PROPOSTA DE MODELO DE TREINAMENTO PARA PILOTOS NA FASE DE TRANSIÇÃO DE AERONAVES COMERCIAIS PARA MITIGAR CONFUSÃO DE MODOS DE CONTROLE DE TRAÇÃO

Anderson Matos de Castro*
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Pós-Graduação em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada – MP-Safety
Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira
Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Engenharia de Transportes

*** Corresponding author e-mail address**: matos.aero@gmail.com

PAPER ID: SIT2321

ABSTRACT

The development of the first autopilots in the 1930s can be considered the first step towards automation in airplanes. Various industries experienced significant transformations, especially the commercial aviation sector through technology that automates procedures in the cockpit. Although automation has brought considerable benefits to operations and the control of human-machine interaction systems, there is growing empirical evidence pointing to some negative effects, especially regarding human monitoring performance. In light of this, the present research seeks to answer the following question: How can the confusion of thrust modes to which airline pilots are subjected be mitigated when migrating to a new aircraft? This paper aims to propose a training model for pilots transitioning between commercial aircraft, in order to mitigate the adverse effects of automation. To this end, this work proposes the application of a semi-structured questionnaire, used to identify common errors for each type of transition. As partial results, the following most present responses were obtained in situations that may generate confusion, in this order: "interpretation of the modes presented in the FMA (Flight Mode Announcer: the area of the instrument panel that displays the active autopilot and traction management modes) of the aircraft", "sequence of actions during go-around" and "management of vertical navigation". Based on the partial results, a conceptual model was developed in order to add important elements to the training, such as: Pilot Background Assessment, Common Errors Guide and Competence Map of the current Training Program structure - proposed product of this dissertation. The information obtained in this research can be used by airlines to identify situations where mode confusion occurs and apply measures that mitigate the adverse effects of automation.

Keywords: Automation, airplanes, pilots, training, confusion.

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a definição mais aceita para automação consiste em sistemas ou métodos em que processos de produção são automaticamente desempenhados ou controlados por máquinas ou dispositivos eletrônicos (BILLINGS, 1996).

Tarnowski e Speyer (2020) ressaltam que a concepção de automação aplicada para aeronaves da família Airbus, por exemplo, pode ser sintetizada através das seguintes afirmações: (i) automação é um complemento ao ser humano; (ii) automação melhora segurança de voo e eficiência; e (iii) automação é feita sob medida e ajustada ao ser humano.

É possível destacar como benefícios da automação os seguintes elementos: a redução da carga de trabalho do operador e diminuição da fadiga pela liberação de ações repetitivas, utilização mais econômica do equipamento, aumento da capacidade produtiva e aeronaves mais protegidas contra falhas humanas. Logo,

cabe ressaltar que a automação não elimina o erro ou falha humana, e sim muda a sua natureza (REASON, 1990).

Embora a automação tenha trazido consideráveis benefícios às operações e para o controle de sistemas de interação homem-máquina, existe uma crescente evidência empírica apontando para alguns efeitos negativos, especialmente em relação a performance de monitoramento humano, a exemplo a confusão que pode ocorrer em pilotos na transição para um novo modelo de avião. (MOULOUA et al., 2010).

A confusão apresentada por pilotos de avião em sua operação remonta os primórdios da aviação. Lyu et al. (2018) denominam de "confusão de modo", que em linhas gerais significa a circunstância em que ocorre divergência entre a expectativa do piloto quanto ao comportamento da aeronave e o real status do sistema de voo automático, especialmente em momentos de alteração de perfil vertical de voo.

Um acidente de repercussão internacional ocorreu em 6 de julho de 2013 quando um Boeing 777-200ER operado pela Asiana colidiu com o quebra-mar da pista 28L no Aeroporto Internacional de San Francisco, Califórnia (GORMAN et al., 2018). De acordo com o relatório final do acidente, o comandante do voo Asiana 214 informou para a equipe de investigação que durante a aproximação para pouso, acreditava que o sistema de gerenciamento de potência automática do Boeing 777-200ER (HL-7742) se comportaria semelhante ao Airbus 320, modelo de aeronave em que possuía experiência de voo mais recente (NTSB, 2014).

Dessa forma, a causa raiz que envolve cada um desses fatores pode ser atribuída a vários níveis da organização, o que significa que o acidente não tratou de um evento isolado causado exclusivamente por aspectos de fatores humanos (BANDEIRA et al., 2018; SMALL, 2020). Conforme apontado por Kharoufah et al. (2018), aspectos de fatores humanos estão entre os principais fatores contribuintes para os acidentes e incidentes na aviação comercial entre 2000 e 2016. Dentre as diversas questões envolvendo fatores humanos, os aspectos fisiológicos, e em especial a fadiga mental também merecem destaque ao se avaliar falhas humanas na aviação comercial (CALDWELL, 2005). Essas questões fisiológicas estão fora do escopo do presente trabalho, porém podem degradar os níveis de atenção e memória, prejudicando o desempenho dos pilotos durante suas transições de equipamento. Isso porquê esses fatores são classificados como habilidades, e estão diretamente associados com os fatores humanos relacionados à fadiga por exemplo. Assim, quanto maior for a fadiga mais degradado será o nível de atenção e memória (BANDEIRA et al., 2018)

Diante desses eventos de grande percussão, observa-se uma lacuna para problemas dessa natureza: Como mitigar a confusão de modos de tração a que pilotos de linha aérea estão sujeitos ao migrarem para uma nova aeronave?

Desse modo, este artigo visa propor um modelo de treinamento para pilotos em transição de aeronaves comerciais, de modo que seja possível mitigar os efeitos adversos da automação presente nos sistemas de gerenciamento de tração. Para tanto, pretende-se desenvolver uma ferramenta de avaliação de domínio de competências em simulador, a ser inserido em programa de treinamento de pilotos que estão em processo de transição de equipamentos, a fim de reduzir a confusão entre as diferentes filosofias de automatismo quanto ao gerenciamento de tração (*autothrust* ou *autothrottle*) de diferentes fabricantes de aeronaves comerciais de transporte de passageiros e carga.

2. AUTOMAÇÃO NAS CABINES DE COMANDO

Em 30 de janeiro de 1995, a revista Aviation Week apresentou uma lista de mais de 150 acidentes e incidentes cujos fatores contribuintes envolviam consciência situacional, incluindo o Airbus A320 da Indian Airlines voo IC605 em Bangalore (Índia), o Airbus A320 da Air France voo AF296Q em Mulhouse (França) e um Airbus A330 em Toulouse em voo de teste da fabricante. Esses eventos revelam que pilotos por vezes ficam confusos quanto ao modo de automatismo da aeronave. Mesmo uma análise superficial desses eventos permite destacar que a confusão de modos de tração é mais complexa do que a deficiência de treinamento e *design* de cabine de comando (BUTLER, 1998).

