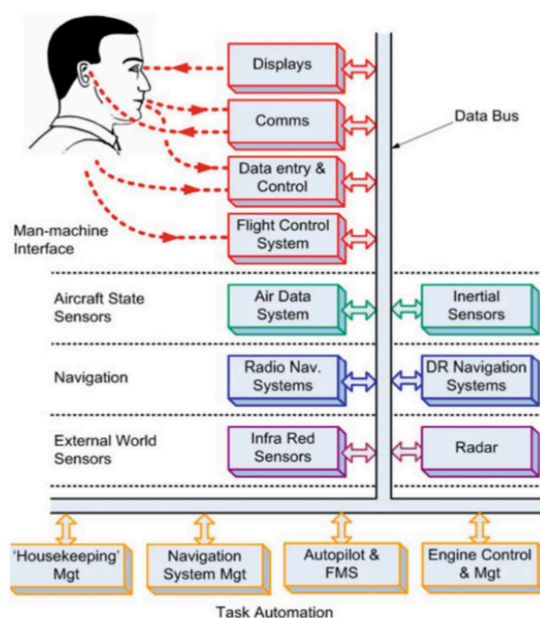
Segundo Collinson (2011, p. 180), "os sistemas fly-by-wire substituem os controles manuais convencionais por uma interface eletrônica, melhorando o desempenho da aeronave, reduzindo o peso e possibilitando a proteção do envelope de voo". Em um sistema fly-by-wire, os movimentos

dos controles do piloto são convertidos em sinais elétricos, processados por computadores de controle de voo, que então acionam os atuadores hidráulicos nas superfícies móveis.

Essa configuração não apenas elimina peso e complexidade mecânica, mas também permite a introdução de "laws" ou leis de controle de voo, que limitam automaticamente as ações do piloto para prevenir situações perigosas, como estol ou excedência dos limites estruturais.

O FBW trouxe benefícios consideráveis, como a melhoria da estabilidade, a otimização do desempenho da aeronave e a redução da carga de trabalho dos pilotos. É importante ressaltar que esse sistema é dependente de energia e cria "camadas" entre o comando do piloto e a atuação efetiva, sendo necessário o entendimento por parte da tripulação sobre como isso pode afetar a pilotagem em caso de ocorrência de alguma pane.

Baseando-se no estudo de Collinson (2011), dividimos o conjunto de eletrônicos embarcados em 5 subgrupos: *Man-Machine Interface* (Interface Homem-Máquina), *Aircraft State Sensors* (Sensores de Estado da Aeronave), *Navigation* (Navegação), *External World Sensors* (Sensores Externos ou Sensores de Condição Externa) e *Task Automation* (Tarefas Automáticas), como ilustrado na Figura 01. Dessa forma, torna-se mais fácil filtrar quais equipamentos estão ligados com o objeto de estudo em questão e relacionar com os outros aspectos da pesquisa.



**Figura 01** Divisão dos Subgrupos de Aviação  
Fonte: Collinson (2011)

Com o advento da tecnologia e a inserção dos novos sistemas embarcados, o papel do piloto evoluiu de uma atuação predominantemente manual para uma função voltada ao gerenciamento de sistemas. De acordo com a Aircraft Owners and Pilots Association (AOPA, 2007), essa transformação permitiu que o piloto se afastasse do controle direto e contínuo da aeronave, concentrando-se cada vez mais na supervisão e na gestão do voo. Hollnagel e Woods (2005) reforçam essa análise ao afirmar que houve uma notável diminuição nas tarefas motoras e um aumento proporcional das demandas cognitivas, exigindo dos pilotos maior capacidade de interpretação, antecipação e tomada de decisão em tempo real.

Billings (1996) complementa essa visão ao destacar que a automação foi inicialmente introduzida com o objetivo de aliviar a carga de trabalho psicomotora dos pilotos, transferindo para os sistemas funções de alta frequência. No entanto, essa redução da carga física veio acompanhada de um aumento da complexidade cognitiva das tarefas, impondo aos pilotos a necessidade de supervisionar múltiplos sistemas, interpretar informações em tempo real e intervir prontamente em situações imprevistas. A gestão da informação, a manutenção da consciência situacional e a capacidade de monitoramento constante tornaram-se, assim, habilidades centrais para se obter uma operação segura.

