



CEFET-MG

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

UNIDADE ARAXÁ

VINÍCIUS ANDRADE BORGES

**A INFLUÊNCIA DA AUTOMAÇÃO NA OPERAÇÃO DAS
AERONAVES COMERCIAIS**

ARAXÁ-MG

2017

VINÍCIUS ANDRADE BORGES

**A INFLUÊNCIA DA AUTOMAÇÃO NA OPERAÇÃO DAS
AERONAVES COMERCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Me. Luís Paulo Fagundes.

ARAXÁ-MG

2017



Serviço Público Federal
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL / ARAXÁ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – ATA DE DEFESA

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE
ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DO ALUNO VINÍCIUS ANDRADE BORGES

Às 19 horas do dia 04 de julho de 2017, reuniu-se, no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais / Unidade Araxá, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado **A influência da automação na operação das aeronaves comerciais**, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Engenheiro de Automação Industrial. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, *Prof. Me. Luis Paulo Fagundes*, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final.

Após a reunião da Banca Avaliadora, o candidato foi considerado Aprovado com nota final de: 99 / 100 (noventa e um pontos em cem pontos).

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. O aluno abaixo-assinado declara que o trabalho ora identificado é de sua autoria material e intelectual, excetuando-se eventuais elementos, tais como passagens de texto, citações, figuras e datas, desde que as mesmas identifiquem claramente a fonte original, explicitando as autorizações obtidas dos respectivos autores, quando necessárias. Declara ainda, neste âmbito, não estar violando direitos de terceiros.

VINÍCIUS ANDRADE BORGES - [Assinatura] - Araxá, 04 de julho de 2017.
Nome do Aluno Assinatura Local e Data

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou os trabalhos e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Araxá, 04 de julho de 2017.

[Assinatura]

Prof. Me. Luis Paulo Fagundes
Orientador

[Assinatura]

Profa. Ma. Renata Catciolari
Avaliadora

[Assinatura]
Prof. Dr. Alexandre Moraes de Oliveira

[Assinatura]

Prof. Dr. Wanderley Alves Parreira
Avaliador

DEDICO ESTE TRABALHO

À Deus que iluminou meu caminho durante esta caminhada.

Aos meus pais e irmã que desde o início do curso não mediram esforços para me apoiar.

À minha namorada que sempre esteve ao meu lado em momentos difíceis
dando-me total incentivo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cockpit de um DC3.....	16
Figura 2 - Cockpit de um A350.	16
Figura 3 - Diagrama básico de funcionamento de um piloto automático.....	17
Figura 4 - Posição dos manetes de potência do A320 em função da potência entregue aos motores.	19
Figura 5 - Diagrama básico de funcionamento de um sistema fly-by-wire de uma aeronave Airbus A320.	20
Figura 6 - Primary Flight Display (PFD).....	22
Figura 7 - Navigation Display (ND).....	22
Figura 8 - ECAM Engine/Warning and System Displays.	23
Figura 9 - Representação gráfica do modelo SHELL.....	30
Figura 10 - Visão geral das proteções oferecidas quando em Normal Law.	35
Figura 11 - Proteção de ângulo de curva (Bank Angle).....	36
Figura 12 - Manete de acionamento dos Flaps no A320 e suas respectivas posições.	36
Figura 13 - Definições das velocidades para a Proteção de Angulo de Ataque.	37
Figura 14 - Posição e numeração dos Spoilers nas asas de uma aeronave modelo A320.	38
Figura 15 - Cockpit de um Airbus A320 e seus Sidesticks em destaque.....	40
Figura 16 - Cockpit de um Boeing 737-800 e seus Manches (Yoke) em destaque.....	40
Figura 17 - Aeronave Airbus A320 envolvida no acidente (TAM 3054).....	41
Figura 18 - Parede quebra-mar onde ocorreu o primeiro impacto.....	44
Figura 19 - Situação da aeronave pós queda.....	44
Figura 20 - Aeronave Boeing 777 envolvida no acidente (Asiana 214).....	45
Figura 21 - Aeronave Airbus A330 envolvida no acidente (AF447).....	47

LISTA DE SIGLAS

ADF	Automatic Direction Finder (Localizador de Direção Automático)
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AOPA	Aircraft Owners and Pilots Association (Associação de Proprietários de Aeronaves e Pilotos)
A/P	Autopilot (Piloto Automático)
ATC	Air Traffic Control (Controle de Tráfego Aéreo)
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CRM	Corporate Resource Management (Gestão dos Recursos de Equipe)
DME	Distance Measuring Equipment (Equipamento de Medição de Distância)
ECAM	Electronic Centralised Aircraft Monitoring (Monitor Eletrônico Central da Aeronave)
EFB	Electronic Flight Bag (Documentação de Bordo em Formato Eletrônico)
EFIS	Electronic Flight Instrument System (Sistema Eletrônico de Instrumentos de Voo)
EGPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System (Sistema de Alerta Aprimorado de Proximidade com o Solo)
EICAS	Engine-indicating and Crew-alerting System (Sistema de Alerta e Indicação dos Motores aos Pilotos)
FAA	Federal Aviation Administration (Administração Federal de Aviação – Estados Unidos)
FADEC	Full Authority Digital Engine Control (Controle Eletrônico Digital de Plena Autoridade)
FBW	Fly-by-wire (Controle de Voo Eletrônico) (Computadores de Controle de Voo)
FD	Flight Director (Diretor de Voo)

FMS	Flight Management System (Sistema de Gerenciamento de Voo)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
GPWS	Ground Proximity Warning System (Sistema de Alerta de Proximidade com o Solo)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Organização da Aviação Civil Internacional)
INS	Inertial Navigation System (Sistema de Navegação por Inércia)
MFD	Multi-Function Display (Display Multifuncional)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica)
ND	Navigation Display (Display de Navegação)
NTSB	National Transportation Safety Board (Conselho Nacional de Segurança no Transporte – Estados Unidos)
PFD	Primary Flight Display (Display Primário de Navegação)
SOPs	Standard Operating Procedures (Procedimentos Operacionais Padronizados)
TAA	Technologically Advanced Aircraft (Aeronaves Tecnicamente Avançadas)
TAM	Táxi Aéreo Marília
TCAS	Traffic and Collision Avoidance System (Sistema de Aviso Anticolisão)
TOGA	Take-off/Go around (Decolar/Arremeter)
VMO/MMO	Maximum Operating Limit Speed (Velocidade Máxima Estrutural)
VOR	Very High Frequency Omnidirectional Range (Estação Transmissora de sinal VHF utilizada para navegação aérea)

RESUMO

Devido ao incessante desenvolvimento dos dispositivos eletroeletrônicos, todos os setores passaram por transformações significativas e o setor aeronáutico não ficou para trás. Os antigos instrumentos analógicos, que equipavam as aeronaves, foram gradualmente sendo substituídos por uma interface digital e automatizada que interligam os diversos sistemas de uma aeronave. Antes, todas as atividades realizadas na cabine de comando eram manuais e exigiam constante monitoramento por parte dos pilotos, ou seja, os pilotos lidavam com diversas tarefas ao mesmo tempo. Entretanto, devido ao crescente emprego da automação nas cabines de comando, o voo passou a ser mais um ato de gerenciamento de sistemas do que um processo manual, pois, agora, grande parte dos sistemas realizam suas tarefas automaticamente sem qualquer necessidade de intervenção humana. Isso de fato é interessante, pois reduz a carga de trabalho dos pilotos e aumenta a eficiência das operações aéreas. Contudo, essa tecnologia incorporada demanda novas competências para ser operada de maneira correta e segura e, por vezes, acaba degradando as habilidades dos pilotos em voar manualmente sem o auxílio dos computadores, isso acaba por diminuir a consciência situacional¹ durante situações anormais e de emergência. Por meio de uma análise geral dos principais sistemas automatizados que integram as aeronaves comerciais fabricadas pela *Airbus* e *Boeing* e através de estudos de caso de alguns acidentes aéreos recentes, busca-se compreender melhor a influência da automação na Segurança Operacional².

Palavras-chave: Aeronaves. Airbus. Automação. Boeing. Segurança Operacional.

¹Consciência situacional: capacidade de identificar, processar e compreender os elementos críticos que estão acontecendo ao redor.

²Segurança Operacional: estado no qual o risco de lesões às pessoas ou danos aos bens se reduz e se mantém em um nível aceitável, ou abaixo do mesmo, por meio de um processo contínuo de identificação de perigos e gerenciamento dos riscos (DOC 9859).

ABSTRACT

Due to the continual development of the electronic devices, all sectors have undergone significant transformations, and the aeronautical sector was no exception. The old analog instruments that used to equip aircraft were gradually replaced by a digital and automated interface that interconnects the various systems of an aircraft. Previously, all the activities performed in the cockpit were manual and required constant monitoring by the pilots, thereby requiring pilots to handle several tasks at the same time. However, due to the increasing use of automation in the cockpit, flight has become more a system management act than a manual process, since most systems now perform their tasks automatically without any need for human intervention. This is, in fact, interesting because it reduces the pilot's workloads and increases the efficiency of air operations. However, while this embedded technology requires new skills of the pilots to be operated correctly and safely, it also, conversely, sometimes leads to degraded ability of pilots to fly manually, without the assistance of computers. This, in turn, ultimately reduces situational awareness during abnormal and emergency situations. Through a general analysis of the main automated systems that integrate the commercial aircraft manufactured by Airbus and Boeing and through some studies of recent air accidents, it is possible to understand better the impact of automation on Operational Safety.

Keywords: Aircraft. Airbus. Automation. Boeing. Operational Safety.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Breve histórico da automação nas aeronaves comerciais.....	15
2.2 Sistemas automatizados	16
2.2.1 Autopilot (A/P).....	16
2.2.2 Autothrust/Autothrottle	18
2.2.3 Fly-by-wire (FBW).....	19
2.2.4 Glass Cockpit.....	22
2.3 O porquê e o que automatizar nas aeronaves comerciais	23
2.3.1 Aspectos fortes do homem	24
2.3.2 Deficiências do homem	24
2.4 A automação na aviação.....	25
2.4.1 Aspectos fortes da automação	28
2.4.2 Deficiências da automação	28
2.5 O modelo SHELL	29
2.6 Desafios no emprego da automação	33
2.7 Airbus x Boeing.....	34
3 ESTUDO DE CASO	41
3.1 TAM 3054	41
3.2 Asiana 214.....	44
3.3 Air France 447.....	47
4 CONCLUSÃO.....	52
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos 30 anos, a cabine de comando das aeronaves vem passando por grandes transformações, tal como o incessante aumento no uso de tecnologias responsáveis pelo gerenciamento e controle do voo (NTSB, 2010). Nas décadas de 1970 e 1980, os pilotos lançavam mão de equipamentos de navegação, tais como o *Very High Frequency Omnidirectional Range (VOR)*, o *Distance Measuring Equipment (DME)* e o *Automatic Direction Finder (ADF)* para se orientarem durante os voos. Por se tratar de dispositivos analógicos, exigiam constante monitoramento. Entretanto, com o surgimento de computadores e recursos eletrônicos atualmente disponíveis nas cabines de comando, voltados para elevar a segurança e eficiência, o voo passou a ser considerado mais um ato de gerenciamento de sistemas do que um processo manual (AOPA, 2007). Percebe-se, então, que houve notória diminuição na utilização das habilidades motoras e considerável aumento das habilidades cognitivas na realização de operações aéreas (HOLLNAGEL; WOODS, 2005). Em termos gerais, aeronaves com grande quantidade de instrumentos digitais e computacionais utilizados para gerenciar os diversos sistemas, bem como interagir com as diversas variáveis do tráfego aéreo, são denominadas *Technologically Advanced Aircraft (TAA)* (FAA, 2003). Toda essa avançada instrumentação na cabine de comando é apresentada na forma de telas digitais que facilitam a interação do piloto com os diversos sistemas da aeronave. Essas modernas cabines são conhecidas no meio aeronáutico como *glasscockpit*³. O conceito *glasscockpit* foi inicialmente testado em aeronaves modelo *Boeing 737*, na década de 1970, pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, cujo protótipo era altamente automatizado e constituído por *displays*⁴ integrados, visando a atenuação dos custos e maximização da segurança nas operações (NTSB, 2010).

Considerando a realidade em que este trabalho foi realizado, *Airbus* e *Boeing* despontam como as duas maiores fabricantes de *TAA* do mercado e ambas empregam avançados sistemas de automação. Porém a *Airbus* incorpora em sua lógica de controle, cálculos que previnem as aeronaves de operarem fora de limites estruturais e operacionais estabelecidos de fábrica para dado momento do voo, chamado também de envelope de proteção de voo (ICAO, 1998). A automação começou a ser empregada na aviação para, inicialmente, diminuir a frequência de erros humanos nas operações aéreas, bem como

³Glasscockpit: cabine de comando que apresenta instrumentos de voo digitais em vez do estilo tradicional de mostradores analógicos.

⁴Displays: dispositivo eletrônico de apresentação visual de dados.

facilitar as tarefas dos tripulantes, haja vista que 65% a 80% das ocorrências no transporte aéreo são atribuídos, em parte, ou totalmente, ao erro humano (BILLINGS, 1997). Desta forma, em face de consideráveis mudanças nas técnicas de pilotagem, o crescente uso da automação na aviação impacta diretamente na interação Homem/Meio/Máquina, uma vez que a maioria dos instrumentos analógicos são substituídos por instrumentos digitais, fator responsável pela modificação de operação sistêmica e por novas demandas de competência por parte dos pilotos. No cotidiano em voga, os pilotos precisam lidar com as técnicas de gerenciamento dos sistemas automatizados para colher diversas e precisas informações de dados obtidos pelos computadores das aeronaves em tempo real. Alguns sistemas exigem a presença e/ou intervenção constante de seus operadores, enquanto outros já são absolutamente independentes (BHANA, 2010).

A inserção da automação fundamenta-se no histórico de acidentes aeronáuticos ocorridos tanto no período da segunda guerra mundial - provocados, em sua grande maioria pela falta de consciência situacional ou por confusão mental oriunda do posicionamento dos instrumentos de voo - quanto na década de 1940, época de surgimento da aviação comercial, em função do acúmulo de funções e sistemas a serem monitorados e operados pelos tripulantes. Com o passar dos anos e o desenvolvimento tecnológico, foi possível, por intermédio da automação, diminuir a carga de trabalho e melhorar o gerenciamento dos recursos da cabine, para que a segurança das operações fosse satisfatória. Nesse quesito, dois fabricantes do mercado aeronáutico se destacam com seus aparelhos de transporte aéreo comercial de tecnologia de ponta, capazes de operações automatizadas, precisas e garantidoras da Segurança Operacional: *Airbus* e *Boeing*. A *Airbus* foi fundada na década de 1970 por iniciativa dos governos do Reino Unido, França e Alemanha. A empresa foi pioneira ao adotar o sistema *fly-by-wire*⁵ e o uso do *sidestick*⁶ (FIG. 15) em suas aeronaves modelo *A320*. Basicamente, o *fly-by-wire* é um sistema que substitui os controles de voo tradicionais de uma aeronave por uma interface eletrônica. Os movimentos dos controles de voo são convertidos em sinais eletrônicos que são transmitidos por fios até os *Flight Control Computers (FCCs)*, onde se determina o correto movimento dos atuadores em cada superfície de controle para fornecer uma resposta ordenada e adequada para determinada fase do voo. O sistema *fly-by-wire* também permite que os computadores da aeronave executem funções sem a intervenção direta do piloto, por exemplo, os sistemas que atuam automaticamente para

⁵Fly-by-wire: sistema computadorizado de voo acionado por sinais elétricos usado para controlar o voo de uma aeronave.