A esse tipo de erro de interpretação por parte do piloto na literatura de fatores

humanos aplicados à aviação, dá-se a classificação "*Mode Error*" (Erro de modo). Ele ocorre quando há incorreta compreensão de como a automação deveria agir ou do seu real estado (CHOW *et al*., 2014). De acordo com Nadine Sarter, uma especialista em fatores humanos da Universidade de Michigan, trata-se do tipo mais comum de erro atribuído aos pilotos de aeronaves.

A literatura destaca que muitas dimensões podem ser observadas a fim de analisar como o operador da aeronave desenvolve suas atividades em conjunto com o automatismo. Com base no levantamento da literatura foram selecionados os fatores que mais contribuem com a análise da confusão de pilotos, dentro do escopo deste trabalho. Assim, os fatores que serão tratados aqui são: i) carga de trabalho mental; ii) treinamento dos pilotos; iii) confusão de interpretação do automatismo; iv) complacência; v) degradação de desempenho; e vi) interface homem-máquina.

As evidências apontam que automação pode alterar a carga de trabalho mental de um operador humano a um nível que seja adequado para a esperada execução de tarefas de um sistema. Em outras palavras, a máquina assume um papel de organizar os dados em uma ordem de prioridade, por exemplo, de forma a servir de suporte a quem a opera a fim de prover uma tomada de decisão objetiva a partir das informações mais relevantes (PARASURAMAN et al., 2000).

Ao se considerar o método de treinamento pilotos aplicado ao longo da história, a responsabilidade primária é introduzir e manter habilidades em níveis de proficiência requeridos para o cumprimento das missões de forma exitosa. Treinamento inicial rápido e de alta qualidade deve ser provido. As fases iniciais de instrução tem como objetivo criar uma memória e aprendizado de longa duração ainda que as habilidades desenvolvidas não sejam diariamente praticadas (ROSE, 1989).

É pacífico que o modelo mental de um sistema depende tanto do treinamento e da experiência prévia do ser humano que opera este sistema quanto da correta percepção e interpretação do estado real do ambiente (SILVA; HANSMAN, 2015). Com o desenvolvimento dos sistemas complexos na indústria aeronáutica, há um aumento em treinamento para sua operação. A aprendizagem em um sistema complexo com múltiplos modos de automação é um processo lento. Dessa forma, pilotos relatam que frequentemente um treinamento adicional seria recomendado (SCERBO, 1996).

No Brasil, fica sob responsabilidade da ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil, a normatização dos requisitos de treinamento de tripulantes. De acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil, que versa sobre requisitos para transporte de passageiros em linha aérea regular, o programa geral de treinamento deve ser elaborado pela empresa transportadora e obter aprovação da agência reguladora fazendo constar, entre outros requisitos (ANAC, 2021):

- Meios adequados, em solo e em voo, assim como instrutores qualificados e examinadores do detentor de certificado devidamente aprovados;
- Constar do treinamento de solo e de voo para os membros da tripulação de voo, instrutores e examinadores credenciados do detentor de certificado, no tipo ou nos tipos dos aviões que operam;
- Treinamento de coordenação adequada da tripulação de voo, assim como treinamento em todos os tipos de situações ou procedimentos de emergência e anormais causados pelo mau funcionamento do sistema moto propulsor, da célula, de outros sistemas da aeronave devido a incêndio ou outra anomalia.

O Programa de Treinamento atual da ANAC prevê a carga horária e o detalhamento do conteúdo programático de cada aula teórica e sessão de simulador com as respectivas manobras e exercícios. Esse documento é comumente chamado de PTO - Programa de Treinamento Operacional.

É importante notar que, esse documento prevê a mesma programação de instrução para os pilotos independentemente da sua formação e experiência anterior. Além disso, a agência reguladora apenas estabelece requisito prevendo treinamento que leve em consideração o *background* do piloto para cursos entre as diferenças, isto é, variações de modelos de aeronaves de mesmo tipo. Exemplos de diferenças são Embraer 195 e Embraer 195-2; Airbus A320 e A321 e Boeing 737NG e Boeing 737 MAX.

Em 30 de janeiro de 1995, a revista Aviation Week apresentou uma lista de mais de 150 acidentes e incidentes cujos fatores

contribuintes envolviam consciência situacional, incluindo o Airbus A320 da Indiana Airlines voo IC605 em Bangalore (Índia), o Airbus A320 da Air France voo AF296Q em Mulhouse (França) e um Airbus A330 em Toulouse em voo de teste da fabricante. Esses eventos revelam que pilotos por vezes ficam confusos quanto ao modo de automatismo da aeronave. Mesmo uma análise superficial desses eventos permite destacar que a confusão de modos de tração é mais complexa do que a deficiência de treinamento e *design* de cabine de comando (BUTLER, 1998).

A esse tipo de erro de interpretação por parte do piloto na literatura de fatores humanos aplicados à aviação, dá-se a classificação "*Mode Error*" (Erro de modo). Ele ocorre quando há incorreta compreensão de como a automação deveria agir ou do seu real estado (CHOW *et al*., 2014). De acordo com Nadine Sarter, uma especialista em fatores humanos da Universidade de Michigan, trata-se do tipo mais comum de erro atribuído aos pilotos de aeronaves.

3. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE TRAÇÃO DAS AERONAVES

Esse Capítulo versa sobre os elementos que compõem o regulamento de treinamento de pilotos no País e, em seguida, apresenta e compara os sistemas responsáveis pelo gerenciamento de tração das aeronaves ATR72-600, Embraer 195 e Airbus A320. Tais aeronaves são majoritariamente responsáveis pela frota destinada a voos domésticos no Brasil.

3.1 Arquiteturas dos Sistemas de Gerenciamento de Tração

As respectivas arquiteturas de gerenciamento de tração são denominadas da seguinte forma:

- Embraer 195: Autothrottle (A/T);
- Airbus 320: Autothrust (A/THR);• ATR72-600: não possui;

Como cada fabricante adota sua nomenclatura própria para cada sistema embarcado na aeronave, este texto trata essas arquiteturas genericamente de TMS (Thrust Management System – Sistema de Gerenciamento de Tração).

O TMS controla a tração e, por consequência, a velocidade desenvolvida pela aeronave desde o momento da decolagem até o pouso. Ao ligar esse sistema, o piloto ativa a função que ajusta automaticamente a tração necessária a fim de manter a velocidade estabelecida no painel da cabine de comando.