Complementarmente, Collinson (2011) observa que a introdução de tecnologias como o Flight Management System (FMS) e o Autopilot alteraram profundamente a dinâmica da condução de voo, exigindo dos pilotos maior competência no planejamento e na adaptação a cenários de falhas muitas vezes sutis. Além disso, segundo o autor, a automação impôs novos desafios relacionados à integração de dados provenientes de diversas fontes, como sistemas de navegação, sensores de bordo e comunicações. Nesse novo ambiente operacional, a função do piloto deixou de ser essencialmente manual para tornar-se essencialmente cognitiva e decisória, consolidando o operador como um gestor de sistemas complexos, que deve aliar domínio técnico e julgamento crítico.

## 1.2 NAVEGAÇÃO AÉREA E FATORES HUMANOS

A fase da navegação aérea foi amplamente impactada pela implementação de novos sistemas embarcados, como o Piloto Automático (PA) e o Flight Management System (FMS). Este último integra subsistemas como o Flight Management Computer (FMC) e o Multifunctional Control Display Unit (MCDU), permitindo uma gestão mais eficiente dos parâmetros de voo.

Conforme analisado por Collinson (2011), tais avanços resultaram em melhorias significativas na segurança operacional, no desempenho da aeronave e na precisão das navegações. A capacidade de planejamento e execução de rotas tornou-se mais precisa e menos suscetível a erros humanos, refletindo em uma operação aérea mais eficiente e segura.

Entretanto, essas evoluções também trouxeram consigo preocupações relevantes, especialmente no que diz respeito à manutenção da consciência situacional dos pilotos. Segundo Endsley (1995), a consciência situacional é definida como o "perceber os elementos do ambiente em um volume de tempo e espaço, compreender seu significado e projetar seu status no futuro". Ao aliviar as tarefas sobre os pilotos, pode involuntariamente induzir uma diminuição da consciência situacional, uma vez que reduz o envolvimento ativo do mesmo com o ambiente.

Hopkin (1995) complementa essa visão ao afirmar que sistemas altamente automatizados podem gerar uma sensação de falsa segurança. Quando os pilotos depositam excessiva confiança na tecnologia, ocorre uma redução no nível de vigilância ativa, o que compromete a capacidade de resposta diante de situações anormais, emergências ou mudanças rápidas no cenário operacional. Esse fenômeno é agravado pelo que Endsley denomina de "desligamento da consciência situacional" — estado em que o piloto não consegue perceber alterações críticas no ambiente até que seja tarde para reagir adequadamente.

Billings (1996) também analisa os efeitos da automação no desempenho humano, destacando que a distância criada entre o operador e a operação pode ser prejudicial. O autor aponta quatro fatores principais afetados pela automação: Complexidade (a dificuldade crescente em interpretar e operar sistemas integrados), Acoplamento (a dependência mútua entre diferentes sistemas automáticos), Autonomia (o comportamento autônomo dos sistemas, que podem executar ações sem intervenção humana clara) e Feedback inadequado (a comunicação insuficiente ou ambígua entre os sistemas e os pilotos). A soma desses fatores contribui para a degradação da consciência situacional e, conseqüentemente, da capacidade de tomada de decisão em situações críticas.

O desafio, portanto, vai além da mera integração tecnológica: envolve a adaptação do ser humano à nova realidade operacional. Tanto Billings (1996) quanto Endsley (1995) defendem que os sistemas automatizados devem ser projetados para complementar e ampliar as habilidades humanas, e não para substituí-las. A automação ideal é aquela que mantém o piloto no centro do processo decisório, fornecendo suporte informativo sem comprometer a sua percepção, compreensão e antecipação dos eventos.

