



Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Tomada de decisão em condições meteorológicas adversas

Gustavo Rodrigues de Oliveira Silva¹ Humberto César Machado²

¹Aluno do curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO). Autor correspondente: gustavorodrigues1994@gmail.com

²Doutor em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2013), Mestre em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2006), Especialista em História pela Universidade Federal de Goiás – UFG (2002), graduado em Filosofia pela Universidade Federal de Goiás (1996), Elemento Credenciado Fatores Humanos e Prevenção de Acidentes Aéreos pelo CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos), Professor, Coreógrafo e Dançarino de Salão. Membro do Comitê de Ética e Pesquisa e Professor da Faculdade Alfredo Nasser (UNIFAN) e da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO).

Artigo recebido em 28/06/2016 e aceito em 27/08/2016

RESUMO

Dados do CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos) mostram que o processo decisório da tripulação de voo foi responsável por 2,57% dos acidentes ocorridos entre 2004 e 2014. O fator 'juízo de pilotagem' foi responsável por 13,23% e as condições meteorológicas adversas, 3,37%. Nesse contexto, o presente artigo procura demonstrar como os avanços tecnológicos contribuíram no julgamento e no processo de decisão dos pilotos em condições meteorológicas adversas e a consequência de todos esses fatores na segurança de voo. A metodologia utilizada para tal fim se dá por meio de pesquisa bibliográfica e documental que demonstra os avanços na área de segurança de voo oriundos dos estudos de fatores humanos, das condições adversas de tempo e dos avanços tecnológicos e os efeitos destes nas tecnologias de radares meteorológicos embarcados, na tomada de decisão em condições meteorológicas adversas. Demonstrará que, com a tecnologia na aviação, tornou-se possível que as tripulações obtenham maior previsibilidade das suas rotas, tornando possível a antecipação do planejamento para tomar decisões em condições meteorológicas adversas. Palavras-chave: Segurança de voo. Tomada de decisão. Condições meteorológicas adversas. Fatores humanos. Avanços tecnológicos na aviação.

Decision making in adverse weather conditions

ABSTRACT

CENIPA data shows that "decision-making process" in flight were responsible for 2.57% of accidents from 2004 to 2014. The "pilot judgment" factor caused 13.23% of accidents and bad weather conditions caused 3.37%. Therefore, this article seeks to show how technological advances have contributed in the trial and pilot's decision in bad weather conditions and what was the contribution of all these points in flight safety. The method used were the literature and the documental research demonstrating advances in the area of flight safety arising from human factors studies, bad weather conditions and technological advances, and the effects of advances in weather radar embedded technologies in decision making on weather adverse. With automation in aviation it became possible that crew members obtain greater predictability of their routes, making it possible to advance planning to take decisions in bad weather conditions.

Keywords: Flight safety. Decision making. Adverse weather. Human factors. Technological advances in aviation.

Introdução

A aviação é hoje um dos meios de transporte mais importantes, responsável pela rápida conexão de pessoas a lugares distantes e por uma ágil logística de cargas. Com pouco mais de 100 anos de invenção, o avião tornou-se o meio de transporte mais rápido e eficaz atualmente existente e isso se deve a uma constante atualização e implementação de novas tecnologias. Graças a

essas tecnologias embarcadas, hoje o avião pode realizar voos mais longos e possuir maior previsibilidade das condições meteorológicas adversas que encontrará, o que se tornou imprescindível na tomada de decisão do piloto, minimizando os riscos.

Da necessidade humana de minimizar os riscos que o voo representava ao homem, nota-se o surgimento e a constante modernização das

tecnologias na aviação. Deste modo, para a realização de um voo deve-se ter em mente a necessidade de um alto nível de segurança operacional, devendo ser considerados os avanços tecnológicos, a automação na aviação e os estudos dos fatores humanos.