Esse sistema auxilia na redução da carga de trabalho dos pilotos em momentos como manutenção de velocidade em situações de turbulência e de restrições de velocidade em espaços aéreos controlados inseridas na programação do computador de voo. O TMS permite esse controle de redução lenta e gradual de empuxo a fim de manter a velocidade constante. As variações de temperatura durante subidas e descidas também são levadas em consideração a fim de manter o parâmetro de velocidade constante e otimizar o consumo de combustível. A seguir, são apresentadas as especificidades de TMS de cada fabricante sob análise nesse trabalho.

3.2 ATR72-600

O gerenciamento de tração dessa aeronave é composto pela posição das manetes de tração (*power levers*), manetes de controle de hélice (*condition levers*) e pelo *knob* PWR MGT (*Power Management*) conforme indicado na Figura 1.

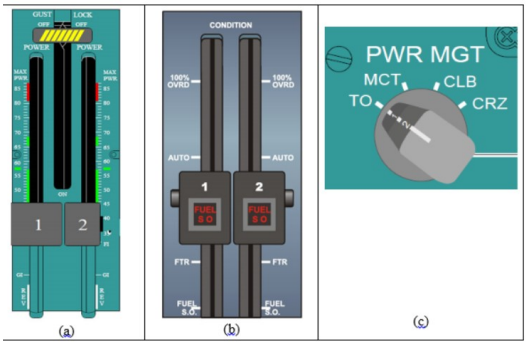


Figura 1 – Elementos de controle de tração ATR72-600 (ATR AIRCRAFT, 2020).

A aeronave ATR72-600 é um turboélice equipado com dois motores Pratt & Whitney PW127 M/N certificados para 2750 SHP (*shaft horsepower*) e hélices hexapás modelos Hamilton 568F.

Uma vez que essa aeronave não dispõe de sistema de gerenciamento automático de tração, tal controle é exercido pela combinação de configuração desses três dispositivos. Durante uma operação normal de voo, as manetes de potência (Figura 1a) ficam ajustadas dentro da faixa verde, as *condition levers* (Figura 1b) ficam na posição AUTO e o knob PWR MGT (Figura 1c), a depender do regime de voo, fica ajustado em uma das seguintes posições (ATR AIRCRAFT, 2020):

• TO: para decolagens até a altitude de aceleração (normalmente entre 400 e 1000 pés acima da altitude do aeroporto);

• MCT (Maximum continuous thrust): em situações de anormalidade de potência conforme o *checklist* apropriado definir;

• CLB (Climb): para uma subida normal após a altitude de aceleração; e

• CRZ (Cruise): para voo em cruzeiro.

Quando o piloto ajusta a velocidade desejada, o piloto automático ajusta a atitude de voo (nariz para cima ou nariz para baixo) por meio da alteração da posição da superfície de comando profundor. Caso a aeronave fique com velocidade abaixo do desejado, o piloto deve aumentar manualmente a tração avançando as manetes. Caso a aeronave fique com velocidade acima do programado, o piloto recua as manetes de tração. Logo, trata-se de um ajuste completamente manual.

3.3 EMBRAER 195

O Embraer 195 é um jato bimotor utilizado para transporte de passageiros e carga equipado com motores General Electric CF34-10E.

O seu TMS tem conexão com o Flight Guidance Control System (FGCS) a fim de controlar velocidade e tração desenvolvida pelo grupo motopropulsor. O TMS ajuda a reduzir consumo de combustível e aumenta a vida útil do motor limitando tração, velocidade e temperaturas requeridas para cada fase específica de voo. Tal sistema possui as seguintes subfunções:

• Autothrottle (A/T);

• Thrust rating system (TRS); e

• Thrust lever angle (TLA) trim.

O TMS move as manetes de potência a fim de manter a velocidade ou potência desejada de acordo com o modo apropriado (EMBRAER, 2021).

A Figura 2 ilustra as manetes de tração (3a) com seus respectivos *detents* e o seletor do A/T (3b). O TMS é armado antes da decolagem e ativa-se quando o *pilot flying* (PF) avança as manetes de tração para decolagem. Nesse momento, o sistema completa a aceleração até a posição TO/GA levando a aeronave até a tração configurada para decolagem. As manetes permanecem nessa posição até a conclusão da subida e início da fase de cruzeiro.

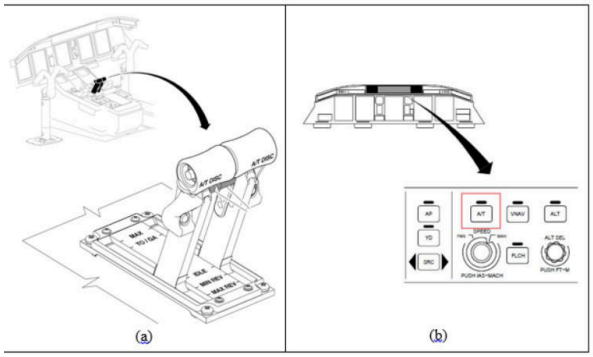


Figura 2 – Elementos de controle de tração Embraer 195 (EMBRAER, 2021).

A partir dessa fase, qualquer alteração de velocidade executada pelo PF no computador de voo ou painel central de comando do piloto automático ocasiona mudança de posição das manetes automaticamente com o sistema ligado.

O TMS é armado antes da decolagem e ativa-se quando o PF avança as manetes de tração para decolagem. Nesse momento, o sistema completa a aceleração até a posição TO/GA levando a aeronave até a tração configurada para decolagem.

As manetes permanecem nessa posição até a conclusão da subida e início da fase de cruzeiro. A partir dessa fase, qualquer alteração de velocidade executada pelo PF no computador de voo ou painel central de comando do piloto automático ocasiona mudança de posição das manetes automaticamente com o sistema ligado.

3.4 AIRBUS A320 NEO

O Airbus A320 NEO é um jato birreator utilizado para transporte de passageiros e carga equipado com motores CFM-LEAP-1A.

Seu TMS é chamado pelo fabricante de *Autothrust* (A/THR), diferentemente das linhas Embraer e Boeing (*Autothrottle*) cujos sistemas possuem manetes que se movem de acordo com a tração desenvolvida pelos motores. Neste fabricante, o TMS mantém as manetes na mesma posição (CL) independentemente da aeronave aumentar ou diminuir a tração a partir da fase de decolagem até o pouso.

De acordo com o manual da fabricante AZUL LINHAS AÉREAS (2022), o TMS pode estar nas condições: armado, ativado, ou desconectado. Quando ativado, dois modos ficam disponíveis:

• SPEED/MACH: o TMS ajusta continuamente a tração a fim de manter a

velocidade configurada pelos pilotos nos instrumentos de bordo; e

• THRUST: o TMS mantém tração fixa.