## 1.3 ESTUDOS DE CASO

### 1.3.1 Voo Varig 254

O acidente com o voo Varig 254, ocorrido em 3 de setembro de 1989, ilustra de forma contundente a importância do domínio técnico e da consciência situacional por parte dos pilotos. A falha inicial foi um erro de interpretação do rumo da carta de voo: o piloto digitou 027° no sistema de navegação em vez de 270°, alterando radicalmente a rota planejada. Essa entrada incorreta não foi detectada em tempo hábil, pois os pilotos deixaram de fazer uma verificação cruzada dos instrumentos e das referências visuais disponíveis ao longo do trajeto.

Segundo o relatório final do CENIPA (1990), “a ausência de coordenação entre os tripulantes e a falha na verificação cruzada da rota contribuíram diretamente para o desenlace do acidente” (p. 45). Esse fato revelou uma enorme deficiência no CRM (Crew Resource Management) entre os pilotos, cuja função é adicionar barreiras nas diversas fases das operações a fim de evitar um incidente ou acidente.

O erro também expôs a dependência dos pilotos em dados inseridos manualmente, o que exige atenção redobrada na verificação das informações no FMS (Flight Management System), especialmente em aeronaves com baixa automatização. Conforme Billings (1997), “a automação confiável ainda depende de entrada humana precisa; erros pequenos podem se propagar e produzir falhas graves, especialmente quando não são verificados por operadores atentos” (p. 53).

Durante o voo, os pilotos perderam gradualmente a consciência situacional, não percebendo que estavam em uma direção diferente do destino planejado. A perda desse atributo foi determinante, resultando no esgotamento de combustível e em um pouso forçado em área de mata, o que poderia ter sido evitado com um monitoramento contínuo das referências externas, VORs e atualizações de posição.

### 1.3.2 Voo AeroPerú 603

O voo AeroPerú 603, ocorrido em 2 de outubro de 1996, representa um dos casos mais paradigmáticos da aviação em que falhas técnicas combinadas à dependência excessiva da automação e à perda de consciência situacional resultaram em tragédia. A causa principal foi a obstrução dos tubos estáticos da aeronave com fita adesiva durante a manutenção, impedindo a leitura correta de instrumentos como altímetros e velocímetros. Tal erro técnico não foi detectado

durante a inspeção pré-voo pela tripulação, tampouco pelas camadas de supervisão técnica e operacional.

Durante os 30 minutos de voo, a tripulação foi sobrecarregada por alarmes conflitantes, como *stick shaker*, *overspeed* e *too low – terrain*. Essa sobrecarga sensorial gerou confusão cognitiva. O comandante descartou diversos alertas válidos, afirmando serem “fictícios”, mesmo diante de dados fornecidos pelo GPWS (Ground Proximity Warning System) e pelo rádio altímetro, que estavam operacionais (MINISTERIO DE TRANSPORTES DEL PERÚ, 1996, p. 45). Essa resposta equivocada expõe a falha crítica na manutenção da consciência situacional, conforme definido por Endsley (1995), que considera a sobrecarga de informações e a má interpretação como fatores clássicos de perda de controle em voo.

O relatório destaca que “a saturação de alarmes e a falta de coordenação efetiva entre os pilotos (CRM) contribuíram para que medidas evasivas não fossem tomadas em tempo hábil” (MINISTERIO DE TRANSPORTES DEL PERÚ, 1996, p. 43). A ausência de coordenação entre os tripulantes, em que funções fossem claramente distribuídas (ex: um focado no voo e outro na resolução da falha), foi apontada como falha decisiva no desfecho do acidente. Conforme destaca Billings (1997), o uso da automação não isenta o operador de manter controle ativo da situação. Isso se alinha à análise de Endsley (1995), que reforça que a automação mal compreendida pode comprometer a consciência situacional, especialmente quando há alarmes contraditórios ou perda de confiança nos instrumentos disponíveis.

Esse caso reforça a necessidade de programas de formação que priorizem a tomada de decisão crítica, a gestão de falhas e a valorização de sistemas independentes, mesmo quando a automação aparente oferecer controle total da situação. É um alerta claro de que a confiança excessiva na automação, sem o devido domínio situacional e a aplicação disciplinada dos princípios do CRM, pode ser fatal.