⁶Sidesticks: dispositivo em forma de joystick localizado na cabine de comando utilizado para controlar a aeronave em voo. O sidestick normalmente equipa as aeronaves de possuem o sistema fly-by-wire.

estabilizar a aeronave durante o voo e também sistemas que impedem a execução de operações e manobras que possam vir a comprometer os limites estruturais da aeronave. Na filosofia *Airbus* de automação, com exceção a empregada nos modelos *Airbus A300* e *A310*, todas as ações executadas pelos pilotos sobre os comandos da aeronave passam, primeiramente, por computadores em que são analisadas para se verificar a compatibilidade dessas ações sobre limites estruturais e aerodinâmicos pré-estabelecidos pela fabricante para cada etapa do voo e, só então, são repassados para os diversos sistemas da aeronave; Isto é, a *Airbus* emprega uma filosofia de automação em que os computadores tomam as decisões finais.

Do outro lado, encontra-se a fabricante *Boeing*, fundada em 1916 nos Estados Unidos, por *William E. Boeing*. Diferentemente da *Airbus*, a *Boeing* sempre utilizou sistemas mecânicos convencionais de controle de voo em suas aeronaves, porém tem também empregado parcialmente o sistema *fly-by-wire* em alguns de seus modelos, como por exemplo nas aeronaves *Boeing B777* e em modelos mais recentes, como no *Boeing B787 Dreamliner* e no *Boeing B747-8*. No entanto, ao contrário da *Airbus*, a *Boeing* possui uma filosofia de automação centrada na capacidade humana, ou seja, as decisões finais são tomadas pelos pilotos e auxiliadas por computadores. Tendo por base manuais, relatórios finais de acidentes, artigos e textos publicados por entendedores do meio aeronáutico, torna-se possível analisar o impacto geral do uso da automação e seus respectivos sistemas no tangente à Segurança Operacional.

A justificativa deste trabalho é reconhecer o impacto causado pela inserção da automação na aviação, bem como rever aspectos relevantes da interação Homem/Meio/Máquina e como isso reflete no aspecto da Segurança Operacional. No decorrer do trabalho, serão apresentados conceitos, definições e ferramentas da automação empregadas pelas fabricantes *Airbus* e *Boeing* em suas aeronaves comerciais de modo a explorar lacunas operacionais intrínsecas da automação existentes nesses conceitos bem como seus benefícios objetivando assim, elevar a Segurança Operacional. A pesquisa é fundamentada e possui como principais pilares estudos desenvolvidos por renomados autores vinculados ao ramo da aviação, revisão de manuais de aeronaves e relatórios finais de acidentes ocorridos nos últimos anos de grande relevância e que tiveram de alguma maneira ligação com o automatismo.

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é identificar os principais impactos causados pelo uso da automação no que tange a Segurança Operacional.

Para tanto, tem-se como objetivos específicos:

- Caracterizar a automação na aviação, sua história e evolução nas aeronaves comerciais;
- Identificar os principais sistemas automatizados embarcados nas aeronaves comerciais;
- Analisar os motivos de se empregar automação na aviação bem como rever os principais aspectos e desafios a cerca disso;
- Rever as diferenças das filosofias de automação entre *Airbus* e *Boeing*;
- Analisar relatórios finais de acidentes que tiveram grande repercussão no meio aeronáutico e que tiveram ligação direta com uso ou modos de operação da automação através de estudos de caso.

O relato desta pesquisa está estruturado da seguinte maneira:

Introdução: explanação geral da pesquisa e fundamentação do uso da automação na aviação;

Referencial Teórico: será abordado um breve histórico da automação nas aeronaves comerciais, apresentação dos principais sistemas automatizados embarcados, o porque e o que automatizar nas aeronaves comerciais, a automação na aviação de maneira geral, o modelo *SHELL*, os desafios no emprego da automação e por fim as diferenças operacionais entre aeronaves *Airbus* e *Boeing*;

Estudo de caso: foi feita a abordagem e análise de três acidentes de grande relevância e que tiveram de alguma maneira relação com o automatismo embarcado nas aeronaves. Os casos apresentados e analisados são os seguintes: *TAM 3054*, *ASIANA 214* e *AIR FRANCE 447*;

A partir das questões norteadoras da pesquisa, dos dados históricos, dos aspectos teórico-conceituais e dos resultados finais dos relatórios de acidentes abordados, é apresentada a conclusão enfatizando se os aspectos que possam ser aproveitados e debatidos em trabalhos futuros.

Importa reiterar que este trabalho visa contribuir para um melhor entendimento dos impactos da automação e a influencia que a mesma exerce sobre a operação das aeronaves comerciais de modo a maximizar a Segurança Operacional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Breve histórico da automação nas aeronaves comerciais

A aviação civil evoluiu consideravelmente nos últimos tempos. Na década de 1970, 500 milhões de passageiros por quilômetro foram transportados. Já na década de 1980, esse número dobrou e, na década de 1990, dobrou novamente, atingindo 2000 milhões de passageiros por quilômetro. Em paralelo, a demanda de carga aumentou em uma taxa média de 10% ao ano. Isso ampliou a taxa de tráfego aéreo e criou céus severamente movimentados (TARNOWSKI, 2002). Ao mesmo tempo, novas companhias aéreas nasciam e a escassez de pilotos forçara os operadores a empregar jovens cadetes, ao passo que aeronaves velhas tiveram que coexistir com tecnologias modernas. Esses fatores criaram riscos inéditos para a aviação comercial, porém os critérios da segurança de voo tornaram-se mais rigorosos. A eficiência do voo em todos os seus aspectos (custo de combustível, manutenção, tripulação, atrasos mínimos, etc.), tornou-se uma preocupação fundamental. Todos esses novos objetivos não poderiam ser satisfeitos em aeronaves antigas e desprovidas de equipamentos modernos. Diante disso, a disponibilidade de uma nova tecnologia para aeronaves comerciais contribuiu para que as fabricantes de aviões melhorassem o ambiente de trabalho dos pilotos na cabine de comando, de modo a proporcionar meios adequados para que eles pudessem cumprir o seu papel de forma efetiva e segura (TARNOWSKI, 2002). Os *cockpits* das aeronaves comerciais passaram por várias transformações no decorrer do tempo (FIG. 1 e 2). Atualmente, são constituídos por uma vasta quantidade de dispositivos automatizados que alteram o comportamento da tripulação durante o voo. Esse comportamento será adequadamente modificado se os pilotos mantiverem em mente que: a) A automação é um complemento para o homem; b) A automação melhora a segurança de voo e a eficiência; c) A automação é adaptada e ajustada para o homem; d) O homem tem de se adaptar à automação existente através de treinamento (TARNOWSKI, 2002).



Figura 1 - Cockpit de um DC3.
Fonte: FLICKR (2011).



Figura 2 - Cockpit de um A350.
Fonte: AIRLINERS.NET (2014).

2.2 Sistemas automatizados

O sistema automatizado das aeronaves tem por objetivo viabilizar uma operação mais segura e eficiente a fim de se reduzir a frequência de erros humanos ao automatizar tarefas antes realizadas pelos pilotos (BILLINGS, 1997). Toda automação embarcada nas aeronaves pode representar até 30% do seu custo total e devem possuir menor peso e maior resistência devido ao ambiente de operação, sujeito a variações constantes de pressão, temperatura, radiação solar e umidade. E também maior confiabilidade e segurança em seu funcionamento quando comparado a tecnologias empregadas em veículos terrestres, pois uma falha em voo impactaria diretamente na Segurança Operacional e prejuízos financeiros diversos (COLLINSION, 2011).

2.2.1 AUTOPILOT (A/P)

O piloto automático (em inglês: *Autopilot*) foi projetado tendo como objetivo prover aos pilotos descanso físico e mental durante voos com etapas de longa duração, permitindo assim, que eles possam focar em atividades em que a automação não pode intervir, como por exemplo, na comunicação bilateral com órgãos de Controle de Tráfego Aéreo (ATC) e no monitoramento das condições meteorológicas e acompanhamento do planejamento de voo (COLLINSON, 2011). Sistemas automáticos, como o piloto automático, trazem consigo diversos benefícios, como por exemplo, maximização da Segurança Operacional, redução no consumo de combustível e incremento na performance da aeronave mesmo quando em condições meteorológicas não favoráveis (COLLINSON, 2011). Porém é

importante ressaltar que esses sistemas em questão não devem ser deixados atuando por si só sem a devida supervisão do homem, haja vista que estão sujeitos a falhas (MAHER 2001).

Esse cenário envolvendo falhas seria raro de acontecer, porém não impossível. Se tais situações não existissem, não haveria assim a necessidade de pilotos (MAHER, 2001, p. 261).

O piloto automático detecta desvios na trajetória de voo e, dessa forma, aciona as superfícies de controle da aeronave a fim de se manter a trajetória de voo desejada (EISMIN, 2002, p. 392). Esse sistema pode ser bastante simples e incorporar somente mecanismos com a tarefa de manter a aeronave horizontalmente estável. Porém é possível encontrar sistemas de pilotos automáticos complexos instalados em aeronaves modernas, de modo que esses possibilitam não apenas manter a estabilidade horizontal, mas também possibilitam manter altitude, atitude e trajetória de voo, além de interagirem com os diversos outros sistemas de aeronave, como por exemplo, com o Sistema de Gerenciamento de Voo (*FMS*). O resultado dessa integração total entre os sistemas resulta em condições em que os controles de voo da aeronave respondem de maneira mais precisa e eficiente, conseguindo assim manter uma trajetória de voo mais bem definida (COLLINSON, 2011).

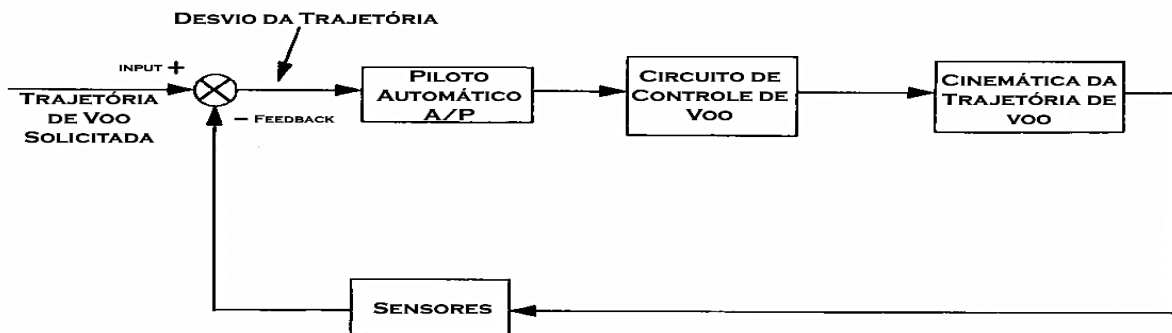


Figura 3 - Diagrama básico de funcionamento de um piloto automático.
Fonte: Adaptado de COLLINSON (2011, p. 417).

De posse da FIG. 3, torna-se possível entender melhor o princípio de funcionamento de um piloto automático. Primeiramente, o piloto determina a trajetória de voo a ser voada. O sistema do piloto automático, então, reconhece os dados e analisa as informações do voo, realizando assim ações necessárias para manter a rota pré-selecionada. De posse das instruções advindas da central do piloto automático, as superfícies de comando são então acionadas por atuadores hidráulicos de modo a modificar a cinemática do voo. Essas alterações são captadas pelos sensores da aeronave que após completarem o ciclo,

enviam novas informações retroalimentando o processador de dados. Desse modo, sempre que houver diferença entre os dados da trajetória de voo selecionada pelo piloto e os dados da trajetória real que a aeronave está tomando, o piloto automático atuará nas superfícies de comando a fim de corrigir esse desvio (COLLINSON, 2011). Esse ciclo é chamado de “circuito em malha fechada”. Apesar de apresentar uma arquitetura arrojada, o piloto automático é simples de ser operado. Uma vez programado corretamente, os pilotos podem realizar outras atividades, devendo apenas monitorar de tempo em tempo o sistema a fim de assegurar que todas as ações estão compatíveis com o previsto.

2.2.2 AUTOTHRUST/AUTOTHROTTLE

Assim como o piloto automático, o sistema *autothrust/autothrottle*⁷ reduz a carga de trabalho dos pilotos permitindo assim que eles possam focar em outras tarefas durante o voo, para isso esse sistema atua de modo a controlar automaticamente a potência gerada pelos motores para um dado momento da operação. Propiciam ainda maior economia, visto que apenas a quantidade de combustível correta é entregue aos motores para determinada fase do voo (COLLINSON, 2011).

O sistema de *autothrust* geralmente é acionado no início da decolagem de modo a limitar a potência dos motores para a de máximo empuxo ou um valor mais baixo, dependendo de algumas variáveis como, por exemplo, o peso da aeronave no momento da decolagem, comprimento de pista disponível e temperatura local. O objetivo desse sistema é minimizar o desgaste do motor, aumentar a eficiência e reduzir o consumo de combustível. A potência de decolagem desejada é selecionada através do manete de potência {FIG. 4}. Nas aeronaves antigas, os pilotos apenas empurravam os manetes de potência a frente e obtinham assim o máximo empuxo dos motores e por vezes sobreaqueciam os motores. Na grande maioria das aeronaves atuais, já não é possível obter nada além do que o empuxo necessário para uma determinada fase de operação dos motores devido ao constante monitoramento por parte dos computadores da aeronave (BILLINGS, 1997).

Os sistemas de *autothrust/autothrottle* estão diretamente ligados a um dispositivo cuja função é gerenciar todo o funcionamento do motor, o *FADEC*. Em termos gerais, o *FADEC* gerencia as variáveis de operação do motor para uma dada condição de voo, determinando assim a quantidade de combustível a ser disponibilizada, analisar variáveis tais

⁷Autothrust/Autothrottle: sistema que permite o piloto a controlar a potência dos motores de uma aeronave especificando uma característica desejada ao invés de controlar manualmente.

como densidade do ar, temperatura e pressão. Por se tratar de um computador, sua operação é totalmente automática. Existem certas diferenças em relação ao modo de operação entre o sistema *autothrust* e o sistema *autothrottle*. O primeiro, quando há variação de potência nos motores, os manetes de aceleração não se movem, ou seja, existe uma ausência de *feedback*⁸ visual para os pilotos. Já no segundo, que equipa as aeronaves *Boeing*, na medida em que há variação de potência, os manetes de aceleração se movem proporcionalmente, aumentando assim a consciência situacional dos pilotos. No caso da aeronave modelo *Airbus A320*, o sistema empregado é o *autothrust*. O piloto seleciona o posicionamento dos manetes de potência e, então, os *FCCs* interagem diretamente com o *FADEC*, enviando instruções para que os motores executem as ações solicitadas de maneira correta.