A Figura 3 apresenta o painel de seleção de proa, modo de descida, velocidade e altitude localizado no controle central da cabine de comando da aeronave denominado FCU (Flight Control Unit).

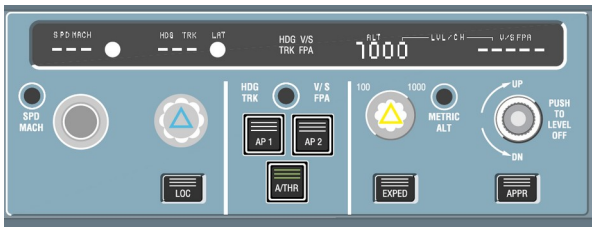


Figura 3 – Flight Control Unit do A320 (AZUL LINHAS AÉREAS, 2022).

Os modos de TMS são automaticamente conectados com os modos verticais de piloto automático (AP) e diretor de voo (FD). Quando o modo vertical de AP/FD controla trajetória (captura de altitude, manutenção de altitude, velocidade vertical constante, *Glide Slope*), o TMS está em modo SPEED/MACH. Contudo, quando o modo vertical AP/FD controla a atitude da aeronave para manter uma velocidade pré-ajustada (subida/descida, por exemplos), o TMS está em THRUST.

No momento que o TMS estiver armado, os FADECs calculam os comandos de tração de acordo com a posição das manetes de potência e as configurações de desempenho do computador de voo na página de performance de decolagem. Quando o TMS estiver desconectado, os FADECs alculam os comandos de tração de acordo com a posição da manetes de potência. A Figura 4 apresenta o grupo de manetes de tração e seus respectivos comandos.

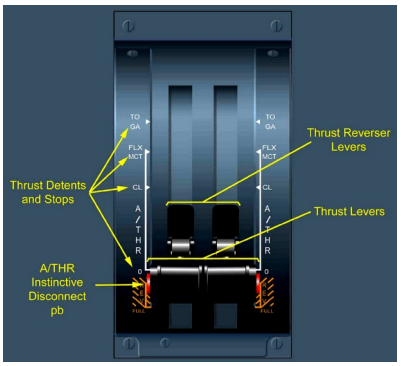


Figura 4 – Manetes de Tração do A320 (AZUL LINHAS AÉREAS, 2022).

Uma vez que o TMS estiver ativo, o ajuste de tração é enviado para os FADECs (Full Authority Digital Engine Control) – computadores que ajustam a tração desejada levando em conta o *status* da aeronave (peso e balanceamento) e do ambiente (temperatura e pressão do ar externo). Por sua vez, os sinais de comando de variação de tração são enviados do FADEC para os motores.

As manetes possuem dois botões de desconecção e quatro *detents*, a saber:

• IDLE: para marcha lenta no solo e no pouso antes da aplicação de reversor;

• CL (Climb): para subida em rota, cruzeiro, descida e aproximação;

• FLX-MCT: para decolagem com redução de tração e para operação contínua em situação monomotor;

• TO/GA: para decolagem com máxima potência disponível e arremetida.

Os pilotos usam as manetes para:

• Armar, ativar ou desconectar o TMS;

• Ativar os modos de decolagem e arremetida (TO/GA);

• Controlar manualmente a tração de cada motor quando TMS estiver desconectado; e

• Ativar o reversor de empuxo.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente trabalho trata-se de um estudo qualitativo, etnográfico, com aplicação exploratória por meio de pesquisa documental a partir de normativos aeronáuticos emitidos por órgãos oficiais, dos manuais das aeronaves envolvidas (ATR72-600, Embraer 195 e AIRBUS A320), artigos acadêmicos, livros e levantamento de dados por meio de entrevista semiestruturada submetida a instrutores e pilotos brasileiros de linha aérea. A Figura 5 apresenta o escopo metodológico.

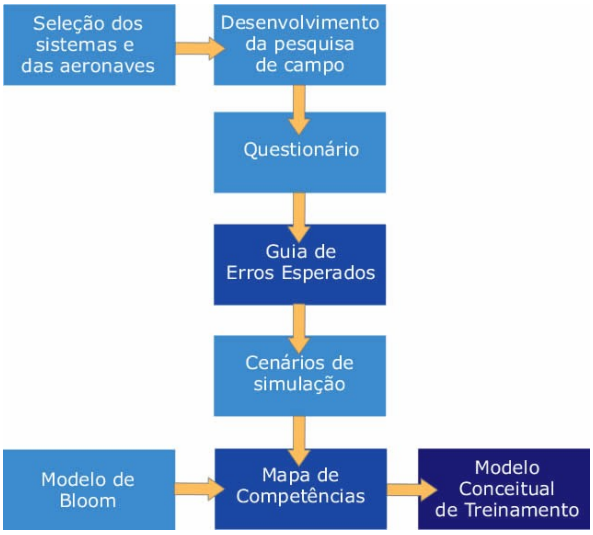


Figura 5 – Estrutura da Metodologia.

Foram selecionadas as aeronaves ATR72, Embraer 195 e A320 devido à

familiaridade com essas aeronaves. O sistema escolhido foi o Gerenciamento de Tração, visto que cada fabricante possui suas particularidades quanto a esse aspecto.

O desenvolvimento da pesquisa de campo é resultado da pesquisa bibliográfica quanto aos fatores relacionados a confusão gerada pela automação como visto no tópico 2. Posteriormente, foram entrevistados instrutores de voo a fim de investigar tópicos a serem incluídos no questionário para identificar as situações típicas de confusão de cada transição de equipamento.

As informações colhidas pelo questionário deram origem ao Guia de Erros Esperados (uma relação dos principais equívocos dos pilotos em treinamento). Esse guia tem aplicação nos cenários de simulação a fim de contemplar as circunstâncias de confusão no âmbito das manobras previstas.

O Modelo de Bloom, conforme a FAA (2020), foi utilizado para atribuir graus de domínio de cada competência, ou seja, cada situação passível de confusão.

A combinação do modelo com a relação dos erros mais comuns dá origem ao Mapa de Competências que, junto com o Guia de Erros Esperados, constituem o **Modelo Conceitual de Treinamento**, produto final desse artigo.

4.1 Regulamentação e Treinamento

O treinamento de pilotos de empresas de linha aérea é regido pelo Regulamento de Aviação Civil 121 (ANAC, 2021). A Agência Nacional de Aviação Civil estabelece requisitos mínimos de treinamento e capacitação dos tripulantes técnicos, mas permite que cada companhia estabeleça seu programa de treinamento, que passa por um processo de aprovação por parte da agência.