## **2 METODOLOGIA**

O principal método de análise empregado neste estudo será de caráter qualitativo. Será iniciado com uma revisão bibliográfica, que conforme Fink (2014), é um método sistemático, explícito e reprodutivo que sintetiza o leque de trabalhos existentes produzidos por pesquisadores e é essencial para estruturar uma base sólida e confiável. A revisão será composta por livros que irão fornecer o embasamento necessário para o desenvolvimento e contextualização do trabalho, além de

incluir pesquisas e trabalhos acadêmicos que explorem a relação entre as habilidades dos pilotos e o impacto da automação na aviação.

A análise de conteúdo será aplicada para compreender três áreas principais: habilidades tradicionais dos pilotos, novas habilidades exigidas pela automação, e o papel da tecnologia na navegação aérea. Bardin (2016) destaca que a análise de conteúdo é uma técnica eficiente para identificar padrões e inferir significados a partir de dados qualitativos, ao passo que são elencadas “afirmações provisórias” que exigirão o apelo à análise sistemática para sua confirmação ou refutação. Isso possibilita uma análise crítica de como a automação tem influenciado essas habilidades.

Por fim, estudos de caso serão utilizados para exemplificar e atestar os dados expostos. Creswell (2013) conceitua essa abordagem como um tipo de variação integrado ao método qualitativo, que envolve a exploração de uma problemática através de um ou mais casos, limitados a um contexto particular. Sendo assim, é possível elencar as mudanças nas capacidades dos pilotos pensando em um cenário de crescente automação. Esses casos irão ilustrar, de forma prática, os desafios e transformações enfrentadas pelos pilotos, fortalecendo a análise dos resultados obtidos.

### **3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A análise do conteúdo estudado revela que a evolução tecnológica na aviação não apenas transformou os meios de operação, mas também redefiniu o papel do piloto durante a navegação aérea. Sistemas como o Flight Management System (FMS), o Piloto Automático, o Fly-by-Wire e o Autothrottle passaram a assumir funções anteriormente atribuídas aos pilotos, resultando em uma significativa redução das tarefas manuais e um aumento das exigências cognitivas. Nesse cenário, o operador deixou de ser um condutor direto da aeronave para se tornar um gestor de sistemas complexos.

Com a automação das etapas do voo, a condução tornou-se mais precisa e eficiente, porém novos desafios emergiram, especialmente no que diz respeito à manutenção da consciência situacional. Como apontado pelos autores expostos nessa pesquisa, a excessiva confiança nos sistemas automáticos pode gerar uma diminuição da vigilância ativa por parte do piloto, afetando sua capacidade de pronta resposta. Essa mudança evidencia que, mesmo com a presença de tecnologia avançada, a atuação humana continua sendo um elemento central para garantir a segurança operacional.

A navegação aérea, em particular, foi profundamente impactada. A capacidade de planejamento e execução de rotas evoluiu com os sistemas automatizados, tornando as operações mais seguras e com menor margem para erro humano. Contudo, essas facilidades exigem que o piloto mantenha todo conhecimento sobre os sistemas que utiliza, compreenda suas limitações e esteja preparado para intervir diante de eventuais falhas.

Esse novo perfil de atuação demanda uma formação mais complexa. Atualmente, é necessário que o piloto seja treinado para interpretar dados, tomar decisões rápidas com base em múltiplas fontes de informação e entender como os sistemas embarcados interagem entre si. Além disso, o desenvolvimento de habilidades relacionadas à gestão de cabine passou a ter grande relevância, ao trabalho em equipe e à resiliência, características que ultrapassam o domínio técnico e envolvem habilidades comportamentais e cognitivas.

Assim, fica evidente que a automação na aviação não deve ser analisada apenas pela ótica dos avanços tecnológicos. É imprescindível considerar o fator humano, assegurando que os pilotos sejam capacitados para interagir de forma eficiente com a máquina, preservando sua consciência situacional e aprimorando sua capacidade de atuação frente aos desafios dinâmicos do ambiente de voo. Diante dos pontos discutidos, torna-se claro que a automação alterou profundamente o papel do piloto na fase da navegação aérea, exigindo maior preparo cognitivo, domínio técnico e adaptabilidade às novas dinâmicas operacionais, elementos que, em última instância, redefinem as habilidades essenciais para o voo seguro e eficiente no contexto atual.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente estudo teve como objetivo analisar as principais habilidades exigidas dos pilotos durante a fase de navegação aérea, no que diz respeito às transformações provocadas pela automação e pela crescente incorporação de sistemas eletrônicos embarcados nas aeronaves. Desta maneira, ao longo do trabalho, foi possível compreender que a automação, embora represente um avanço significativo em termos de segurança, eficiência e precisão das operações, trouxe consigo uma série de transformações que impactaram diretamente o perfil e o papel do piloto.