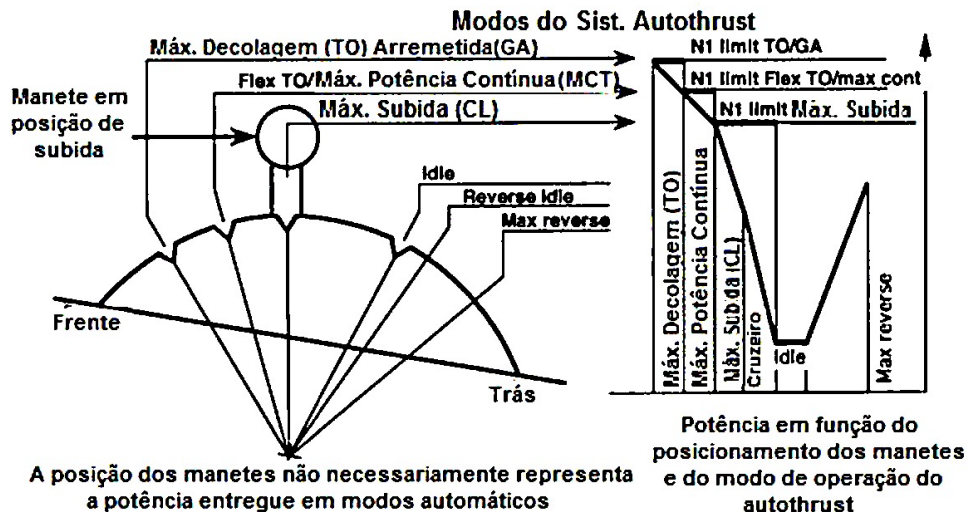


Figura 4 - Posição dos manetes de potência do A320 em função da potência entregue aos motores.

Fonte: Adaptado de BILLINGS (1997, p. 81).

2.2.3 FLY-BY-WIRE (FBW)

Fly-by-wire é um sistema que substitui os controles de voo convencionais de uma aeronave por uma interface eletrônica. Os movimentos realizados pelos pilotos, nos controles de voo da aeronave, são convertidos em sinais eletrônicos e, então, transmitidos por fios aos *FCCs* que irão determinar como mover os atuadores de cada superfície de controle para assim obter uma resposta rápida e amortecida, respeitando o envelope de voo⁹ (COLLINSON, 2011, p. 187). O sistema *fly-by-wire* também permite que os sinais automáticos enviados pelos

⁸Feedback: informação que é devolvida a uma máquina, sistema ou processo.

⁹Envelope de voo: combinações de velocidade, altitude, ângulos, etc. dentro da qual uma aeronave é aerodinamicamente estável.

FCCs executam funções sem a ação direta do piloto, como por exemplo, os sistemas que auxiliam automaticamente a estabilizar a aeronave.

Os sistemas de controle de voo convencionais (mecânicos e hidromecânicos) são relativamente pesados e requerem grande quantidade de cabeamento de controle de voo através da aeronave por sistemas de polias, manivelas, cabos de tensão e tubos hidráulicos. Ambos os sistemas, muitas vezes, exigem *backup* redundante para lidar com falhas, o que acaba resultando no aumento de peso e conseqüentemente em maior consumo de combustível. Já o *fly-by-wire* substitui cabos de controle mecânicos pesados, encontrados em sistemas de controle de voo mecânicos tradicionais, por sinais elétricos gerados pelos *FCCs* que são transmitidos através de fios para os atuadores de controle final da aeronave. Devido à redução de peso, o sistema *fly-by-wire* propicia uma redução no consumo de combustível, aumento da quantidade de passageiros, manutenção simplificada, aumento no tempo de resposta, maior precisão dos comandos realizados, redução da carga de trabalho dos pilotos e maior eficiência do voo em geral. Através da FIG. 5, é possível observar o diagrama básico de funcionamento de um sistema *fly-by-wire* de uma aeronave *Airbus A320*.

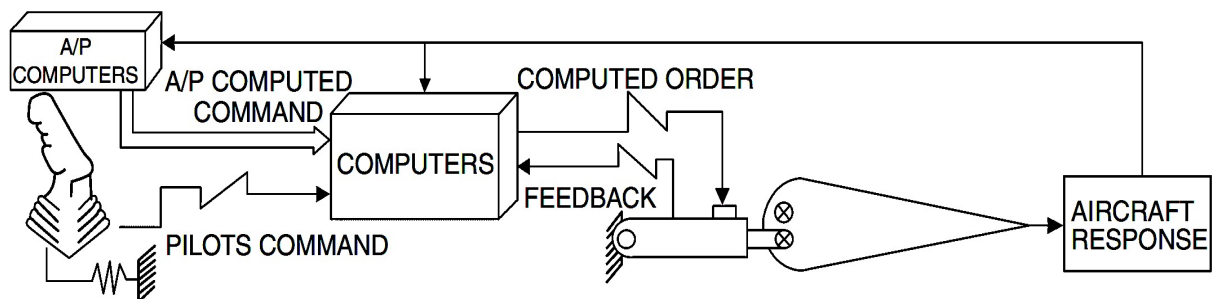


Figura 5 - Diagrama básico de funcionamento de um sistema *fly-by-wire* de uma aeronave *Airbus A320*.

Fonte: BRIERE (2001, p. 3).

A primeira máquina voadora a usar esse conceito digital *fly-by-wire* com sucesso foi o Módulo Lunar. Este, em 1969, conduziu astronautas da órbita até a superfície lunar com segurança, além de também aterrar um foguete por conta própria através de uma habilidade e controle que nenhum ser humano poderia dominar. Esse conceito também foi aplicado em aeronaves militares da nova geração que foram muito bem-sucedidas como, por exemplo, o *F-16* e o *F-117 Stealth*. Mesmo a aviação militar adotando o conceito de *fly-by-wire*, no início dos anos 80, o setor comercial foi menos entusiasmado. O argumento utilizado era de que os jatos comerciais não necessitavam da agilidade requerida por um jato militar. Mas o fato é que o sistema *fly-by-wire* oferece menores custos operacionais devido a redução de peso quando comparado ao sistema convencional de voo. E também pelos voos serem mais suaves

durante uma situação de mau tempo, o que proporciona um voo mais confortável aos passageiros e tripulantes. A *Boeing* continuou a usar os sistemas de controle de voo convencionais para seus aviões, mas a *Airbus* foi adiante e introduziu o sistema digital *fly-by-wire* em seus aviões *A320*. Foi somente no *Boeing 777* que a companhia finalmente decidiu introduzir parcialmente os controles digitais *fly-by-wire*. Embora a *Boeing* tenha introduzido o *fly-by-wire* no *B777* e a *Airbus* no *A320*, existem diferenças significativas no modo de operação e aplicação desse conceito. A *Airbus* tomou uma abordagem filosófica de automação muito diferente quando comparado com a da *Boeing*. A fabricante europeia *Airbus* projetou seus novos jatos *fly-by-wire* com proteções internas e limites rígidos. A *Boeing*, por outro lado, acredita que os pilotos devem ter a palavra final, o que significa que nos jatos *Boeing*, o piloto pode sobrepor aos computadores de bordo e aos seus respectivos limites internos estabelecidos. Existem diversos argumentos dos pilotos de ambos os lados. Alguns pilotos afirmam que a proteção imposta pela filosofia de automação *Airbus* é muito boa, enquanto outros pilotos apoiam a filosofia *Boeing*, na qual, como dito anteriormente, a palavra final do controle do avião é do piloto. Ambos têm argumentos válidos. Em 1995, um *Boeing 757* caiu em uma região montanhosa ao tentar pousar em *Cali* na Colômbia, matando 159 pessoas a bordo. Nesse acidente, o sistema de advertência de proximidade com o solo (*GPWS*) alertou os pilotos de que estavam prestes a colidir com uma montanha. O comandante executou, então, uma arremetida, porém se esquecendo de recolher os *speedbrakes*¹⁰. Em uma aeronave *Airbus A320*, a proteção interna existente nos computadores, teria retraído os *speedbrakes* automaticamente, aponta a fabricante *Airbus*. Mas a *Boeing* argumenta que o jato teria atingido o cume da montanha do mesmo jeito, mesmo que os *speedbrakes* tivessem sido recolhidos. Os aviões *Airbus*, mesmo com sua tecnologia *fly-by-wire* e proteções automáticas internas, também já caíram. Em 1988, durante um show aéreo, em *Habsheim*, França, os pilotos de uma aeronave *Airbus A320* estavam fazendo uma passagem baixa em velocidade reduzida. O programado seria realizá-la a uma altura de 100 pés em relação ao terreno e com o trem de pouso abaixado, porém, em vez disso, os pilotos vieram a menos de 30 pés do chão. Quando o avião fica abaixo de 50 pés em relação ao terreno, o computador assume que os pilotos estão tentando pousar. O avião, então, fez exatamente o que era para ser feito e, infelizmente, acidentou-se colidindo com árvores no final da pista. No entanto, de acordo com o comandante, houve problemas com o rádio-altímetro e também com a aceleração.

¹⁰Speedbrakes: superfícies secundárias de controle de voo que podem ser acionadas manualmente pelo piloto ou, em certas circunstâncias, se estendem automaticamente (durante o pouso) para aumentar o arrasto e diminuir a sustentação.

2.2.4 GLASS COCKPIT

As decisões mais importantes a serem tomadas durante o voo ocorrem na cabine de comando, onde estão todas as informações relativas aos sistemas da aeronave são disponibilizadas aos pilotos por meio de telas e monitores chamados de *glass cockpit*. Esses monitores compõe a instrumentação digital da aeronave e são divididos em:

- Display Primário de Voo (PFD): conjunto integrado dos instrumentos básicos de voo dispostos em uma mesma tela;

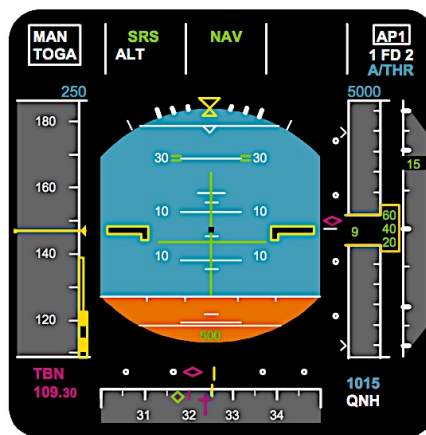


Figura 6 - Primary Flight Display (PFD).
Fonte: TARNOWSKI (2002, p. KN4-7).

- Display de Navegação (ND): fornece todos os dados relacionados à tarefa de navegação dos pilotos, bem como a posição da aeronave em relação ao plano de voo previsto, de forma consistente com as funcionalidades do *FMS*. O *ND* incorpora também informações de funções periféricas como navegadores, radar, *TCAS* e *EGPWS*;

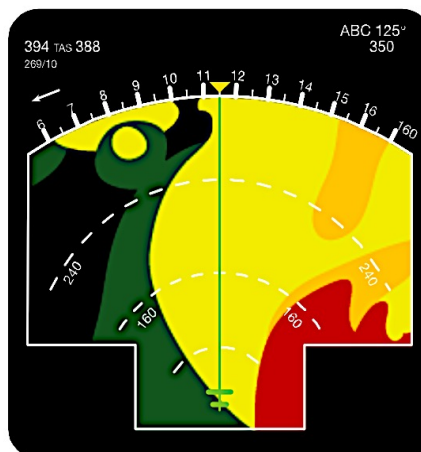


Figura 7 - Navigation Display (ND).
Fonte: TARNOWSKI (2002, p. KN4-7).

- Display Multifuncional (MFD): utilizado para exibir informações do *EICAS/ECAM*. As unidades de exibição *ECAM* fornecem todos os dados relacionados à tarefa de gerenciamento do sistema da tripulação. Esses dados são numéricos, devidamente organizados de acordo com o seguinte princípio operacional:
 - Os parâmetros essenciais são exibidos em um campo exclusivo da tela Motor e Aviso (E/W-D);
 - Os dados secundários, por exemplo, em caso de falha ou necessários numa dada fase do voo, são fornecidos no *ECAM* inferior chamado *System Display* (S-D) quando necessário;
 - Quando ocorre um evento inesperado que requer uma advertência ou um aviso, os dados associados são fornecidos da seguinte forma:
 - * Uma advertência ou aviso audiovisual cancelável;
 - * Todos os dados necessários para analisar a situação sob a forma de um sistema sinóptico;
 - * Ações recomendadas a serem tomadas pelos pilotos;
 - * As limitações resultantes e procedimentos específicos, se houver, uma vez que os sistemas da aeronave foram reconfigurados após a falha.

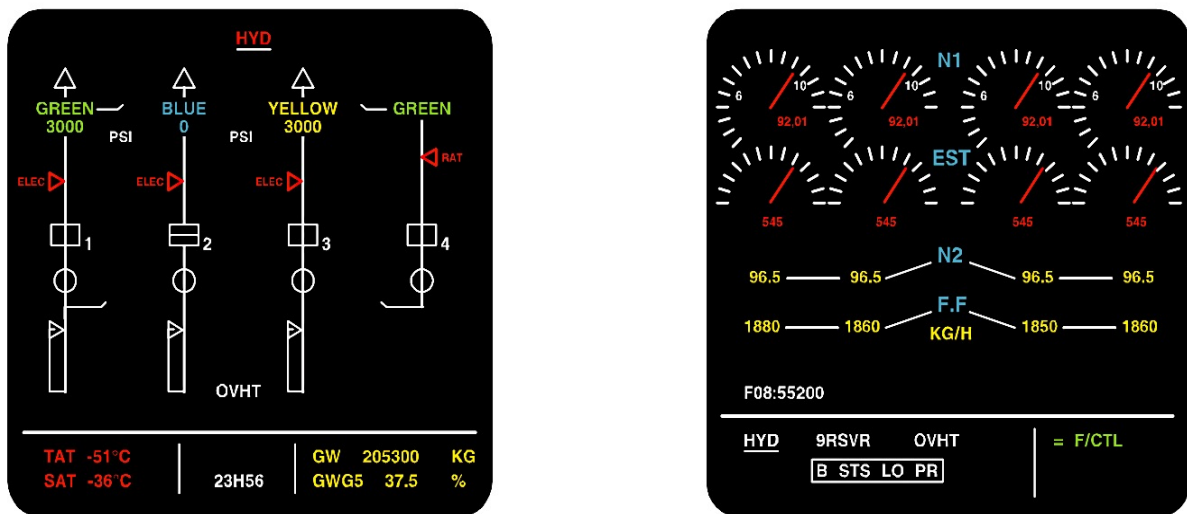


Figura 8 - ECAM Engine/Warning and System Displays.
Fonte: TARNOWSKI (2002, p. KN4-7).

2.3 O porquê e o que automatizar nas aeronaves comerciais

Automação é um sistema ou método no qual uma ou mais tarefas são realizadas e/ou controladas automaticamente por máquinas ou dispositivos eletrônicos autônomos (BILLINGS, 1997). A tecnologia advinda da automação é algo relativamente recente na aviação e, por isso, em alguns casos, devido à inédita e complexa tecnologia embarcada em

seus sistemas, atrasa ou até limita a familiarização com os novos equipamentos. Isso faz com que os atuais *cockpits*, em um primeiro momento, causem certo espanto aos tripulantes, devido a uma grande quantidade de telas e dispositivos eletrônicos a bordo que exigem rígidos programas de treinamento técnico e gerencial de voo. Há também o *Corporate Resource Management (CRM)*, simuladores sintéticos de voo, dentre outros procedimentos que visam primordialmente à padronização nas operações aéreas e à redução dos índices de ocorrências de acidentes. Como já mencionado anteriormente, o homem, ao se deparar com um processo, precisa cumprir várias funções e alcançar diversos objetivos e, raramente, é capaz de fazê-lo por si mesmo, precisando, então, de suporte proveniente de outros homens ou oriundo de ferramentas adequadas. Por esse motivo, novas ferramentas autônomas foram concebidas a fim de desempenharem múltiplas funções sequenciais e também executarem diversas tarefas, simultâneas por si mesmas, de modo a evitar a necessidade de intervenção humana. Essas ferramentas são os sistemas automatizados. A *Airbus* desenvolveu sistemas automatizados que resguardam os aspectos fortes e compensam as fraquezas humanas. Assim sendo, fica evidente locais que requerem o uso da automação e outros que não (TARNOWSKI, 2003).