O Programa de Treinamento aprovado possui a relação dos exercícios e sistemas da aeronave que fazem parte da instrução e avaliação dos pilotos. No entanto, esse documento não define o roteiro de aplicação de cada manobra. Tal especificação faz parte do Guia de Instrução onde os exercícios são organizados em uma linha temporal para servir de referência ao piloto-instrutor que aplica a sessão de treinamento.

Antes do início de cada sessão de treinamento, é realizado um *briefing* de uma hora e meia de duração em uma sala de aula com a finalidade de apresentar os conteúdos a serem ministrados de acordo com o Programa de Treinamento específico para determinada sessão e esclarecimento de dúvidas quanto à aplicação de procedimento e compreensão de sistemas da aeronave.

Na sequência, pilotos e instrutor seguem ao simulador e, assim, inicia-se a sessão. Durante o *briefing*, o instrutor pode apenas apresentar as manobras a serem executadas conforme preconizado no Programa de Treinamento ou, adicionalmente, investigar as dúvidas dos alunos. No entanto, não existe uma diretriz a fim de considerar o *background* que cada piloto traz consigo. O mesmo programa é aplicado a todos, onde se espera que, apesar das nuances dos dados de entrada, obtenha-se a mesma saída: pilotos capacitados na aeronave.

4.2 Pesquisa de Campo com Pilotos

Com o intuito de levantar dados, foi realizada uma pesquisa em campo com pilotos por meio de entrevista semiestruturada. Com base nos resultados obtidos com a pesquisa serão selecionados os principais erros que envolvem automatismo em transição de equipamentos

No primeiro momento, o questionário-piloto foi desenvolvido e validado com cinco especialistas do setor de treinamento, que contribuíram para ajustes nas questões e possíveis respostas destacando erros comuns, fatores organizacionais e sugerindo que os respondentes compartilhassem experiências em que houve algum evento envolvendo confusão e automatismo. Em seguida, o questionário foi aplicado ao público de interesse.

As entrevistas foram compostas por questões abertas e de múltipla escolha, a fim de facilitar a reflexão dos entrevistados quanto às suas experiências, realizada no período de outubro a dezembro de 2022 por meio do recurso *Google Forms* a fim de ampliar o alcance das respostas. Objetivou-se identificar em que circunstâncias de voo a diferente filosofia de automação aplicada pode gerar dúvida na operação por parte dos pilotos e identificar as vulnerabilidades advindas da transição de aeronaves.

Para cada entrevistado, houve um alinhamento do entendimento das questões, contextualização da pesquisa de cunho acadêmico e solicitação do uso das informações pessoais com total sigilo e confidencialidade. Assim, os entrevistados contribuíram com a pesquisa de forma anônima e voluntária. Importante ressaltar

também que foi possível obter a opinião de todos por meio de encontro pessoal e/ou comunicação via telefone móvel. Adicionalmente, foram entrevistados sete instrutores de voo e simulador. Durante as entrevistas, procurou-se identificar as causas de confusão ou de difícil interpretação do piloto ao lidar com uma filosofia de tecnologia diferente da qual o mesmo estava habituado em aeronave voada anteriormente e quais manobras estão mais sujeitas a possíveis interpretações errôneas.

Observando-se o modelo de treinamento vigente (ANAC, 2021), verificou-se que a experiência prévia do piloto na aeronave anterior não faz parte do processo de transição de equipamentos. Três elementos foram adicionados ao processo de regulamentação e treinamento de pilotos com a finalidade de propor melhoria durante a instrução na nova aeronave: Avaliação de *Background* do Piloto, Guia de Erros Esperados e o Mapa de Competências.

Para a Avaliação do *Background* do Piloto, o instrutor interroga seu aluno a fim de conhecer a aeronave pregressa durante o *briefing*. Com essa informação, o instrutor determina qual Guia de Erros Esperados será utilizado, baseado na última transição de equipamentos realizada por seu aluno. Esse guia serve de referência durante a simulação para submeter o piloto às manobras mais passíveis de confusão considerando a aeronave atual e a anterior.

4.3 Competências x Modelo de Bloom

O Mapa de Competências é uma ficha de avaliação com graus de cumprimento de cada tarefa seguindo o modelo de taxonomia do domínio cognitivo de Bloom (FAA, 2020).

O Modelo de Bloom que permite a apreciação dos seis níveis de domínio cognitivo: conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação, nesta ordem. O preenchimento do Mapa de Competências no *debriefing*, gera os Graus de Competências que retroalimentam o Guia de Erros Esperados. Uma vez preenchido, retroalimenta a Avaliação de *Background* e o Guia de Erros Esperados. O questionário tem como função definir a primeira relação de erros esperados.

O instrutor que julgar que todas os graus de competências de determinado exercício foram satisfatórios preenche o Mapa de Competências conforme a Figura 6.

Caso o instrutor entenda que algum grau de competência mereça ressalva, deve assinalar o respectivo campo com um "X" e preencher a ficha de *debriefing* com comentário pertinente, conforme exemplificado a seguir, Figura 6.

Comentário do instrutor: "*Aluno demonstrou durante o briefing conhecer onde selecionar o modo de descida a fim de interceptar a rampa. Porém, durante a execução, confundiu as ações puxar e pressionar o seletor de modo de descida no painel.*"

A observação do instrutor quanto à Aplicação (terceiro elemento do Modelo de Bloom) subentende-se que o primeiro e segundo grau foram atingidos com sucesso. Porém, o terceiro merece ressalva. Consequentemente, os graus Análise, Síntese e Avaliação são considerados ainda com ressalvas.

Caso o instrutor observe alguma situação em que o piloto tenha demonstrado confusão, tal fato será registrado no *debriefing*, sugerindo-se sua incorporação em uma nova versão de Mapa de Competências caso tenha sido considerado um erro comum na avaliação do grupo de instrutores – conforme a Figura 6 (tabelas compiladas).

	Graus de Competências					
Exercícios (Fonte: questionário)	CN	CP	AP	AN	SI	AV
Interceptação da Rampa por cima						
Mudanças de Modo vertical na aproximação final						
Reação a surpresa de automatismo ou alteração inadvertida no FMA						

Tabela 2 – Mapa de Competências.

	Graus de Competências					
Exercícios (Fonte: questionário)	CN	CP	AP	AN	SI	AV
Mudanças de Modo vertical na aproximação final	-	-	-	-	-	-

Tabela 3 – Exemplo de Mapa de Competências preenchido com todos os itens satisfatórios.