Por meio da revisão bibliográfica e da análise de conteúdo, verificou-se que a automação reduz substancialmente a carga de trabalho psicomotor dos pilotos, delegando às máquinas tarefas operacionais repetitivas que anteriormente eram relacionadas à pilotagem manual, como por exemplo manutenção de parâmetros e controle de superfícies de comando. No entanto, essa redução

não implicou uma simplificação da atividade exercida do profissional. Pelo contrário, observou-se um deslocamento do foco operacional para habilidades de natureza cognitiva, como o monitoramento contínuo dos sistemas, a capacidade de antecipar situações de risco, tomada de decisão sob pressão e a manutenção da consciência situacional.

O piloto contemporâneo atua como gestor de sistemas, sendo responsável por interpretar dados provenientes de diversas fontes, integrar e interpretar essas informações e atuar conforme a necessidade. A tecnologia, portanto, não substituiu o ser humano no processo decisório, mas exigiu uma reconfiguração do seu papel dentro da cabine. Essa mudança demanda, por consequência, um processo formativo mais robusto, que contemple tanto o domínio técnico dos sistemas quanto o desenvolvimento de habilidades comportamentais e psicológicas.

A análise também revelou que a integração eficiente entre o homem e a máquina é um fator essencial para a segurança operacional. Sistemas automatizados devem ser projetados para apoiar e ampliar as capacidades humanas, sem afastar o piloto do centro do processo decisório. Assim, o equilíbrio entre tecnologia e fator humano se mostra fundamental para que a automação cumpra seu papel como ferramenta de aprimoramento da atividade aérea, e não como fonte de vulnerabilidade.

Ressalta-se que neste trabalho não foi realizado um estudo específico sobre os sistemas embarcados, dissertando sobre suas respectivas funções e como cada um deles afeta a dinâmica de voo, mas sim as consequências que a implementação deles trouxeram para os pilotos. Por fim, deixa-se como sugestão para trabalhos futuros o estudo do sistema de tarefas automáticas, a fim de compreender de forma detalhada como os sistemas embarcados reduziram a carga de trabalho dos pilotos, tendo em vista a importância de se compreender o funcionamento de tais equipamentos e como se dá a relação entre homem e máquina na atualidade.

## REFERÊNCIAS

AIRCRAFT OWNERS AND PILOTS ASSOCIATION (AOPA). **2007 Annual Report: Team Effort**. Disponível em:

<https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2008/may/01/aircraft-owners-and-pilots-association-2007-annual-report-team-effort>. Acesso em: 29 set. 2024.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. 1. ed. São Paulo : Edições 70, 2016.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Relatório final: acidente aeronáutico PP-VMK, 2007**. Brasília, 1990. Disponível em:

[https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/RF\\_PPVMK\\_ACIDENTE\\_03\\_09\\_1989.pdf](https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/RF_PPVMK_ACIDENTE_03_09_1989.pdf). Acesso em: 11 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Relatório final: acidente aeronáutico PR-MBK, 2007**. Brasília, 2007. Disponível em:

<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/gerenciamento-da-seguranca-operacional/relatorio-de-acidentes/arquivos/2007/pr-mbk.pdf>. Acesso em: 29 set. 2024.

BRASIL. Departamento do Espaço Aéreo. **Glossário de termos aeronáuticos**. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/index.cfm?i=utilidades&p=glossario&single=2230>. Acesso em: 29 set. 2024.

BILLINGS, Charles E. **Human-Centered Aviation Automation: Principles and Guidelines**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 1996.