2.3.1 ASPECTOS FORTES DO HOMEM

O homem é um tomador de decisões muito complexo que possui capacidades de análise e de síntese. Possui uma memória especial, memoriza diversas sensações, experiências passadas e vários sentimentos. Essa memória especial constrói uma intuição, discernimento e experiências essenciais para uma rápida tomada de decisão. O homem também possui um instinto que lhe permite tomar atitudes naturalmente (TARNOWSKI, 2003).

Não menos importante, o homem também apresenta um aspecto forte bastante relevante, que é o de se adaptar facilmente a novos ambientes. Ele faz isso naturalmente induzido por certas eventualidades ou devido a um processo de aprendizagem, aspiração, entendimento e experiência (TARNOWSKI, 2003).

2.3.2 DEFICIÊNCIAS DO HOMEM

O homem é um manipulador lento para atuar, ou seja, diante de uma situação imprevisível, sua mente irá reagir rapidamente, porém a reação virá com certo atraso. O homem é também um manipulador impreciso. Sendo assim, faz-se necessária a adoção de

programas de treinamento árduos, de modo a arquitetar certa habilidade, para alcançar movimentos eficientes, consistentes e precisos. Outra deficiência que deve se levar em consideração é a de que o homem é um manipulador não repetitivo, ou seja, suas competências são diretamente afetadas pela fadiga, pressão ou stress (TARNOWSKI, 2003).

Não o bastante, o homem é lento diante de tarefas computacionais. Isso implica que enquanto o cérebro estiver computando, sua mente permanece ocupada, tornando difícil a realização de qualquer outra tarefa. É sabido que a mente humana é capaz de trabalhar facilmente de forma sequencial, porém é limitada para ocupar-se com diversas tarefas simultâneas. E por último, o homem é imprevisível, potencialmente indisciplinado, possui tendências naturais à passividade, à perda de vigilância ou à preguiça (TARNOWSKI, 2003).

Contudo, evidencia-se que o elemento humano facilmente entedia-se com tarefas rotineiras e repetitivas e acaba esquecendo-as. A automação, nesse aspecto, pode contribuir de forma positiva, desde que complemente as ações humanas, devendo, assim, ser inserida sempre que houver a necessidade de intervenção subsidiada à do tripulante para fins de prudência (TARNOWSKI, 2003).

Logo, o elemento humano é melhor como um tomador de decisões para fins estratégicos, enquanto a automação é melhor para tarefas táticas, tais como operação consistente e precisa da aeronave, sistemas computacionais de rápida resposta e sistemas voltados para o aprimoramento da consciência situacional dos pilotos (TARNOWSKI, 2003).

2.4 A automação na aviação

Como descrito por Jukes (2004) e Billings (1997), a evolução da automação nas aeronaves comerciais resultou em significantes melhorias no que tange à Segurança Operacional. Em termos gerais, a automação foi criada com o objetivo principal de reduzir a carga de trabalho dos pilotos e também minimizar a frequência do erro humano diante da grande complexidade que os sistemas integrantes das aeronaves apresentam, como citado por Billings (1997) logo no início de sua publicação. Por outro lado, as análises, obtidas através dos estudos de casos, deixam claro que também existem pontos fracos no que tange à automatização dos sistemas e existe sim a possibilidade de que esses aspectos comprometam a Segurança Operacional. No relatório final do acidente ocorrido em 2009, em São Paulo, envolvendo uma aeronave *Airbus A320* da companhia aérea *TAM*, cumprindo o voo *JJ3054* afirma-se que:

A introdução de sistemas automatizados favorece a formação de um estado de complacência por parte dos pilotos, em função da gradativa mudança no papel que desempenham a bordo, passando, cada vez mais, a supervisionar as tarefas executadas pelo computador. Em vista da reconhecida eficiência do computador, a confiança depositada pelo piloto na sua infalibilidade o leva a se acomodar no acompanhamento das condições de voo, acreditando que tudo esteja sob o mais absoluto controle. Essa falsa impressão acaba reduzindo a consciência situacional e põe em risco a segurança de voo, especialmente numa condição não rotineira (CENIPA, 2009, p. 86).

Diante disso, fica evidente que os pilotos estão a mercê da automação, uma vez que os sistemas automatizados se mostraram muito confiáveis. Isto é, os pilotos são levados a crer que os sistemas das aeronaves dificilmente irão apresentar falhas ou irão agir de modo não esperado. Pode-se citar, como exemplo, o trágico acidente que envolveu o voo *AF447*, em 2009, no qual, após o desengajamento do piloto automático (*A/P*) e do *autothrottle* (*A/THR*), os pilotos se perderam e não mais conseguiram controlar a aeronave levando a morte de 228 pessoas. O mesmo vale para o voo *214* operado pela companhia *Asiana*, em que os sistemas da aeronave não estavam operando de acordo com o que acreditavam os pilotos.

O sistema de automação do A-320 é complexo e leva o piloto a, inconscientemente, criar um modelo mental na tentativa de compreender a maneira como se processa a operação da aeronave e, assim, facilitar a sua interação com ela. Ocorre que, como já foi visto, a mente humana só consegue formar modelos mentais simplificados, que podem até servir para compreensão das operações normais, mas que são insuficientes para situações mais complexas e não rotineiras. Como consequência, diante de uma situação anormal, cresce a importância dos sistemas de alerta da própria aeronave [...] O próprio fabricante reconheceu esta importância ao desenvolver uma melhoria [...] que aciona um alarme específico com uma mensagem no ECAM, alertando os pilotos de que um manete estaria numa posição {errada} (CENIPA, 2009, p. 84).

A confiança depositada nos sistemas das aeronaves, conjugada com a ausência de informações adequadas aos pilotos, levou, em todos esses casos, a uma redução da consciência situacional dos pilotos. Evidenciando, assim, a necessidade de implantação de alertas próprios das aeronaves e adequados a fim de maximizar a consciência situacional dos pilotos e, conseqüentemente, elevar também a Segurança Operacional. Haja vista que, em todas as situações analisadas, os pilotos não estavam a par do que se passava e/ou de que modo os sistemas automatizados das aeronaves estavam atuando no momento ou instantes antes dos acidentes ocorrerem. Outro fator de relevância, com relação à automação, é o receio por parte dos pilotos em intervir ou desempenhar tarefas manuais. Tal fato foi revelado pelos pilotos, envolvidos no acidente aqui mencionado da companhia *Asiana*, no relatório final

elaborado pela *NTSB*. Como é sabido, o piloto automático é mais preciso em suas ações do que qualquer piloto e isso torna possível operações mais eficientes, precisas e seguras.

Devido a esse fato, permanece sempre entre os pilotos a questão de o “Porquê intervir manualmente em alguma tarefa sendo que os sistemas automatizados são mais precisos?” (*NTSB*, 2014). O receio e a pouca oportunidade em controlar os aviões manualmente durante os voos, e em situações de risco, acabam resultando na deterioração das habilidades básicas de voo dos pilotos em voar uma aeronave manualmente, sem o auxílio de recursos automatizados, levando-os assim a situações de risco que acabam por comprometer a Segurança Operacional, fato que ocorreu com o voo *AF447*. Uma diminuição das habilidades psicomotoras foi observada em pilotos que estavam em transição de uma aeronave modelo *McDonnell Douglas DC-10*, um avião considerado muito automatizado para a época, para um *Boeing 727*, uma aeronave pouco automatizada em relação a anterior (*BILLINGS*, 1997). Outra circunstância que vale ressaltar, é a deficiência no treinamento dos pilotos na interpretação e gerenciamento dos sistemas automatizados das aeronaves. “O treinamento atual não prepara adequadamente os pilotos para gerenciar de maneira correta as funções automatizadas das aeronaves em todas as situações previsíveis ou quando se deve intervir em um processo automatizado. Também não prepara os pilotos para realizar diversas tarefas que fazem uso da automação” (*CAA*, 2004, p. 23).

No relatório final do acidente envolvendo o voo *JJ3054*, o *CENIPA* destaca que:

A introdução de sistemas complexos de proteção nos equipamentos traz, como risco agregado, uma dificuldade na sua compreensão, originando diferentes falhas que demoram a ser percebidas, devido ao grande número de controles e à multiplicidade de suas interações. A complexidade desses sistemas, por vezes, torna difícil para o piloto elaborar, por meio de um modelo mental, uma representação precisa da lógica de sua automação. Como agravante, a sofisticação dos equipamentos dispostos no "cockpit" pode significar um óbice a mais para o entendimento das ações ditadas pelo sistema automatizado, especialmente nas situações críticas ou não rotineiras, dificultando também a antecipação do que vai acontecer em seguida, gerando uma inadequação cognitiva (*Philippe Polet et al.*). Como as informações são muito complexas, a concepção da automação nem sempre permite que o piloto saiba exatamente como as operações estão sendo realizadas pelo sistema. É como se fosse dado ao piloto, apenas, uma noção parcial do funcionamento da aeronave, que a engenharia julga ser a necessária para que ele a opere. Por outro lado, também é dada uma proteção à aeronave quanto aos possíveis erros de operação capazes de gerar situações de descontrole (situações estas que, neste contexto automatizado estariam além da capacidade de compreensão do piloto) (*CENIPA*, 2009, p. 71).

"O piloto em comando de uma aeronave é diretamente responsável pela mesma e

é a autoridade máxima sobre qualquer operação dessa aeronave" (FAA, 2014). Portanto, torna-se essencial que o comandante de uma aeronave tenha total conhecimento de sua operação e também de todos os sistemas, incluindo os automatizados, de modo que, se necessário qualquer intervenção manual, a execute de maneira eficaz e segura.

2.4.1 ASPECTOS FORTES DA AUTOMAÇÃO

Obviamente, a automação traz benefícios em qualquer área em que é aplicada e, na aviação, não é diferente. Entre eles, destacam-se: redução drástica da carga de trabalho durante o voo; implementação de diversos alarmes audiovisuais que alertam previamente a respeito de mau funcionamento dos sistemas; incorporação de dispositivos de prevenção de acidentes, como o *Traffic and Collision Avoidance System (TCAS)*, que alerta e informa os pilotos durante o voo sobre outras aeronaves voando próximas a fim de evitar colisão; o *Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS)*, que alerta sobre proximidade com o solo, razão de descida excessiva, configuração errada da aeronave quando próxima ao solo etc.; o *Full Authority Digital Engine Control (FADEC)*, que consiste em um computador digital que controla todos os aspectos do desempenho do motor da aeronave, permitindo considerável economia de combustível. Além de equipamentos de última geração, voltados para a navegação aérea, como o *Global Positioning System (GPS)* e o *Inertial Navigation System (INS)*, que utilizam giroscópios e acelerômetros para obterem uma precisa orientação espacial da aeronave. E, por último, o *Electronic Flight Bag (EFB)*, dispositivo que permite que os pilotos executem uma variedade de funções que eram, tradicionalmente, realizados usando papel. Na sua forma mais simples, um *EFB* pode executar cálculos básicos de planejamento de voo e exibir uma variedade de documentação digital, incluindo cartas de navegação, manuais de operações e *checklists*¹¹ (ABREU JR, 2008).

2.4.2 Deficiências da automação

A automação na aviação, mesmo quando bem implementada, pode também, por outro lado, oferecer certos inconvenientes.

¹¹Checklists: lista essencial que deve ser cumprida durante as fases críticas do voo, por exemplo, antes da decolagem e pouso onde se verifica o correto funcionamento dos equipamentos, motores, sistemas de comunicação, etc.

A maioria das investigações de incidentes e acidentes tem tratado, nos seus relatórios finais, com destaque para as recomendações de segurança, de uma grande incidência de erros operacionais classificados como fatores contribuintes¹² para esses eventos indesejáveis, muitos deles transformados em tragédias, sempre em função de um significativo desequilíbrio na relação Homem/Meio/Máquina (ABREU JR, 2008).

Estudos apontaram que os desequilíbrios na relação Homem/Meio/Máquina supracitados podem ser motivados pela dificuldade que alguns pilotos encontram diante de sistemas automatizados, exigindo, portanto, a necessidade de treinamentos que propiciam aos pilotos um melhor conhecimento acerca dos sistemas que irão operar.

Erros na utilização e gestão do sistema de voo automático e/ou a falta de consciência dos modos de operação são fatores contribuintes em mais de 20% dos acidentes que ocorrem durante os procedimentos de aproximação e pouso (AIRBUS, 2004).

Nesse caso, fica evidente a relevância de se dedicar ao entendimento das consequências e efeitos do automatismo nos *cockpits* sobre os pilotos, a fim de assegurar uma compreensão clara e profunda dos princípios de funcionamento dos sistemas automatizados, bem como um melhor meio de interação com os mesmos (ABREU JR, 2008).

2.5 O modelo *SHELL*

O modelo *SHELL* é, frequentemente, o mais empregado por especialistas em Fatores Humanos para elucidar como o Elemento Humano (*Liveware*) se relaciona com os demais elementos durante as operações aéreas: Ambiente (*Environment*), Equipamento (*Hardware*) e o Programas de Suporte Lógico (*Software*) (ABREU JR, 2008).

¹²Fatores contribuintes: condição - ato, fato, que em sequencia ou como consequência - conduz a um acidente ou incidente aeronáutico. São eles: fator humano, fator operacional e fator material.



- S* Representa o Suporte Lógico (Software)
H Representa o Equipamento (*Hardware*)
E Representa o Ambiente (*Environment*)
L Representa o Elemento Humano (*Liveware*)

Figura 9 - Representação gráfica do modelo SHELL.
 Fonte: ICAO (2003, p. 1-7).

Esse modelo foi, inicialmente, desenvolvido pelo professor *Edwards* em 1972 e modificado por *Frank Hawkins* em 1975 (ICAO, 2003). A fim de se alcançar a interação entre todos os elementos apontados pelo modelo *SHELL*, é necessário deixar claras algumas das características mais importantes do elemento central, o Elemento Humano (*Liveware*):

Biológicas: Condições físicas (resistência do organismo), Condições fisiológicas (funcionamento do organismo) e Tolerância Ambiental (limitação e adaptação à temperatura, vibração, luminosidade, ruído, etc.);
Psicológicas: Componentes cognitivos, afetivos e motivacionais do comportamento humano, os quais englobam a percepção, a atenção, a memória, a personalidade, a motivação, a atitude e a tomada de decisão;
Sociais: A vida em comunidades, a qual presume microestruturas sociais (familiares, laborais, associativas, políticas, etc.) e macroestruturas socioculturais (organizações militares, empresas privadas, instituições de ensino, etc.), tem no seu bojo fontes de pressão que, se exercidas sobre os indivíduos que as constituem, podem afetar o seu desempenho profissional (ABREU JR, 2008).

Sendo o elemento central do modelo *SHELL*, o Elemento Humano (*Liveware*) deve ser adaptado e combinado de modo a interagir com os demais elementos (ICAO, 2003):

- Elemento Humano x Elemento Humano (*Liveware x Liveware*) – Essa combinação tange aos relacionamentos interpessoais instituídos no ambiente de trabalho. No caso, a interação estabelecida entre os pilotos no *cockpit*;
- Elemento Humano x Equipamento (*Liveware x Hardware*) – Essa combinação refere-se à relação Homem/Máquina. Incorpora itens como a disposição dos monitores no *cockpit* para corresponder às características de processamento sensorial e de informação dos pilotos, relação da posição dos dispositivos de controle de voo com movimentos compatíveis, etc.