	Graus de Competências					
Exercícios (Fonte: questionário)	CN	CP	AP	AN	SI	AV
Mudanças de Modo vertical na aproximação final	-	-	X	-	-	-

Tabela 4 – Exemplo de Mapa de Competências preenchido com um item em observação.

Figura 6 – Graus Análise, Síntese e Avaliação.

Identificando-as, a proposta é apresentar uma inclusão no programa de treinamento das aeronaves com as circunstâncias de confusão elencadas, levando-se em conta a experiência prévia do piloto.

Propõe-se a adequação nas manobras de treinamento para que o piloto se defronte no simulador com tais situações, elevando sua atenção para confusões futuras e reduzindo a possibilidade de ocorrências em voo real.

5. RESULTADOS

Este tópico apresenta os resultados da pesquisa bibliográfica, comparação dos sistemas de gerenciamento de tração, resultados da pesquisa de campo e proposição de um modelo conceitual de treinamento.

5.1 Análise Descritiva

A partir das respostas colhidas do questionário aplicado aos pilotos que efetuaram alguma das transições de equipamentos em foco, é possível observar as seguintes informações parciais: foram 17 respondentes, sendo sete instrutores, quatro comandantes e seis copilotos.

Considerando a experiência de voo do grupo de pilotos, 30% relataram que possuíam entre 2001 e 4000, 30% entre 4001 e 6000 e 40% entre 6001 e 8000 horas de voo. A Figura 7 ilustra a experiência em horas de voo totais declarada pelos respondentes.

Ao serem perguntados quanto a quantidade de horas de voo na aeronave anterior a atual, 40% responderam até 2000 horas, 20% entre 2001 e 4000, 20% entre 4001 e 6000 e 20% entre 6001 e 8000 horas de voo. A Figura 8 ilustra a experiência em horas de voo declarada pelos respondentes na aeronave anterior a atual.

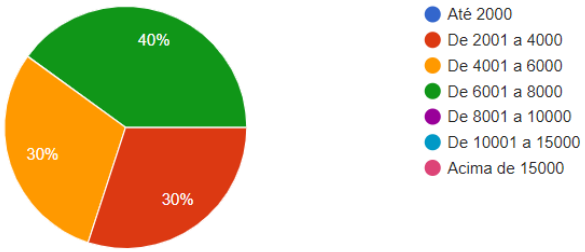


Figura 7 – Experiência em horas de voo.

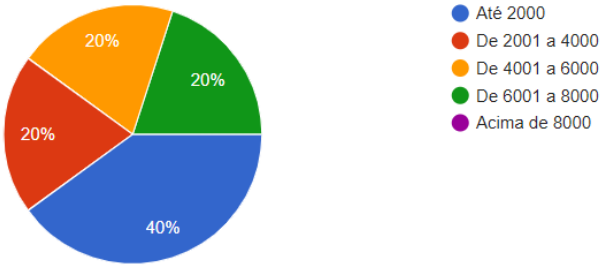


Figura 8 – Hora de voo: aeronave anterior à atual.

Dentro do universo de aeronaves voadas anteriormente por esses pilotos se encontram: A320 (cinco pilotos), ATR72 (dois pilotos), B-737 NG (um piloto) e Embraer (seis pilotos). A Figura 9 apresenta o tipo da aeronave voada anterior a atual.

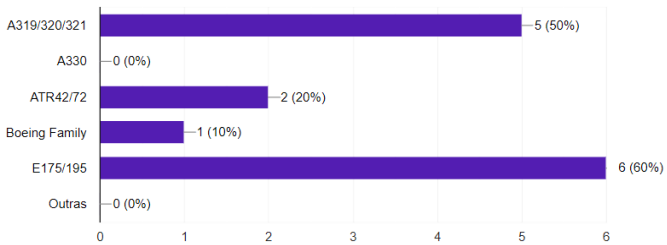


Figura 9 – Aeronave voada anterior a atual.

Das seis transições de equipamentos estudadas, 60% foram do Embraer 195 para o A320, 30% do A320 para ATR72 e 10% do A320 para Embraer. As demais transições possíveis não foram encontradas até esta fase de pesquisa. A Figura 10 apresenta a distribuição da última transição de equipamento dos pilotos respondentes.

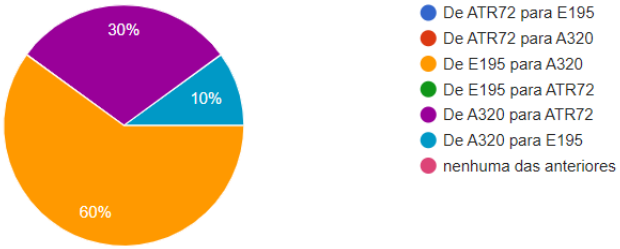


Figura 10 – Última transição de equipamento.

Dentre as situações passíveis de gerar confusão, as respostas mais frequentes foram, respectivamente, "**Interpretação dos modos apresentados no FMA da aeronave**" (10 respostas), "**sequência de ações durante a arremetida**" (11 respostas) e "**gerenciamento da navegação vertical**" (10 respostas).

Outras situações mencionadas como geradoras de confusão foram: (1) ergonomia, (2) memória muscular, pois alguns comandos de *cockpit* são semelhantes entre os diferentes modelos de aeronaves, mas não idênticos, (3) informações divergentes nos manuais da empresa, e (4) pequena diferença na ordem de cumprimento de alguns procedimentos.

Especificamente em relação a essa última situação, ressalta-se, como exemplo, que o comando de trem de pouso é efetuado após a configuração de Flape 3 no E195, sendo que no Airbus ocorre após a seleção de Flape 2. Isso faz com que o piloto que atua nos comandos se confunda com o correto momento de solicitar o trem de pouso para o piloto que monitora).

Os respondentes foram questionados quanto a sua percepção de aprofundamento do assunto automatismo durante o último curso de transição de equipamentos. 10% dos pilotos declararam estar muito satisfeitos, 60% dos pilotos declararam estar satisfeitos, 20% indiferentes e 10% insatisfeitos. Quanto a esse tópico, os instrutores foram convidados a avaliar se o conhecimento de automatismo era deficiente, razoável, bom ou muito bom. 25 % dos instrutores responderam razoável e 75% consideraram que o conhecimento do automatismo de seus alunos foram bons.

A Figura 11 ilustra o nível de satisfação do piloto quanto ao aprofundamento do tópico **automatismo** durante o treinamento de transição de equipamentos. A Figura 12 apresenta a avaliação dos instrutores quanto ao domínio do automatismo dos seus alunos.