Portanto, é necessário analisar, de início, os avanços tecnológicos que estão em constante modernização com a integração de sistemas embarcados¹ em aeronaves, contribuindo com o aumento da segurança de voo. Em outros termos, estudar como a aviação tem-se tornado mais segura devido às inovações, a exemplo dos radares meteorológicos em aeronaves, proporcionando ao piloto o conhecimento de como está o tempo na sua rota pretendida e melhorando, de efeito, a previsibilidade de tempo da tripulação, facilitando a tomada de decisão. Demonstra-se, ainda, a facilidade que as tecnologias proporcionam na interpretação de informações meteorológicas, ajudando, também, na tomada de decisão em condições de tempo adversas.

A metodologia utilizada neste trabalho é a pesquisa bibliográfica e documental, demonstrando os avanços na área de segurança de voo oriundos de estudos de fatores humanos e avanços tecnológicos. Será utilizado o levantamento bibliográfico especializado na área para descrição dos fatores, por meio da análise de livros, artigos, revistas, manuais e *websites*, tendo como objetivos a segurança de voo, meteorologia e avanços tecnológicos, o que possibilitará a obtenção de informações necessárias para a elaboração do projeto.

Acredita-se que a automação na aviação viabilizou às tripulações maior previsibilidade das suas rotas, tornando possível a antecipação do planejamento para tomada de decisões em condições meteorológicas adversas.

Breve histórico da aviação

Estudos mostram que o desejo humano de voar vem muito antes de Alberto Santos Dumont, realiza o voo de uma máquina mais pesada que o ar. Os primeiros relatos de que se têm conhecimento descrevem eventos mitológicos anteriores ao cristianismo, quando personagens bíblicos disputavam os céus com heróis gregos, nórdicos ou africanos (Monteiro, 2007).

No decorrer da história, o desejo humano de voar ganhou avanços significativos com Arquitas de Tarento (400 a.C.) que construiu um

artefato voador, provavelmente uma pipa; os notáveis estudos de Leonardo da Vinci, que projetou os ornitópteros, cálculo da superfície de sustentação, paraquedas e múltiplas máquinas voadoras; o jesuíta Francesco Lana de Terzi (1670) autor do *Tratado Pródromo*, que tratava sobre a ascensão de objetos mais leves que o ar; ou o jesuíta brasileiro Bartolomeu Lourenço de Gusmão que apresentou os voos da Passarola à corte de D. João VI. Outros nomes contribuíram expressivamente para a realização do voo humano, Cayley, Lilienthal, Hargraves, Adér, Chanute e aparecem como aqueles que antecederam os primeiros (Monteiro, 2007).

O autor ainda relata, porém, que o voo de um objeto mais pesado que o ar só veio a ocorrer em 23 de outubro de 1906, quando o brasileiro Alberto Santos-Dumont realizou o voo no 14-bis, no Campo de Bagatelle em Paris, na França. Tal acontecimento foi acompanhado e divulgado por uma ampla multidão que acompanhava o marco histórico.

Entretanto, em pouco mais de um século de história, a aeronáutica passou por uma evolução tecnológica que permitiu o encurtamento de grandes distâncias e uma melhor integração de mercado. Ao fim das duas grandes Guerras Mundiais, a aviação tornou-se um importante instrumento de transporte de passageiros e carga, de uma forma segura, veloz e eficiente. Isso ocorreu devido à evolução da técnica de voar e do grande número excedente de aeronaves e pilotos que o fim da guerra deixou (Pedro, 2012).

À medida que a história da aviação evoluiu, foi necessário um progresso na segurança de voo, que hoje pode ser dividida em três partes ou fases: a primeira delas consiste na área técnica, que se principia na década de 1900 e vai até o final da década de 1960. No início, a identificação de falhas na segurança era relacionada com fatores técnicos e falhas da tecnologia. Com o tempo, as questões de segurança começaram a ser investigadas e ocorreu uma melhora nos fatores técnicos. No final da década de 1960, avanços tecnológicos levaram à diminuição de acidentes e o processo de segurança de voo foi ampliado para abranger conformidade regulatória e de supervisão (ICAO, 2013).