Com a incorporação de computadores e sistemas automatizados no *cockpit*, essa interação se colocou à frente nos desafios encontrados pelo Fator Humano (ICAO, 2003);

- Elemento Humano x Programas de Suporte Lógico (Liveware x Software) – Essa é a relação entre o homem e os aspectos não físicos do sistema, por exemplo, os sistemas de apoio ao desempenho adequado do trabalho dos pilotos. Englobam desde *checklists*, manuais, publicações, *Standard Operating Procedures*¹³ (SOPs) e até os sistemas mais complexos de automação e programas de computador. Problemas nessa interação predominam nos relatórios de acidentes, porém, são difíceis de observar e, conseqüentemente, mais difíceis de resolver (ICAO, 2003).

- Elemento Humano x Ambiente (Liveware x Environment) – Foi a relação pioneira a ser reconhecida na aviação. Para os pilotos o ambiente físico interno é o *cockpit*, "local onde tudo acontece com dinamismo, e complexidade, podendo afetar diretamente a rotina operacional (problemas com passageiros, panes de sistemas da aeronave etc.)" (ABREU JR, 2008, p. 11).

Por outro lado, o ambiente físico externo é o que se encontra fora dos limites do ambiente físico interno "e muitas vezes sujeito a mudança rápida e alheia à vontade dos pilotos (meteorologia, modificação nas autorizações de tráfego aéreo, congestionamento do espaço aéreo, restrições de infraestrutura aeroportuária e de navegação aérea, etc.)" (ABREU JR, 2008, p. 11).

E como os seres humanos, as organizações têm cérebro, corpo, personalidade, objetivos e lutam para sobreviver num meio em constante evolução e mutação. Por isto, a forma de gerenciamento dada à Cultura Organizacional das empresas aéreas tem influência direta ou latente na Segurança Operacional, considerando que ela é a personalidade da instituição (ABREU JR, 2008).

Como pode ser observado acima, o modelo *SHELL* permite uma análise ampla do nível de interação do Elemento Humano (*Liveware*) com os demais elementos do modelo. Desse modo, fica possível identificar o nível de interação que transcorre no ambiente operacional.

Atualmente, os maiores dilemas enfrentados na relação Homem/Meio/Máquina durante o voo são:

¹³Standard Operating Procedures (SOPs): procedimentos escritos, publicados e testados que se espera que sejam universalmente e consistentemente aplicados dentro de uma organização.

- Carga de trabalho do piloto – Com o crescente emprego da automação, a carga física de trabalho dos pilotos reduziu drasticamente, devido à simplificação das diversas tarefas antes realizadas manualmente pelos pilotos. Por outro lado, houve também um incremento substancial da carga cognitiva de trabalho, abrindo espaço para certos problemas, tais como stress, confusão e cansaço mental (ABREU JR, 2008);
- Inexistência de uma filosofia de automação padronizada – Se houvesse uma filosofia de automação padronizada sendo adotada, os fabricantes de aeronaves iriam desenvolver as aeronaves de uma maneira a tornar o vínculo Homem/Máquina mais harmonioso e padronizado, seja qual for o equipamento a ser voado e/ou operado (ABREU JR, 2008);
- Intimidação/Timidez – Falta de diligência para intervir em uma operação automatizada quando se faz necessário (ABREU JR, 2008);
- Excesso de confiança – A ausência de certos tipos de *feedback* visuais e mecânicos das modernas aeronaves da família *Airbus* "tornou invisível aos olhos humanos determinados processos operacionais importantes" (ABREU JR, 2008, p. 11), como os movimentos das *Thrust Levers*¹⁴ e dos *Sidesticks*, o que pode prejudicar os pilotos em discernirem determinadas situações, “de processarem novas informações e de responderem rápida e apropriadamente às demandas decisórias, muitas vezes não previstas” (ABREU JR, 2008, p. 11);

As dificuldades acontecem pelo bloqueio momentâneo da percepção visual periférica dos pilotos, fato que não permite a compreensão imediata das razões que estão levando a aeronave a atitudes não comandadas por eles. Como consequência disso, há, por parte dos aviadores, uma exacerbada delegação operacional ao sistema automatizado, como se ele isoladamente fosse capaz de retornar a aeronave à normalidade, o que é potencialmente inseguro para a operação aérea (ABREU JR, 2008).

- Complacência – “Atitude passiva frente às situações rotineiras ou incomuns, em virtude de falhas no processo ativo de supervisão do automatismo” (ABREU JR, 2008, p. 11);
- Desconcentração/Desatenção – “Acionamento equivocado ou seleção incorreta do comando a ser cumprido pelos sistemas automatizados (altitude/velocidade/proa/rumo/interceptação do *track*¹⁵, etc.)” (ABREU JR, 2008, p. 11);
- Falha na supervisão – “Ausência de vigilância e de verificação da execução correta ou não do comando requerido do sistema automatizado” (ABREU JR, 2008, p. 11);

¹⁴Thrust Levers: manetes utilizados para controlar a potência dos motores.

¹⁵Track: direção para onde a aeronave está apontada.

- Ausência da checagem dupla (Double-Check) – “Falta de conferência dos dados inseridos por um dos pilotos” (ABREU JR, 2008, p. 11);
- Perda do alerta situacional – “É a falta de consciência dos fatos acontecidos no ambiente operacional, o que provoca um descolamento da realidade” (ABREU JR, 2008, p. 11). Para qualquer tomada de decisão, os pilotos devem estar em plena sintonia para que seja possível compreender todas as ações realizadas pela aeronave e seus respectivos sistemas automatizados (ABREU JR, 2008);
- Confusão mental – A complexidade dos sistemas automatizados muitas vezes causa embarços na interpretação dos dados, “a ponto de provocar ações equivocadas, ambiguidade e incoerência na execução das tarefas operacionais por parte dos pilotos” (ABREU JR, 2008, p. 12);
- Queda das habilidades de CRM – Falta de sintonia e harmonia entre os pilotos para cumprir tarefas em conjunto, “incluindo as de monitoramento operacional, tanto em situações corriqueiras como em situações emergenciais” (ABREU JR, 2008, p. 12).

2.6 Desafios no emprego da automação

O maior desafio da indústria aeronáutica é a busca constante no aprimoramento das tecnologias empregadas nos sistemas automatizados das aeronaves comerciais modernas. No que tange à operação, o objetivo é oferecer aos pilotos sistemas automatizados de fácil assimilação e operação, de modo a reduzir ou eliminar os erros operacionais e gerenciais. O grau de automação no *cockpit* está diretamente relacionado "à sensação de conforto operacional do piloto durante o cumprimento de suas tarefas no comando da aeronave" (ABREU JR, 2008, p. 12).

O aperfeiçoamento dos sistemas automatizados deve iniciar-se por uma Filosofia Operacional clara e de fácil adesão. Normas e procedimentos devem complementá-la, levando aos pilotos uma mensagem operacional educativa capaz de conquistar um alto nível de disciplina consciente e de aderência às melhores práticas de gerência dos sistemas de automatismo no *cockpit* e de auxílio na tomada de decisão dos pilotos que estiverem no comando das aeronaves. O acompanhamento e a supervisão do desempenho do sistema automatizado do avião é outra tarefa de extrema importância no leque de atribuições dos pilotos. Na verdade, essa vigilância reveste-se de grande importância pelo fato do comandante ter que estar preparado para assumir manualmente os comandos da aeronave, a qualquer momento, sem levá-la a situações indesejáveis que podem fazê-lo perder, subitamente, o controle das ações operacionais. Ao piloto em comando cabe a retenção da autoridade sobre todos os sistemas da aeronave, com o objetivo de mantê-la

dentro dos padrões de segurança propugnados pelos limites impostos pelo fabricante à máquina, por aqueles determinados pela Natureza ao Homem e por outros requeridos pelo dinâmico ambiente operacional do voo, sempre com a responsabilidade de harmonizar e equilibrar a equação Homem/Meio/Máquina, evitando chegar às fronteiras de um incidente ou acidente aeronáutico (ABREU JR, 2008).

2.7 Airbus x Boeing

A *Airbus* possui uma filosofia centrada na automação, enquanto a *Boeing* possui uma filosofia centrada nas capacidades do ser humano. A filosofia *Airbus* de automação atua de forma a evitar erros e excessos, interferindo, caso necessário, nas tomadas de decisões dos pilotos para mitigar a ultrapassagem dos limites físicos estabelecidos pelo envelope de proteção de voo, com exceção nos modelos *A300* e *A310* que utilizam os sistemas convencionais de voo. No caso da *Airbus*, existe ainda as chamadas *Control Laws*, que são as leis que regem todo o sistema *fly-by-wire*.

Esta arquitetura de controle do sistema Fly-by-wire [...] pode limitar o envelope de voo, tornando impossível para o piloto exceder certos limites [...] Isso é o chamado envelope de proteção de voo (BILLINGS, 1997, p. 80).

Por outro lado, a filosofia *Boeing* de automação enseja aproveitar as capacidades fisiológicas e psicológicas coletivas dos pilotos nas tomadas de decisões, ao invés de evitar o erro humano. Em outras palavras, a filosofia *Airbus* limita o piloto, enquanto a filosofia *Boeing* auxilia o piloto, mas não o substitui. As duas filosofias de automação em questão compartilham algumas características similares. Em ambas aeronaves, de modo geral, é possível o desarmamento do piloto automático e os *autothrottles* simplesmente pressionando botões, reestabelecendo o controle e aceleração da aeronave para o modo manual. Isso pode ser caracterizado como vantagem mediante possível risco de colisão com outra aeronave em pleno voo, visto que o piloto pode executar uma manobra evasiva. A grande diferença operacional entre ambas filosofias se encontra nos *Flight Control Computers (FCCs)*. Ambos os fabricantes oferecem proteção ao envelope de proteção de voo definidas por *softwares*¹⁶ nos *FCCs*.

¹⁶Softwares: programas e informações operacionais utilizados por um computador.

A *Airbus* é muito rígida, define parâmetros e limites estreitos, os quais são invioláveis, definidos pelas já citadas anteriormente, *Control Laws*, que regem todo o sistema *fly-by-wire*, que são as seguintes:

- Normal Law: configuração operacional normal em que a falha de um único computador não afeta o sistema. Quando, nessa configuração, é impossível realizar manobras ou colocar a aeronave em atitudes anormais que possam vir a representar algum risco, pois não há degradação das proteções, que são:

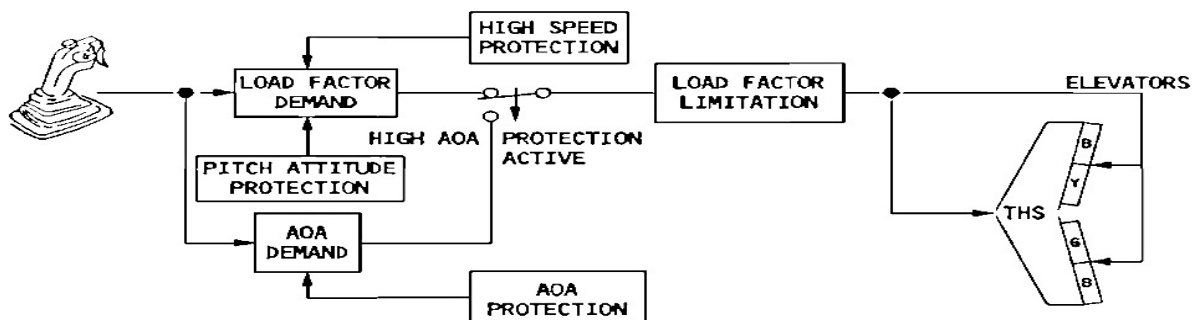


Figura 10 - Visão geral das proteções oferecidas quando em Normal Law.

Fonte: EASYJET (2012, p. DSC-27-20-10-20 P4/8).

- Proteção de ângulo de curva (*Bank Angle*) – Se o piloto realizar curvas com inclinações de no máximo 33° para a direita ou para a esquerda, a aeronave se mantém na posição desejada por ele, sem intervenção alguma por parte do sistema, podendo até soltar o *sidestick* que a aeronave irá permanecer naquela inclinação aplicada. Porém, para inclinações entre 33° a 67° , o piloto deve manter as mãos no *sidestick* aplicando a força desejada para tal inclinação. Se caso soltar o *sidestick*, a aeronave irá retornar automaticamente para uma inclinação de 33° . Quando em modo *Normal Law*, o limite máximo permitido pelo sistema para efetuar inclinações é de 67° , independentemente se o piloto desejar extrapolar esse limite. Inclinações acima desse limite podem representar risco, pois começa a haver significativa perda de sustentação, levando o piloto a tomar medidas desconfortáveis e inseguras para os passageiros;

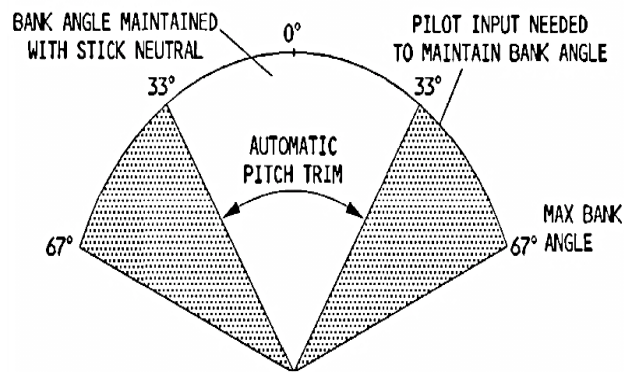


Figura 11 - Proteção de ângulo de curva (Bank Angle).
Fonte: EASYJET (2012, p. DSC-27-20-10-30 P 2/2).

- Proteção de ângulo de subida/descida (Pitch Angle) – Essa proteção leva em consideração além da velocidade da aeronave, mas também a posição dos *flaps*¹⁷ (FIG. 12). O ângulo máximo de subida (+), para posições dos *flaps* de 0 a 3, é de no máximo +30° em altas velocidades e de no máximo +25° em baixas velocidades. Já utilizando os *flaps* ao máximo (*Full Flap*), o ângulo máximo de subida é de +25° reduzindo para +20° em baixas velocidades. E o ângulo máximo de descida (-) para todas as situações/configurações, é de no máximo -15°;

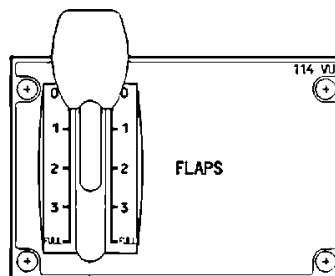


Figura 12 - Manete de acionamento dos Flaps no A320 e suas respectivas posições.
Fonte: EASYJET (2012, p. DSC-27-30-10 P 2/4).

- Proteção de Fator de Carga (Força G) – Essa posição também depende das posições dos *flaps*. Quando sem utilizar os *flaps*, ou seja, quando os *flaps* estiverem na posição 0, os fatores de carga podem ser de no máximo +2.5G e -1G. Já com *flaps* acionados, independentemente da posição, os fatores de carga caem para no máximo +2G e 0G. Não é permitido manobras que resultem em fator de carga negativo quando fazendo o uso dos *flaps*;

¹⁷Flaps: superfícies articuladas localizadas nos bordos de fuga da asa (parte traseira) que quando estendidos, aumentam a sustentação e o arrasto devido a mudança na curvatura do seu perfil e pelo aumento de sua área.