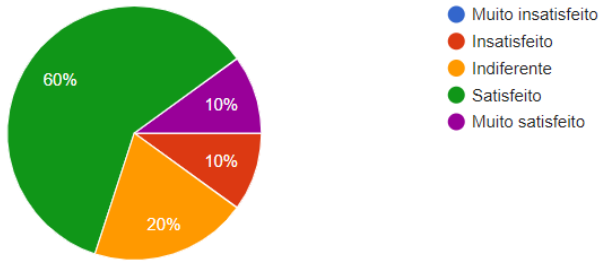


Figura 11 – Nível de satisfação quanto ao aprofundamento do tópico automatismo.

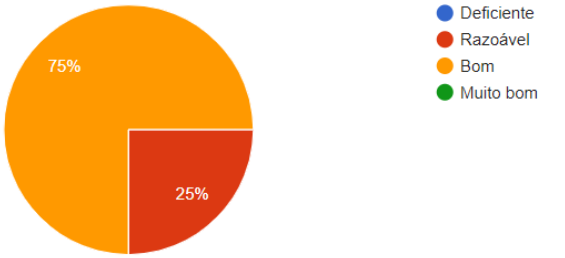


Figura 12 – Avaliação dos instrutores quanto ao domínio de automatismo por parte dos alunos.

Foi pedido para que os respondentes citassem pelo menos um episódio em que o automatismo da aeronave lhe gerou confusão e como a situação foi gerenciada. Dentre as respostas mais frequentes, observou-se que os momentos mais propícios para ocorrer confusões foram durante arremetida e aproximação para pouso. No primeiro caso, foi destacado o modo de *Autothrust* do A320 chamado TOGA LK que "congela" a configuração de potência desenvolvida pelo grupo motopropulsor durante a arremetida e necessita que o piloto pressione o *push buttom* A/THR DISCONNECT para recuperar o controle das manetes de tração. Esse tipo de função não está disponível no E195, tampouco no ATR72.

Outro reporte que gera confusão para pilotos egressos do A320 para o E195 é a diferença de quantidade de comandos no console central (*glareshield*) que atuam sobre a navegação vertical da aeronave.

Um piloto entrevistado reportou que dada a quantidade de comandos de acionamento de modos de navegação vertical no Embraer, a escolha pelo modo desejado se torna mais complexa e que a presença de um comando centralizador de modos de navegação vertical, como no Airbus, tornam a operação mais simples e portanto, com menor chance de confusão entre os modos de tração.

A solução apresentada para lidar com o acionamento indesejado de um modo de descida ou subida foi o desligamento do piloto automático e reacionamento subsequente. Em um evento relatado por um piloto advindo do Embraer durante sua instrução no Airbus, a confusão ocorreu em função de uma vetoração do controle de aproximação do aeroporto. A aeronave estava configurada em "*Approach Phase*", o que significa que as velocidades a serem seguidas pelo sistema de piloto automático e TMS seriam definidas pelo FMS de acordo com o flape selecionado. Após o cancelamento da autorização de aproximação por parte do controle de tráfego aéreo, o piloto em instrução cancelou o modo "*Approach Phase*" definindo uma nova altitude a ser mantida.

Tal fato no Airbus causa aceleração da aeronave diferentemente do que ocorre no Embraer (a aeronave pregressa desse piloto). Neste episódio, evidencia-se que o piloto estava esperando que a aeronave do seu voo de instrução em rota (A320) tivesse o mesmo comportamento da aeronave anterior (E195) que não possuía mudança de velocidade em fase de aproximação alterada pelo fato de descontinuar a aproximação. Quando convidado a sugerir uma forma de mitigar essa confusão, o piloto apontou que um cenário semelhante em fase de simulador poderia contribuir para melhor compressão do modo "*Approach Phase*" e das possibilidades de seu uso em voo real.

Os instrutores entrevistados reportaram algumas situações não citadas pelos alunos. A saber, no caso específico do ATR, o esquecimento de avançar as manetes de potência para configurar a retomada de uma subida a partir de um voo nivelado. Esse episódio se deve ao fato de que ao comandar a subida em uma aeronave com gerenciamento automático de tração, as manetes avançam sem intervenção mecânica do piloto (autothrottle do E195) ou a potência é aumentada sem mudança de posição das manetes (autothrust do A320).

Já os pilotos que migram do ATR para as outras aeronaves, por vezes, esquecem de recolher o freio aerodinâmico após o término de uma descida com posterior nivelamento, a saber, muito provavelmente, pela inexistência desse recurso no turboélice.

Uma situação relatada com mais detalhes por um instrutor de ATR evidenciou

o seguinte fato: “Aluno realiza a entrada em espera, reduzindo as manetes de potên*cia para alcançar a velocidade correta. Como geralmente o aluno está preparando a aeronave para pouso, é comum esquecer o monitoramento da velocidade, às vezes levando até o pré stall.”*

O esquecimento das manetes em determinada posição remete à complacência gerada pelo automatismo dos sistemas automáticos de gerenciamento de tração das aeronaves.

O instrutor em questão apresenta como sugestão de mitigação desse evento, o conhecimento do piloto aluno das posições intermediárias do curso das manetes de potência como parâmetro para configurar a aeronave mais facilmente em diversas situações. Os pilotos também foram incentivados a apresentar sugestões. Um dos respondentes sugeriu uma sessão específica em que o instrutor cria situações de confusão entre pilotos por meio de autorizações de mudança de nível e rumo. Assim, é possível verificar a adequada distribuição de tarefas no *cockpit* entre pilotos.

Para o piloto de ATR, a ausência de TMS é o fator que mais contribui para a confusão de modo em função do aumento da carga de trabalho.

Para pilotos de E195 advindos de A320, foi destacado a maior carga de trabalho no acompanhamento das manetes durante a atuação do A/T. Especialmente no caso do E195 Geração 2 (E2), foi evidenciado diferença de sensibilidade de comandos quanto ao *feedback* de *inputs* de *pitch* em situações de saturação de comandos.

A partir da análise das informações dos respondentes do questionário, foi possível sintetizar a percepção do grupo de instrutores e pilotos em transição (alunos) em um Mapa de Respostas na Tabela 1.

Os instrutores acreditam que a continuidade da prática reduz a probabilidade de eventos de confusão por parte de seus alunos. Adicionalmente, é pertinente destacar que apenas instrutores mencionaram a importância da avaliação das consequências de alguma situação anormal e esquecimento do correto posicionamento das manetes de potência. Isso sugere que os pilotos em transição não se atentaram para tais situações.