BILLINGS, Charles E. **Aviation Automation: The Search for A Human-Centered Approach**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 1997.

BLOG HANGAR 33. **Jacques Charles e os irmãos Montgolfier: os precursores do voo mais leve do que o ar**. Disponível em:

<http://blog.hangar33.com.br/jacques-charles-e-os-irmaos-montgolfier-os-precussores-do-voo-mais-leve-do-que-o-ar>. Acesso em: 16 set. 2024.

CASNER, Stephen; SCHOOLER, Jonathan. **Thoughts in Flight: Automation Use and Pilots' Task-Related and Task-Unrelated Thought**. *Sage Journals*, v. 56, n. 3, p. 01-04, 2014. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0018720813501550>. Acesso em: 17 set. 2024

COLLINSON, R. P. G. **Introduction to Avionics Systems**. 3ª Ed. London: Springer, 2011.

CONFIDENCE Câmbio. **Histórias por trás da construção do primeiro avião do mundo**. Disponível em:

<https://www.confidencecambio.com.br/blog/historias-por-tras-da-construcao-do-primeiro-aviao-do-mundo/>. Acesso em: 16 set. 2024.

CRESWELL, John W. **Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches**. 2. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2007.

ENDSLEY, Mica R. **Toward a theory of situation awareness in dynamic systems**. *Human Factors*, v. 37, n. 1, p. 32-64, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>. Acesso em: 29 set. 2024.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores RL78: guia básico**. 1. ed. Joinville, SC: Edição do autor, 2013.

FERREIRA, Bruno; DE PAULA, Giovanni. **Automação dos Sistemas de Navegação na Aviação**. *Revista UNITAU*, v. 5, n. 1, p. 01-02, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/178/1/TTEM003-15.pdf>. Acesso em: 16 set. 2024.

FINK, Arlene. **Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper**. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2010.

FLIGHT SAFETY FOUNDATION. Human Factor. **Aviation Safety World**, Jun. 2010. Disponível em: [https://flightsafety.org/asw/jun10/asw\\_jun10.pdf](https://flightsafety.org/asw/jun10/asw_jun10.pdf). Acesso em: 29 set. 2024.

HALLION, Richard P. **Taking Flight: Inventing the Aerial Age, from Antiquity through the First World War**. New York: Oxford University Press, 2003.

HOLLNAGEL, Erik; WOODS, David D. **Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2005.

HOPKIN, V. David. **Human Factors in Air Traffic Control**. 2. ed. London: CRC Press, 1995.

PARASURAMAN, Raja; SHERIDAN, Thomas B.; WICKENS, Christopher D. **A model for types and levels of human interaction with automation**. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, v. 30, n. 3, p. 286–297, 2000.

PERU. Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción. **Accidente de la aeronave Boeing 757-200, matrícula N52AW, operada por la Empresa de Transporte Aéreo del Perú S.A. – AeroPerú, ocurrido el 2 de octubre de 1996**. Lima: Dirección General de Transporte Aéreo, 1996. Disponível em: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/438848/Informe\\_Final\\_Aeroperu.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/438848/Informe_Final_Aeroperu.pdf). Acesso em: 11 maio 2025.

RIBEIRO, Elones Fernando. **A formação do piloto de linha aérea: caso VARIG – o ensino aeronáutico acompanhando a evolução tecnológica**. 2008. Tese (Doutorado em História) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. p. 124–126. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/2256>. Acesso em: 17 set. 2024.

SILVA, Luiz C.; PEREIRA, Rodrigo M. Cronologia de Santos Dumont. **Revista Brasileira de Física**, v. 7, n. 2, p. 14–20, 2006. Disponível em:  
<https://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a03.pdf>. Acesso em: 16 set. 2024.

SILVA, Odair; SANTOS, Rosiane. Trajetória histórica da aviação mundial. **Revista da FAEF**, v. 6, n. 4, p. 02–04, 2009. Disponível em:  
[http://www.faeff.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/WydybjUDpYtjIL4\\_2013-5-23-10-51-57.pdf](http://www.faeff.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/WydybjUDpYtjIL4_2013-5-23-10-51-57.pdf). Acesso em: 16 set. 2024.