- Proteção de Alta Velocidade (*Overspeed*¹⁸) – Ao atingir velocidades acima da velocidade máxima (*VMO/MMO*), a aeronave cria uma tendência de subir o nariz (*pitch up*) objetivando reduzir a velocidade. O limite de inclinação lateral máximo é reduzido de 67° para 40° e o de subida/descida para 11°. Avisos audiovisuais de "*Overspeed*" estão presentes na cabine;
- Proteção de Ângulo de Ataque¹⁹ (α Protection) – Quando em modo *Normal Law*, é impossível “estolar” o avião, ou seja, é impossível colocar a aeronave em uma atitude com um ângulo de subida ou inclinação lateral exagerado que faça com que a aeronave perca sustentação e inicie um processo de queda.

Basicamente, existem quatro definições de velocidades decrescentes:

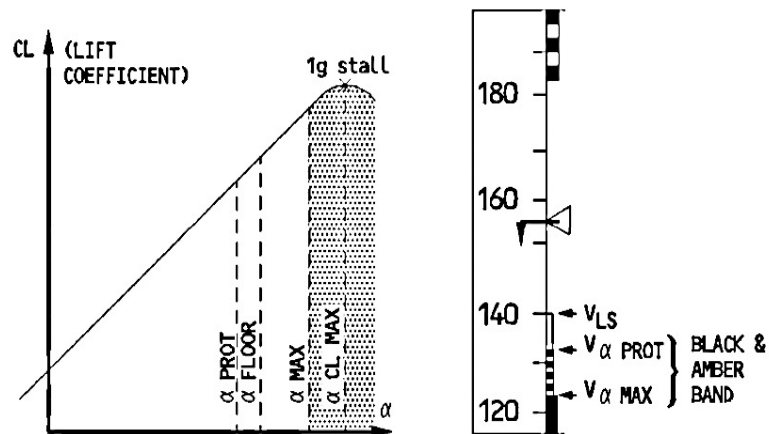


Figura 13 - Definições das velocidades para a Proteção de Ângulo de Ataque.
Fonte: EASYJET (2012, p. DSC-27-20-10-20 P 5/8).

- VLS – Velocidade mínima selecionável no piloto automático que varia em função do peso e configuração da aeronave. Ou seja, é impossível selecionar uma velocidade menor que a *VLS* no sistema;
- V α PROT – Velocidade em que existe um mecanismo de proteção automática que atua abaixando o nariz da aeronave caso os pilotos não atuem de maneira assertiva;
- V α FLOOR – Caso a ação prevista em *V α PROT* não for suficiente, aplica-se então automaticamente a potência máxima (*TOGA*);
- V α MAX – Os *FCCs* ajustam o ângulo de ataque da aeronave a fim de se manter esta velocidade em potência máxima.

Outro modo que rege o sistema *fly-by-wire Airbus* é o seguinte:

¹⁸Overspeed: operação a uma velocidade superior à normal ou nominal que pode vir a causar danos estruturais.

¹⁹Ângulo de ataque: ângulo formado pela corda do aerofólio (maior distância entre o bordo de ataque (parte frontal da asa) e o bordo de fuga da asa (parte de trás asa)) e a direção do seu movimento relativo ao ar.

- Alternate Law: em caso de falhas múltiplas do sistema, esse modo entra em operação e grande parte dos sistemas de proteção contra atitudes anormais estão inoperantes. Apenas sinais sonoros estão presentes para alertar os pilotos em caso de alguma situação que possa representar risco, como por exemplo o *stall*, situação que pode ocorrer em voo em que a aeronave perde sustentação e começa a perder altitude rapidamente. O modo *Alternate Law*, se divide em dois:

- Alternate Law with Protections: A proteção de ângulo de curva (*Bank Angle*) não mais atua nessa situação, ou seja, as ações dos pilotos em inclinar lateralmente a aeronave não são mais processadas pelos *FCCs*, as mesmas são transmitidas diretamente para as superfícies de controle da aeronave. Outra importante proteção perdida é a Proteção de Ângulo de Ataque (α *Protection*), sendo possível agora colocar a aeronave em uma situação de perda de sustentação, o *stall*;

- Alternate Law without Protections: Esse modo se assemelha bastante com o anterior, porém só entra em ação quando houver uma degradação ainda maior do sistema, nesse caso, proteções contra baixa velocidade serão perdidas. A única proteção ativa nesse caso será a Proteção de Fator de Carga, já mencionada anteriormente.

Ainda relacionando os modos de operação das *Control Laws*, temos:

- Direct Law: esse modo de operação é ativado quando ocorrem falhas generalizadas no sistema, todas as proteções são perdidas. As ações dos pilotos sobre a aeronave não são mais processadas, elas resultam em um movimento direto na superfície de controle da aeronave. Para auxiliar no controle lateral da aeronave, a taxa de curva (*Roll Rate*) é limitada em 30° por segundo com *flaps* recolhidos e em 25° por segundo com *slats*²⁰ estendidos. O sistema utiliza inicialmente os *spoilers* (*speedbrakes*) externos 4 e 5 (FIG. 14). E em caso de falha destes, o *spoiler* de numero 3 é acionado. Caso os *ailerons*²¹ da aeronave não respondam devido a falha, todos os *spoilers* são ativados para auxiliar nas curvas.

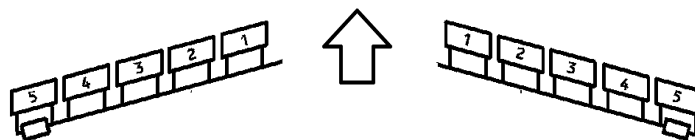


Figura 14 - Posição e numeração dos Spoilers nas asas de uma aeronave A320.

Fonte: EASYJET (2012, p. DSC-27-30-10 P 2/4, adaptado).

²⁰Slats: dispositivos localizados na parte frontal da asa (bordo de ataque) de uma aeronave que auxiliam no escoamento do ar pela asa em elevados ângulos de ataque.

²¹Ailerons: partes móveis localizadas na parte traseira da asa (bordo de fuga) que servem para controlar o movimento em torno do eixo longitudinal da aeronave.

Para finalizar os modos de operação, temos o seguinte:

- Mechanical Backup: não constitui uma lei do sistema *fly-by-wire*, porém é um modo de controle ativado em caso de uma falha elétrica total. O controle primário do avião é então perdido, haja vista que praticamente todos os comandos são acionados eletricamente. Para controlá-lo, é preciso então lançar mão dos pedais de direção²² para executar curvas laterais e do compensador manual²³ (*Trim Wheel*) para qualquer alteração do ângulo de subida ou descida da aeronave.

Os modos de operação das *Control Laws* que regem o sistema *fly-by-wire*, não podem ser selecionados pelos pilotos, pois se constituem em degradações automáticas internas em função das condições operacionais dos sistemas da aeronave.

A filosofia *Airbus* sugere que a automação sabe mais do que o piloto e, portanto, tem a decisão final.

A *Boeing* acredita que os pilotos possuem melhores condições de avaliar e julgar uma situação e, portanto, devem tomar a decisão final. Uma outra grande diferença em ambas aeronaves são os controles de voo. No *Airbus*, os *sidesticks* do piloto e do copiloto não se movem juntos quando este recebe um *input*²⁴, são independentes um do outro. Já no *Boeing*, quando o piloto comanda o manche²⁵, o manche do copiloto se move da mesma forma, ou vice-versa (Balog, 2015). A falta de *feedback* entre os *sidesticks* foi um dos fatores contribuintes na queda do *Airbus A330* da *Air France*, operando o voo *AF 447* entre o Rio de Janeiro e Paris, em 2009 (BEA, 2012). Também na filosofia *Airbus*, os comandos do piloto automático e do *autothrottle* sobre a aeronave passam despercebidos, pois os *sidesticks* e as manetes de potência não se movem. Isso acaba contribuindo para a falta de transparência da automação na cabine de comando. Já nas aeronaves *Boeing*, os comandos do piloto automático e do *autothrottle* sobre a aeronave não passam despercebidos, pois tanto o manche como os manetes de potência se movimentam. Além disso, a *Boeing* lança mão de recursos eletromecânicos que geram vibrações artificiais no manche, dando assim uma melhor sensação aerodinâmica e aumentando a consciência situacional dos pilotos (BALOG, 2015).

²²Pedais de direção: acionados pelos pés dos pilotos para taxiar a aeronave em solo e para movimentar a aeronave em voo em torno do seu eixo vertical.

²³Compensador manual: dispositivo localizado na cabine de comando das aeronaves utilizado pelos pilotos para diminuir os esforços aplicados nos controles de voo.

²⁴Input: força ou energia colocada em uma máquina ou sistema.

²⁵Manche: dispositivo utilizado para controlar a aeronave (FIG. 16).



Figura 15 - Cockpit de um Airbus A320 e seus Sidesticks em destaque.
Fonte: Adaptado de GEEK (2016).



Figura 16 - Cockpit de um Boeing 737-800 e seus Manches (Yoke) em destaque.
Fonte: Adaptado de WALLPAPER SAFARI (2017).

3 ESTUDO DE CASO

3.1 TAM 3054

No fatídico dia 17 de julho de 2007, uma aeronave *Airbus* modelo *A320* da companhia *TAM Linhas Aéreas* com matrícula *PR-MBK* (FIG. 17), operando o voo de número *JJ3054* procedente de Porto Alegre – Rio Grande do Sul, colidiu junto a um prédio da própria *TAM*, localizado nas proximidades do Aeroporto de Congonhas – São Paulo, após não ter conseguir desacelerar depois do pouso. Ao todo, 199 pessoas vieram a falecer, sendo 2 pilotos, 4 comissários de bordo, 181 passageiros e 12 pessoas que se encontravam em solo. O comandante do voo possuía vasta experiência, sendo 2.236 horas de voo no modelo da aeronave acidentada e um total geral de 13.654 horas de voo. Já o copiloto possuía 237 horas de voo no modelo da aeronave acidentada e um total geral de 14.760 horas de voo (CENIPA, 2009). A investigação do acidente foi conduzida pelo *Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA)*. No dia do acidente, as condições do Aeroporto de Congonhas não se encontravam ideais, a pista estava bastante escorregadia e molhada devido a fortes chuvas na região. Ainda para agravar aquela situação, o reversor do motor direito da aeronave encontrava-se inoperante naquele dia. Uma das linhas de raciocínio encontradas pelo *CENIPA* para compreender melhor o ocorrido, foi que as condições da pista naquele momento levaram a aeronave a um fenômeno chamado de hidroplanagem²⁶ que, somada ao posicionamento equivocado das manetes de potência, impossibilitou que a aeronave perdesse energia e viesse a parar em tempo hábil, levando a aeronave a ultrapassar o limite de parada e a colidir com um prédio da própria companhia (CENIPA, 2009).



Figura 17 - Aeronave Airbus A320 envolvida no acidente (TAM 3054).
Fonte: JAKA FOTOGRAFIA (2007).

²⁶Hidroplanagem: fenômeno que ocorre em aeronaves/veículos quando passam sobre água ou lama e os pneus perdem o contato com a pista.

No que tange ao treinamento, alguns aspectos foram observados durante a investigação. Devido a grande necessidade de mão de obra por parte da TAM, os pilotos seguiam um cronograma de instrução teórica até mais completo do que o programa sugerido pela fabricante da aeronave, no caso a *Airbus*, porém o treinamento prático era deficiente, contudo respeitava a legislação vigente na época do ocorrido. Com relação a padronização de certos procedimentos, por exemplo, antes do acidente e até a data do ocorrido, adotavam-se técnicas específicas para a posição dos manetes de potência no caso de pouso com um dos reversores inoperantes. Objetivando garantir a segurança, eficiência nas operações e minimizar erros, a *Airbus* fez modificações nesse procedimento para assim evitar o posicionamento errado dos manetes de potência (CENIPA, 2009). O relatório sugere que o comandante julgou certas variáveis envolvidas, como comprimento de pista para a parada completa e segura da aeronave como sendo insuficiente e capacidade de frenagem reduzida, visto que as condições meteorológicas no momento do acidente eram desfavoráveis para isso.

Essas suposições reforçam a disposição errônea que se encontravam os manetes de potência no momento do acidente. No caso da aeronave *Airbus A320*, bem como na grande maioria das aeronaves de sua categoria, além dos reversores que auxiliam na desaceleração da aeronave, existe também o chamado "*autobrake*", sistema automático de frenagem em solo e os "*ground spoilers*" que são nada mais do que freios aerodinâmicos.

A função automática "*ground spoiler*" permite que a abertura do "*spoiler*" ocorra automaticamente, assim que os trens de pouso principais tenham tocado o solo, desde que os manetes de potência estejam na posição "IDLE". A permanência de um manete na posição "CL" {subida}, durante o pouso desativa a atuação dos "*ground spoilers*", deteriorando significativamente a capacidade de frenagem da aeronave (de 45% a 50%).

[...]

O A-320 também é equipado com um sistema automático de frenagem com a finalidade de auxiliar o piloto na desaceleração da aeronave após o pouso {onde} uma progressiva pressão é enviada para os freios, respectivamente dois ou quatro segundos após a abertura do "*ground spoiler*". Portanto, a ativação do sistema automático de frenagem requer a deflexão do "*ground spoiler*" (CENIPA, 2009, p. 68).

Diante do exposto, fica evidente que o "*ground spoiler*" não acionara, pois, os manetes de potência da aeronave se encontravam na posição incorreta logo após pouso, levando ao não acionamento do sistema automático de frenagem. Porém, de acordo com o relatório final, fica claro que nenhum sinal audiovisual foi disparado para alertar os pilotos daquela situação potencialmente perigosa, no caso a posição incorreta dos manetes de potência.

Ao longo da investigação, constatou-se que, na aeronave A-320, é possível, durante o pouso, posicionar um dos manetes de potência na posição "REV" {reverso} e outro na posição "CL" {subida}. No caso específico do PR-MBK, constatou-se que não havia um dispositivo na aeronave que alertasse os pilotos quanto ao posicionamento conflitante dos manetes em relação à condição para o pouso (CENIPA, 2009, p. 84).

Dessa maneira, a complexidade dos sistemas da aeronave *Airbus A320* exige a existência de um sistema de alerta próprio objetivando aumentar a consciência situacional dos pilotos para cenários como esse.

O sistema de automação do A-320 é complexo e leva o piloto a, inconscientemente, criar um modelo mental na tentativa de compreender a maneira como se processa a operação da aeronave e, assim, facilitar a sua interação com ela. Ocorre que, como já foi visto, a mente humana só consegue formar modelos mentais simplificados, que podem até servir para compreensão das operações normais, mas que são insuficientes para situações mais complexas e não rotineiras. Como consequência, diante de uma situação anormal, cresce a importância dos sistemas de alerta da própria aeronave como provedores das informações para a manutenção da consciência situacional pela tripulação, em vista da fragilidade de seu modelo mental. O próprio fabricante reconheceu esta importância ao desenvolver uma melhoria [...] que aciona um alarme específico com uma mensagem no ECAM, alertando os pilotos de que um manete estaria numa posição {equivocada durante o pouso} (CENIPA, 2009, p. 84).

O alto nível de automação empregado nas aeronaves estabelece conseqüentemente uma relação hierárquica entre piloto e computador. Durante situações anormais, o piloto está sempre condicionado a confiar na automação, esperando por orientações para que uma tomada de decisão seja executada. No caso do *TAM 3054*, essas orientações infelizmente não ocorreram, pois de acordo com a lógica do sistema, não havia nenhuma anormalidade presente naquela situação.