Elementos citados que contribuem negativamente para aprendizado	Número de menções	
	Instrutores	Pilotos em Transição
Fadiga/Escala de voo/escala de trabalho	3	6
Filosofia do fabricante da nova aeronave	2	6
Quantidade de horas de treinamento insuficiente (em simulador ou rota)	2	3
Material disponibilizado para treinamento insuficiente	1	1
Intervalo curto entre sessões de treinamento em simulador	3	3
Intervalo longo entre sessões de treinamento em simulador	3	2
Gerenciamento de navegação vertical	4	6
Gerenciamento de energia da aeronave	4	5
Interpretação dos modos apresentados no FMA da aeronave	3	7
Identificação das posições (*detents*) das manetes de potência	1	4
Sequência de ações no *cockpit* durante arremetida	5	6
Gerenciamento de situações de alguma pane e suas consequências	2	0
Esquecimento de usar manete de potência em momento apropriado	5	0

Tabela 1 – Mapa de Respostas.

5.2 Proposta de Modelo de Treinamento

A Figura 11 sintetiza os novos elementos a serem desenvolvidos no presente trabalho e inseridos no Processo de Regulação e Treinamento de Pilotos, com vistas ao desenvolvimento do Modelo Conceitual de Treinamento proposto.



Figura 11 – Modelo Conceitual de Treinamento.

Conforme ilustrado, a investigação por parte do instrutor da aeronave pregressa do aluno será levada em consideração a fim de destacar as situações mais propícias de confusão para ele. Com isso, o instrutor inicia o *briefing* questionando qual foi a última aeronave voada pelo seu aluno a fim de buscar as melhores associações para a aeronave em treinamento. Isso pode tornar a transição mais amigável e destacar quais

pontos devem ser reaprendidos e esquecidos da aeronave anterior.

O próximo passo é a aplicação durante a sessão do Guia de Erros Esperados, que tem como fonte as informações colhidas nos questionários (aplicados a instrutores e alunos em transição). Por fim, o Mapa de Competências é uma ficha de avaliação com graus de cumprimento de cada tarefa seguindo o modelo taxonômico de domínio cognitivo de Bloom (FAA, 2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo objetivou atentar para as confusões apresentadas por pilotos de linha aérea. Os questionários foram respondidos por pilotos de uma mesma empresa aérea, o que torna os resultados e conclusões muito direcionados. Apesar da aeronave Boeing 737 representar uma quantidade significativa dentro da frota brasileira de aeronaves comerciais, tal modelo não faz parte da análise, pois o objeto desse estudo atende às questões dada a diferença entre os três fabricantes escolhidos podendo ser estendida a modelos de outras empresas. Por outro lado, o referido estudo poderá ser expandido para trabalhos futuros, com outros modelos de aeronaves, incluindo aviação geral e executiva.

Ao término da apreciação das respostas dos questionários, foi percebido que algumas perguntas devem ser mais enfáticas quanto ao automatismo em si. Por vezes, as respostas foram associadas a confusão de momento de comandar determinadas ações de *cockpit* dada a diferença entre cada modelo de aeronave. Um exemplo dessa situação foi o relato em que o piloto confundiu o momento correto de solicitar o trem de pouso.

REFERÊNCIAS

ANAC. RBAC 121. Agência Nacional de Aviação Civil. [S.l.]. 2021.

BANDEIRA, M. C. G. S. P.; CORREIA, A. R.; MARTINS, M. R. General model analysis of aeronautical accidents involving human and organizational factors. Journal of Air Transport Management, 69(C):137-146, 2018.

BILLINGS, Charles E. Human-centered aviation automation: Principles and guidelines. 1996.

BUTLER, Ricky W. et al. A formal methods approach to the analysis of mode confusion. In: 17th DASC. AIAA/IEEE/SAE. Digital Avionics Systems Conference. Proceedings (Cat. Nº. 98CH36267). IEEE, p. C41/1. 1998.

CALDWELL, J.A.. Fatigue in aviation. Travel Med. Infect. Dis. 3 (2), 85–96, 2005.

CHOW, Stephanie; YORTSOS, Stephen; MESHKATI, Najmedin. Asiana Airlines Flight 214: Investigating cockpit automation and culture issues in aviation safety. Aviation Psychology and Applied Human Factors, v. 4, n. 2, p. 113, 2014.

FAA. Aviation Instructor's Handbook. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. U. S. Department of Transportation, 2020.

GORMAN, M. K., HENDEL, E., MIKUTEL, D., HERRON, R. I., KANN, D. Learning from Asiana 214-Minimizing Strike/Rollover for Aircraft Rescue and Firefighting. International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, 5(5), 2018.

KHAROUFAH, H. et al. A review of human factors causations in commercial air transport accidents and incidents: From to 2000–2016. Progress in Aerospace Sciences, v. 99, p. 1-13, 2018.

LYU, H.; NANDIGANAHALLI, J. S.; HWANG, I. Automation intent inference using the GFHMM for flight deck mode confusion detection. Journal of Aerospace Information Systems, v. 15, n. 3, p. 172-177, 2018.

MARTINUSSEN, M.; HUNTER, D. R. Aviation psychology and human factors. CRC Press, p. 277-312, 2017.

MOULOUA, M.; HANCOCK, P.; JONES, L.; VICENZI, D. Automation in Aviation Systems: Issues and Considerations. In: WISE, J. A.; HOPKIN, V. D.; GARLAND, D. J. Handbook of Aviation Human Factors. 2ª. ed. Boca Raton: CRC Press, Cap. 8, p. 1-8, 2010.

NTSB – National Transportation Safety Board. (2014, June 24). Descent below visual glidepath and impact with seawall – Asiana Airlines flight 214.

PARASURAMAN, R., Sheridan, T.; Wickens, C. A model for types and levels of human interaction with automation. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics–Part A: Systems and Humans, 30(3), 286–297, 2000.

REASON, James. Human error. Cambridge university press, 1990.

ROSE, A. M. “Acquisition and retention of skills,” in Application of Human Performance Models to System Design, G. McMillan, Ed. New York: Plenum, 1989.

SCERBO, M. W. Theoretical perspectives on adaptive automation. In R. Parasuraman; M. Mouloua (Eds.), Automation and human performance: Theory and applications (pp. 37–63). Mahwah, NJ: Erlbaum, 1996.

SILVA, S. S.; HANSMAN, R. J. Divergence between flight crew mental model and aircraft system state in auto-throttle mode confusion accident and incident cases. Journal of cognitive engineering and decision making, v. 9, n. 4, p. 312-328, 2015.

SMALL, A. Human factors analysis and classification system (HFACS): As applied to Asiana Airlines flight 214. Journal of Purdue Undergraduate Research, 10, 69–77, 2020.

TARNOWSKI, E.; SPEYER, J. J. Integrating Human Factors and Automation with Progress in Aircraft Design and Flight Management. Aviation Safety, p. 169-188, 2020.