Obviamente, o sistema não determinou nenhum procedimento porque funcionava da forma como fora projetado para funcionar. Em outras palavras, para o sistema não havia falha e, conseqüentemente, não haveria procedimento a propor. Contudo, existe uma inadequação na própria lógica de percepção e resposta da automação da aeronave. Essa permite que a tripulação coloque a aeronave em uma condição crítica e não oferece informações suficientes e oportunas para que a tripulação retome a consciência situacional e saia daquela condição (CENIPA, 2009, p. 88).

O relatório final sugere algumas recomendações em sua conclusão, como a possibilidade de se efetuar melhorias no que tange a eficiência e o modo de atuação dos sistemas de frenagem da aeronave. Foi também sugerido a fabricante *Airbus*, que reverse os

algoritmos de programação responsáveis pela atuação dos dispositivos de frenagem. Perante ao órgão regulamentador da aviação civil brasileira, a *ANAC*, houve uma fomentação para a confecção de uma Diretriz de Aeronavegabilidade com o intuito de sugerir alterações no projeto do *Airbus A320* e, dessa forma, maximizar a Segurança Operacional e evitar que acidentes como essa voltem a ocorrer.

3.2 Asiana 214

No dia 6 de julho de 2013, um *Boeing 777-200ER* (FIG. 20), com registro sul coreano *HL7742*, operando o voo de número 214 da companhia *Asiana Airlines*, estava em aproximação final quando atingiu uma parede quebra-mar (FIG. 18), localizadas nas proximidades da pista do *Aeroporto Internacional de San Francisco (SFO)*, *San Francisco, Califórnia*. Três passageiros vieram a falecer, de um total de 291 pessoas a bordo, e grande parte ficaram feridos. O voo tinha como origem o *Aeroporto internacional de Incheon, Seoul, Coréia do Sul*. A aeronave ficou totalmente destruída (FIG. 19) devido ao impacto e a um incêndio que ocorreu logo após o impacto com o solo (NTSB, 2014).



Figura 18 - Parede quebra-mar onde ocorreu o primeiro impacto.
Fonte: JACDEC (2014).



Figura 19 - Situação da aeronave pós queda.
Fonte: JACDEC (2014).

De acordo com o relatório, no momento do acidente, o piloto que estava no comando da aeronave era aspirante a comandante e passava por adaptação naquela aeronave, ele possuía cerca de 9.684 horas totais de voo, porém apenas 33 horas de voo no modelo daquela aeronave. Havia também um piloto instrutor com 3.208 horas de voo no mesmo modelo da aeronave, um segundo comandante e um copiloto a bordo da aeronave. O acidente se deu após uma aproximação não estabilizada, em que o trem de pouso da aeronave e parte

da fuselagem traseira colidiram contra a parede quebra-mar, localizado próximo a pista de pouso, como já citado anteriormente. No impacto, parte da fuselagem traseira se separou do restante da aeronave, fazendo com que a mesma perdesse totalmente o controle vindo a parar somente a 730 metros de distância em relação ao ponto de impacto.



Figura 20 - Aeronave Boeing 777 envolvida no acidente (Asiana 214).
Fonte: DEFESA AÉREA & NAVAL (2013).

Segundo o relatório gerado pelo *NTSB*, dentre as causas do acidente estão:

O não monitoramento adequado da descida da aeronave por parte dos pilotos durante a aproximação visual devido a deficiência no treinamento, a desativação sem intenção do controle automático de velocidade por parte do piloto em comando no momento do acidente, o monitoramento inadequado da velocidade e a demora na tomada de decisão para realizar uma arremetida (NTSB, 2014, p. 118).

A investigação constatou que o piloto em comando da aeronave não tinha conhecimento adequado a respeito do funcionamento do *autothrottle*. Conseqüentemente, isso fez com que durante a aproximação para o pouso, ele desativasse, de maneira inconsciente, o controle automático de velocidade fazendo com que a aeronave se aproximasse muito abaixo do ideal e, conseqüentemente, vindo a colidir com a parede quebra-mar. O copiloto, no momento do acidente, havia tomado conhecimento da situação muito tarde, quando já não era mais possível arremeter a aeronave (NTSB, 2014). Em entrevista concedida ao *NTSB*, os pilotos afirmaram que o modo de operação do *autothrottle* do *Boeing 777* não era muito claro e que vários pilotos da própria companhia também não tinham conhecimento suficiente a respeito de seu funcionamento, isso devido a falta de informação dos modos de operação desse sistema no manual de operação da aeronave. Diante disso, a *Boeing*, em parceria com outros órgãos aeronáuticos de grande relevância, constatou uma série de lacunas no treinamento dos pilotos quando em transição de aeronaves. Cerca de 23% dos pilotos sentiam-

se incapacitados em operar os sistemas automatizados da nova aeronave, 42% consideraram o treinamento inadequado e 62% só se sentiram confiantes em operar os sistemas automáticos após 3 meses ou mais, isso quando já em operação (NTSB, 2014). Um fato relevante, na investigação realizada pelo *NTSB*, apontou que a confusão gerada na operação do *autothrottle* abrange também outros modelos da fabricante *Boeing*. Em 2010, durante voos de teste na aeronave *Boeing 787*, o piloto relatou que o sistema *autothrottle* havia se comportado de maneira inesperada causando assim certa confusão em sua operação. Esse aspecto operacional causador de confusão nos pilotos, não foi mencionado durante o processo de certificação do *Boeing 777* na década de 1990. Porém, em relação ao *Boeing 787*, autoridades americanas e europeias demonstraram preocupação quanto ao modo de operação e manuseio do sistema *autothrottle* (NTSB, 2014).

A grande complexidade dos sistemas automatizados pode levar a modelos mentais contorcidos em relação a lógica de automação. Os sistemas empregados nas aeronaves *Boeing 777* contém diversos subsistemas. Esses subsistemas são interconectados e possuem outros modos de operação. Pesquisas apontaram que os pilotos apresentam dificuldade em compreender as interligações entre esses subsistemas que compõem os sistemas automatizados. Tais dificuldades podem potencialmente causar erros de interpretação durante situações não rotineiras. Mas podem ser minimizadas através de melhorias no treinamento dos pilotos para com os sistemas e também reduzindo a complexidade do projeto (NTSB, 2014, p. 111).

Como se observa no relatório, a companhia *Asiana* incentivava o uso dos sistemas automatizados e suas derivações durante todas as etapas do voo, exceto durante na aproximação final, já a 300 metros acima do solo, onde o piloto automático seria desativado, mas o *autothrottle* deveria ser utilizado mesmo nessa etapa de voo manual (NTSB, 2014, p. 120). Porém vale ressaltar que para se voar a aeronave em modo manual, nessas condições, faz-se necessário a prática incessante de tal procedimento durante os treinamentos, de modo a familiarizar os pilotos para tal situação e prepará-los para uma possível situação inesperada. Contudo, um piloto e instrutor da própria companhia *Asiana* afirmou em uma entrevista que:

O voo manual era um grande tabu para todos, e acreditava-se que os pilotos da companhia buscavam evitar tal situação devido ao receio em proceder de maneira errônea e também para evitar que a companhia os apontassem em caso de um pouso fora dos padrões (NTSB, 2014, p. 120).

Esse acidente promoveu diversas modificações nas normas operacionais ao redor do mundo. As que mais se destacam são: as companhias aéreas têm até o ano de 2019 para

implantarem em seu programa de treinamento a realização de procedimentos que abordem voos controlados manualmente em situações de baixa velocidade, perda dos dados de velocidade durante operações manuais, realização de procedimentos manuais e por instrumentos simultaneamente e, por fim, manobras de evasivas de recuperação (NTSB, 2014). Ao final da investigação, a *NTSB* também emitiu uma série de recomendações de segurança, tanto para a fabricante da aeronave envolvida no acidente, a *Boeing*, quanto para a operadora da aeronave, a *Asiana Airlines*:

- Revisão geral do manual de operação da aeronave *Boeing 777*, de modo a incluir orientações específicas quanto aos modos de operação dos sistemas automáticos;
- Treinamento mais abrangente e que promova maior prática para situações de voo manual;
- Reforçar durante os programas de treinamento um enfoque mais claro e conciso dos modos de operação dos sistemas automatizados da aeronave.

3.3 Air France 447

No dia 31 de maio de 2009, uma aeronave *Airbus* modelo *A330* (FIG. 21) operado pela companhia aérea francesa *Air France*, com matrícula de número *F-GZCP*, decolou às 22h20min do *Aeroporto Internacional Tom Jobim – Galeão – Rio de Janeiro* com destino ao *Aeroporto Charles de Gaulle, Paris – França*.



Figura 21 - Aeronave Airbus A330 envolvida no acidente (AF447).
Fonte: B3A (2009).

Nesse voo, o piloto que ocupava o assento da direita na cabine de comando era, no momento do acidente, quem estava no comando da aeronave. Já era madrugada do dia 1º de junho de 2009 quando uma série de eventos catastróficos começaram a surgir, eventos que tragicamente levaram a morte das 228 pessoas a bordo. O primeiro acontecimento significativo se deu quando a aeronave já se encontrava em nível de cruzeiro, a 35.000 mil pés

sobre o Oceano Atlântico, e os sistemas do piloto automático e *autothrust* desacoplaram. A aeronave atravessava uma região potencialmente perigosa, devido a grande atividade meteorológica naquela ocasião, e cristais de gelo começaram a se formar de modo a bloquear as sondas externas chamadas *tubos de pitot*, responsáveis pelo funcionamento de diversos instrumentos, inclusive do velocímetro da aeronave. Devido a obstrução, as indicações de velocidade começaram a oscilar de maneira incoerente, passando a indicar 60kts sendo que a aeronave se encontrava a 275kts naquela fase do voo.

Instintivamente, e de maneira equivocada, o piloto no comando imaginou que poderia solucionar aquele problema puxando o *sidestick* para trás. Isso fez com que a aeronave começasse a subir e, por estar com indicação de baixa velocidade, o alarme de *stall* ativou por algumas vezes. Logo em seguida, o piloto, que era responsável por monitorar o voo, alertou ao outro piloto, que estava no comando, de que eles deveriam descer ao invés de subir, porém a aeronave continuou a subir. Instantes depois, alarmes e avisos de *stall* voltam a surgir, agora de maneira contínua. O piloto, em resposta a isso, posicionou os manetes de potência da aeronave na posição TO/GA (FIG. 4) e permaneceu com a aeronave em atitude de subida, porém com o ar ficando cada vez mais rarefeito, devido a grande altitude, os motores começaram a perder rendimento, não conseguindo mais manter a atitude de subida imposta, que no momento era de 38.000 pés.

O piloto, que se encontrava até então monitorando o voo, assumiu os controles da aeronave imediatamente, porém o outro piloto, que antes estava no comando, retomou os controles para si. Um minuto após essa sequência de eventos, o comandante da aeronave, que se encontrava no seu ambiente de descanso, percebendo algo errado retornou de imediato a cabine de comando, porém, sem ter percebido, ele já havia sido requisitado a comparecer no *cockpit* instantes antes. Nesse momento, a aeronave já se encontrava totalmente desconfigurada, descendo a uma taxa de 10.000 pés por minuto, sem indicação de velocidades, fora do seu envelope de voo e com o alerta de *stall* soando continuamente na cabine. As 2 horas, 14 minutos e 28 segundos, do dia 1º de junho de 2009, a gravação da caixa preta termina. Toda essa sequência de eventos catastróficos, durou menos de 4 minutos e 30 segundos.

Os destroços do acidente foram encontrados a mais de 4 quilômetros de profundidade, no Oceano Atlântico, porém as caixas pretas, que registram parâmetros do voo e dados de voz, foram localizadas somente 2 anos após o acidente. Conforme já explicado anteriormente, os modos de operação (*Control Laws*) do sistema *Fly-by-wire* do *Airbus A330*, são os mesmos empregados nas aeronaves *Airbus A320*. As leituras dos dados, obtidos através

da caixa preta, revelaram que o piloto em comando, no momento e instantes antes do acidente, manteve a aeronave em atitude subida durante todo o tempo.

Como já é sabido, a fabricante *Airbus* emprega, em suas aeronaves, sistemas de proteção ao voo que, quando operando em modo *Normal Law*, impede que o piloto inadvertidamente coloque a aeronave em uma atitude que possa representar risco para a segurança do voo. Porém quando ocorre uma mudança do modo *Normal Law* para o *Alternate Law*, devido a degradação ou falha do sistema, algumas proteções são perdidas, inclusive a que previne a aeronave de entrar em uma atitude perigosa que possa levar ao *stall* e foi isso exatamente o que aconteceu no caso do *AF447*.

Como os *tubos de pitot* ficaram obstruídos devido aos cristais de gelo, os *FCCs* da aeronave perderam totalmente a referência de dados de velocidade, estando assim parcialmente incapacitados a orientar os pilotos de como proceder de maneira segura. Nessa situação, o único recurso advindo dos *FCCs* é um alerta audiovisual indicando velocidade baixa. Porém, devido a situação tensa e descontrolada, os pilotos não conseguiram interpretar quais proteções realmente estariam ativas naquele momento. Outro aspecto relevante no que tange ao funcionamento dos sistemas automatizados, é que o piloto automático e o *autothrust* se desconectam automaticamente durante situações como essa, em que parte das variáveis de voo são perdidas.

Toda vez que o *autothrust* é desconectado, o *Flight Director*²⁷ (*FD*), desaparece e reaparece logo em seguida causando certa confusão nos pilotos. Nesse caso específico do *AF447*, o *FD* estava induzindo os pilotos a manter um ângulo de subida de aproximadamente 15°, o que era contraditório, pois a aeronave estava perdendo velocidade naquela atitude e o correto seria imprimir uma razão negativa de descida, ou seja, baixar o nariz da aeronave fazendo assim com que ela ganhasse velocidade. Essa incoerência pode ter induzido o piloto a levar a aeronave para uma atitude potencialmente catastrófica.

O aviso de *stall* não é em função da velocidade, mas sim em função do ângulo de ataque. Pela configuração do sistema, quando a velocidade indicada é menor que 60kts, o ângulo de ataque não é computado já que o sistema considera que ele não é confiável. Acontece que no caso do 447, o pitot congelou e a velocidade indicada caiu para menos de 60kts, porém o avião estava voando com uma velocidade muito maior, somente a indicação de velocidade é que estava errada. Portanto, isso inibiu o aviso de *stall* em algumas situações e o fez funcionar de maneira estranha.

²⁷Flight Director (FD): está relacionado com o sistema de piloto automático. Trata-se de um guia em forma de cruz normalmente na cor magenta sobreposto ao instrumento horizonte artificial, que mostra a atitude ideal do avião para determinada fase do voo.

Até o fim do voo o valor do ângulo de ataque mudou constantemente de válido para inválido. Cada vez que o valor era considerado válido pelo sistema, o aviso de stall tocava. Quando era inválido, o aviso parava. Vários comandos de baixar o nariz realizados pelo copiloto (sendo isso o procedimento correto) ocasionaram um aumento na velocidade indicada e posterior validade do sensor de ângulo de ataque, o que ocasionava o aviso de stall. Em duas ocasiões o copiloto, ao perceber o alarme de stall, puxava novamente o sidestick, diminuindo a velocidade e parando o aviso (PILATI, 2012, p. 59).

O piloto que estava monitorando o voo naquele momento, como dito anteriormente, somente percebeu que a aeronave estava em uma atitude errada, segundos antes da queda, quando o piloto em comando disse que estava mantendo o nariz da aeronave para cima o tempo todo. Nesse momento, já era impossível recuperar a aeronave daquela situação.

A perda de indicação de velocidade durante o voo é prevista pelo fabricante da aeronave, não sendo um problema de extrema urgência se gerenciada com rapidez pela tripulação. A ocorrência deste problema durante o AF447 pegou os dois tripulantes de surpresa. As aparentes dificuldades no controle do avião em alta altitude levaram a controles excessivos de roll e um comando agressivo de pitch up. Colaboraram pra isso as indicações errôneas de velocidade, mensagens confusas no ECAM que não ajudaram no diagnóstico da situação, e ainda, no momento do acidente, não havia treinamento disponível para recuperação de stall em altas altitudes, o que, provavelmente, levou o PF a realizar o procedimento que ele havia treinado no simulador: Aplicar potência máxima e aumentar o pitch para 15°. Porém, agora, fica claro (através do Hindsight Bias) que esta não era a melhor alternativa já que o ângulo de ataque máximo do aerofólio a Mach 0.8 (alta altitude) é muito menor do que a Mach 0.3 (baixa altitude), resultando assim em um stall. Infelizmente os pilotos não tiveram esta visão que temos hoje, porém não por culpa deles, mas sim se todo um background que começa desde o treinamento deles. O avião entrou em stall, o que foi avisado pelo aviso sonoro e uma vibração muito forte da estrutura (Buffet). Apesar destes sintomas clássicos, nenhum dos tripulantes percebeu o que estava acontecendo, não aplicando a manobra de recuperação. A combinação da ergonomia do design dos avisos de emergência, as condições nas quais pilotos de linha aérea são treinados e expostos à stalls durante o treinamento profissional e o processo de treinamento regular não gera nenhum comportamento aceitável nesta situação (PILATI, 2012, p. 60).

Analisando de modo geral toda a sequência de eventos que levou a esse acidente, pode-se pontuar os seguintes fatores contribuintes:

Obstrução temporária dos tubos de pitot, provavelmente por cristais de gelo, o que resultou na desconexão do piloto automático e perda das proteções de voo; comandos inapropriados que desestabilizaram a aeronave; a falta de alguma conexão entre a perda de velocidade indicada e o procedimento

correto a ser executado; a identificação tardia por parte do PM do desvio da trajetória de voo e a correção insuficiente por parte do PF; a tripulação não ter identificado a iminência do stall; a falta de uma resposta imediata e a saída do envelope de voo; a falha da tripulação não ter diagnosticado a situação de stall e conseqüentemente a falta de estímulos que teriam tornado possível a recuperação (PILATI, 2012, p. 61).

Essa seqüência de eventos, pontuadas no relatório final, podem ser respondidas levando em conta diversos fatores, entre eles:

A tripulação não levar em conta o aviso de stall, o que pode ser devido: a falha de identificar o aviso sonoro em virtude da pouca exposição durante o treinamento ao fenômeno do stall, vibração da aeronave e aviso sonoro; ao aparecimento de avisos transientes no começo do evento que podem ser considerados como espúrios; a falta de qualquer informação visual para confirmar a aproximação de um stall depois da perda de velocidade indicada; a possível confusão de uma situação de overspeed na qual a vibração também é considerada como um sintoma; as indicações do Flight Director que podem ter levado a tripulação a acreditar que suas ações eram apropriadas, quando na verdade não eram; a dificuldade no reconhecimento e entendimento das implicações da reconfiguração da aeronave para modo alternado sem proteção de ângulo de ataque (PILATI, 2012, p. 61).

4 CONCLUSÃO

Em menos de uma década, a automação revolucionou a aviação em vários aspectos. A começar pelos aspectos positivos temos: redução da carga de trabalho sobre os pilotos, redução da frequência de erros humanos, redução de custos operacionais, aumento na eficiência e na confiabilidade das operações aéreas, como já citado anteriormente, por BILLINGS (1997). Os recursos disponíveis são tão diversos que basicamente o voo deixou de ser uma atividade manual e passou a ser um gerenciamento dos diversos sistemas embarcados. Porém toda essa tecnologia advinda da automação pode, em alguns casos, atrasar ou até limitar a familiarização com esses novos equipamentos, devido a sua complexidade. Em um primeiro contato, os atuais *cockpits* podem até causar certo espanto nos pilotos, devido à grande quantidade de monitores, telas e dispositivos eletrônicos ali presentes.

Ademais, no que tange a esse aspecto, a automação, de certa maneira, favorece a formação de um estado de complacência por parte dos pilotos, pois devido a reconhecida eficiência do computador, a confiança depositada pelo piloto na sua infalibilidade o leva a se acomodar no monitoramento das condições de voo, acreditando que tudo esteja sob o mais absoluto controle. Isso acaba por reduzir a consciência situacional dos pilotos, colocando em cheque assim a Segurança Operacional, especialmente durante situações não rotineiras, conforme foi detalhado em todos os estudos de caso aqui realizados.

Obviamente, como já dito aqui, a automação foi introduzida na aviação com o intuito de melhorar de maneira geral as operações aéreas em todos seus aspectos. Mas assim como em qualquer outro setor, a automação, mesmo quando bem implementada, pode também oferecer certos inconvenientes e desafios que podem ser amenizados através de rígidos programas de treinamento técnico e gerencial de voo, incluindo fundamentalmente o *Corporate Resource Management (CRM)*, simuladores sintéticos de voo periódicos que já são adotados atualmente, dentre outros procedimentos que visem, primordialmente, à padronização nas operações aéreas e à redução dos índices de ocorrências de acidentes. E também, conforme apontado pela fabricante *Airbus* em um de seus estudos conduzidos em 2004, erros na utilização e gestão do sistema de voo automático e a falta de consciência dos modos de operação são fatores contribuintes em mais de 20% dos acidentes que ocorrem durante os procedimentos de aproximação e pouso.

Fica evidente assim, a necessidade de se estabelecer, além de cursos e treinamentos a respeito da operação da aeronave, treinamento adequado dos modos de operação dos sistemas automatizados embarcados. Conforme apontam as análises dos estudos

de caso aqui abordados, os pilotos durante as situações de emergência/não rotineiras, não conseguiram gerenciar os problemas de maneira eficiente, pois não estavam cientes dos modos de operação, alarmes e advertências advindas dos sistemas automatizados da aeronave.

Ainda com o intuito de se estabelecer uma relação mais harmoniosa entre Homem/Meio/Máquina, tomando por base os estudos de caso, faz-se necessário que as fabricantes, dessas aeronaves citadas, façam melhorias no quesito da transparência do automatismo e seus modos de operação perante aos pilotos. O *CENIPA* constatou durante as investigações do caso *TAM 3054*, por exemplo, que não havia nenhum dispositivo na aeronave (*Airbus A320*) que alertasse os pilotos quanto ao posicionamento errado dos manetes de potência, em relação à condição para o pouso naquela ocasião, o que acabou levando ao maior desastre da aviação brasileira até então.

Diante disso, cresce a importância dos sistemas de alerta da própria aeronave - maior transparência- como provedores de informações para a manutenção da consciência situacional dos pilotos, tendo em vista a fragilidade de seu modelo mental.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de alcançar os resultados, a metodologia utilizada foi a revisão bibliográfica baseada em diversas fontes secundárias, ou seja, estudos previamente já desenvolvidos por renomados autores vinculados ao ramo da aviação e que possuem amplo conhecimento em sistemas automatizados empregados em aeronaves, publicados através de artigos, revistas e dissertações nacionais e, em sua maioria, internacionais. Foram também utilizados como fontes para a pesquisa, os manuais das aeronaves *Airbus* e *Boeing*, bem como relatórios finais de acidentes ocorridos nos últimos anos com aeronaves comerciais que tiveram grande relevância ao redor do mundo e que também tiveram, de alguma forma, ligação com o automatismo, seja pelo excesso, falta ou falha do mesmo.

Os principais aspectos, de ambas as filosofias em epígrafe a serem levantados para este trabalho, são os relacionados a Segurança Operacional; diminuição da carga de trabalho no *cockpit*; histórico de acidentes causados pela falta ou excesso de automação em aeronaves *Airbus* e *Boeing*; levantar características peculiares dos sistemas automatizados de ambas as filosofias individualmente e, finalmente, analisar o impacto que tais características causam na operação dessas aeronaves.

REFERÊNCIAS

ABREU JR, Célio Eugênio de. **Automação no cockpit das aeronaves: um precioso auxílio à operação aérea ou um fator de aumento da complexidade no ambiente profissional dos pilotos?** Ação ergonômica. v. 3, n. 2, 2008. Disponível em: <<http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/viewFile/63/60>>. Acesso em: 17 Out. 2016.

AIRBUS. **Flight Operations Briefing Notes: Approach and Landing**. 2004. Disponível em: <http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-GEN-SEQ01.pdf>. Acesso em: 21 Set. 2016.

AIRCRAFT OWNERS AND PILOTS ASSOCIATION – AOPA. **Technologically Advanced Aircraft Safety and Training**. Safety Center, 2007. Disponível em: <<http://download.aopa.org/asf/TAA2007.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2016.

AIRLINERS.NET. **Airbus A350-941 – Airbus (Qatar Airways)**. <http://www.airliners.net/photo/Airbus-Qatar-Airways/Airbus-A350-941/2474310?qsp=eJwtjTEOwkAMBL8SuaYARVCKgw9AwQeMbcEpgTvZjuAU5e%2BYE91odrW7AOWXy8evtQgMYIJKD9hAQcWnwbDAKPWdlYMBk95m67DfbzvKNJbkUbWsfqoRM7ociaS48N%2BflUV/kRi11Xu87AJEL42hP4TnZGXCTiGOaYJ1/QLnajNH>. Acesso em: 24 maio 2017.

B3A. **Crash of an Airbus A330 in Fernando de Noronha: 228 killed**. Disponível em: <http://www.baaa-acro.com/2009/archives/crash-of-an-airbus-a330-in-fernando-de-noronha-228-killed/>. Acesso em: 23 maio 2017.

BALOG, R. C. Whose automation philosophy is best? **Aerospace America**. p. 32-35, jul./ago. 2015. Disponível em: <http://www.aerospaceamerica.org/Documents/Aerospace%20America%20PDFs%202015/July-August%202015/AA_Jul-Aug2015_Feature3_BoeingVsAirbus.pdf>. Acesso em: 07 set. 2016.

BHANA, H. **Trust but verify**. The journal of flight safety foundation. jun. 2010. Disponível em: <http://flightsafety.org/asw/jun10/asw_jun10.pdf>. Acesso em: 08 Set. 2016.

BILLINGS CE. **Aviation automation: the search for a human-centered approach**. Mahwah, NJ: The Ohio State University/Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1997. Disponível em: <<http://sunnyday.mit.edu/16.355/Billings.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2016.

BRIERE, Dominique. **Electrical Flight Controls, From Airbus A320/330/340 to Future Military Transport Aircraft: A Family of Fault-Tolerant Systems**. 2001. Disponível em: <http://www.davi.ws/avionics/TheAvionicsHandbook_Cap_12.pdf>. Acesso em: 07 maio 2017.

BUREAU D'ENQUÊTES ET D'ANALYSES – BEA. **Final Report on the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris**. julho 2012. Disponível em: <<https://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601.en/pdf/f-cp090601.en.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2016.

CENIPA, **Relatório final TAM JJ3054**, 2010. Disponível em:

<<http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/pdf/RF3054.pdf>>. Acesso em: 07 maio 2017.

CIVIL AVIATION AUTHORITY (CAA). **CAA Paper 2004/10 - Flight Crew Reliance on Automation**. Simon Wood, Cranfield University, 22 Dec. 2004.

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

DEFESA AÉREA & NAVAL. **Asiana Airlines Boeing 777-200**. 2017.

EASYJET. **A319/A320 Flight Crew Operating Manual**. 2012. Disponível em: <

http://nicmosis.as.arizona.edu:8000/ECLIPSE_WEB/TSE2015/A320_DOCUMENTS/A320-FCOM_DSC%20Aircraft%20Systems_part2.pdf>. Acesso em: 09 maio 2017.

EISMIN, T. K. **Aircraft Electricity & Electronics. Glencoe Aviation Technology Series**. 5. ed. New York: Glencoe/McGraw-Hill, 2002.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **General Aviation Technically Advanced Aircraft, FAA-Industry, Safety Study, Final report of TAA Safety study team**. 2003. Disponível em:

<http://www.faa.gov/training_testing/training/fits/research/media/taa%20final%20report.pdf>. Acesso em: 07 set. 2016.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Safety Alert for Operators 13002. Manual flight operations**. Washington D.C.: United States Government, 01 abr. 2013.

FLICKR. **SG100821_v2 – DC3 Cockpit**.

<https://www.flickr.com/photos/neilmacg/5993194922>. Acesso em: 25 maio 2017.

GEEK. **Airbus A320 Cockpit**. https://www.geek.com/wp-content/uploads/2016/03/airbus_a320_cockpit.jpg.

Acesso em: 25 maio 2017.

HOLLNAGEL E, WOODS DD. **Joint Cognitive Systems: Foundation of Cognitive Systems Engineering**. Boca Raton, FL: Taylor & Francis/CRC, 2005.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **DOC 9683: Human Factors Training Manual – Training issues in automation and advanced technology flight decks**. Montreal, Canadá: ICAO, 1998. p. 297-337.

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

<http://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/support_documentation/icao_hf_guidelines_2003.pdf>. Acesso em: 17 out. 2016.

JACDEC. **2013-07-06 Asiana Boeing 777-200 impact with seawall at San Francisco**.

<http://www.jacdec.de/2014/07/19/2013-07-06-asiana-boeing-777-200-impact-with-seawall-at-san-francisco/>. Acesso em: 21 maio 2017.

JAKA FOTOGRAFIA. **PR-MBK**. http://www.jakafotografia.com.br/admin/upload/PR-MBK_09JUN07_LOGO.jpg. Acesso em: 23 maio 2017.

JUKES, M. **Aircraft display systems**. Virginia: AIAA, 2004. V. 204.

MAHER, E. R. **Avionics Troubleshooting and Repair. For Pilots and Technicians**. New York: McGraw-Hill, 2001.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (NTSB). **Accident report: Descent below visual glidepath and impact with seawall, Asiana Airlines flight 214, Boeing 777-200ER, HL7742, San Francisco, California, July 6, 2013**. Washington D.C.: NTSB/AAR-14/01 PB2014-105984, United States Government, 2014.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (NTSB). **Introduction of Glass Cockpit Avionics into Light Aircraft. Safety Study**. Washington, DC, 2010. Disponível em: <http://www.safetybok.org/introduction_of_glass_cockpit_avionics_into_light_aircraft/>. Acesso em: 07 set. 2016.

PILATI, Gustavo. **A influência da automação na consciência situacional dos pilotos**. Porto Alegre, 2012. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Aeronáuticas) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SAFETY MANAGEMENT MANUAL. **Doc 9859**. Disponível em: <<https://www.icao.int/safety/SafetyManagement/Documents/Doc.9859.3rd%20Edition.alltext.en.pdf>>. Acesso em 03 Jun. 2017.

TARNOWSKI, Etienne. **Cockpit Automation Philosophy**. Blagnac, France, out. 2002. Disponível em: <[https://www.sto.nato.int/publications/.../RTO-MP-088/MP-088-\\$KN4.pdf](https://www.sto.nato.int/publications/.../RTO-MP-088/MP-088-$KN4.pdf)>. Acesso em: 16 out. 2016.

WALLPAPER SAFARI. **Boeing 737 Cockpit Wallpaper**. <http://wallpapersafari.com/w/gDFIUf/>. Acesso em: 23 maio 2017.