A segunda fase é conhecida como 'era dos fatores humanos' e vai do início da década de 1970 até o meio da década de 1990. No início da década de 1970, as frequências de acidentes foram reduzidas devido aos avanços tecnológicos e

¹ Muitos sistemas de uso comum na indústria, em transporte, em comunicações e no ambiente doméstico possuem computadores embarcados: aeronaves,

sistemas ferroviários, automóveis, dispositivos móveis, televisores etc. Computadores embarcados realizam funções de controle de sistemas físicos.

melhorias na regulação de segurança de voo. A aviação já tinha se tornado um meio de transporte seguro, e a segurança de voo passou a incluir os problemas de fatores humanos por meio de estudos da interface homem-máquina (ICAO, 2013).

Ocorreu uma busca de informações de segurança para além do que foi gerado pelo anterior processo de investigação de acidentes e, apesar do investimento de recursos e estudos na mitigação de erro, a performance humana continuou a ser fator importante em acidente. O estudo do fator humano era focado no individual, sem ser considerado o contexto organizacional e as operações como um todo (ICAO, 2013).

A terceira fase é a era organizacional, que vem da metade da década de 1990 até os dias de hoje. A aviação começou a ser vista sob uma perspectiva sistêmica, que adicionou o fator organizacional aos fatores técnicos e humanos. Foi introduzida a visão de acidente organizacional, considerando o impacto da cultura e as políticas organizacionais no controle de risco da segurança (ICAO, 2013).

A coleta de dados era limitada a investigações de acidentes e incidentes sérios. Isso foi complementado com uma nova abordagem proativa de segurança. Essa abordagem baseia-se em uma rotina de coleta e análise de dados de modo proativo para monitorar riscos de segurança conhecidos e detectar problemas de segurança emergentes. Essas melhorias foram formuladas na base para avançar a uma abordagem de gestão de segurança (ICAO, 2013).

Avanços tecnológicos

No período entre guerras, a ciência aeronáutica realizou pesquisas na aviação que resultaram em uma importante evolução tecnológica que diminuiu o risco de voar, com a construção de instrumentos aéreos mais seguros e normas rígidas para o treinamento da tripulação, normas estas embasadas nas técnicas de segurança de voo da época das duas Guerras Mundiais (Pedro, 2012).

Em 1935 sinais de rádios eram usados na Inglaterra para detectar aeronaves. No começo da Segunda Guerra Mundial, aumentou a procura por avançados sistemas de radares que propiciassem um eficiente retorno de sinais à longa distância. Depois da guerra, o tráfego aéreo aumentou e os radares foram rapidamente utilizados pelos órgãos de controle de tráfego aéreo para a organização do espaço. Ao mesmo tempo, a tecnologia que já estava em evolução criou o radar meteorológico para ser usado em aeronaves (Johnston, 2010).

As tecnologias empregadas migraram dos sistemas mecânicos para hidráulicos, elétricos e eletrônicos nas últimas décadas. Contudo, a maior inovação dos anos 1980 foi a introdução da informática embarcada. Por meio dela foi possível sintetizar informações, que passaram a ser disponibilizadas ao piloto por meio do EFIS (*electronic flight information system*), já parcialmente tratadas (Barros, 2008).

Acreditava-se que o EFIS resolveria várias questões que dificultavam o aumento da capacidade das aeronaves, suas versatilidades, além da excessiva carga de trabalho imposta às tripulações. Daí o surgimento de sistemas integrados de gerenciamento de voo com comandos *fly-by-wire*, sistemas de navegação inercial, GPS (*Global Positioning System*) e pilotos automáticos programáveis (Barros, 2008).

Meteorologia

É necessário que a tripulação tenha conhecimento das condições do tempo, conheçam e utilizem do melhor modo possível as informações do *briefing* meteorológico; por isso, é importante o estudo da meteorologia. Define-se meteorologia como a ciência que estuda a atmosfera, seus fenômenos e atividades. Trata-se de um ramo da geofísica, ciência natural que se ocupa da física do globo terrestre no que diz respeito à sua estrutura sólida (litosfera), líquida (hidrosfera) e gasosa (atmosfera) (Sonnemaker, 2012).

Como toda ciência, a meteorologia precisa coletar dados, medir parâmetros e analisá-los para que se possa ter um estudo global da atmosfera. Considerando que todos esses estudos devem ser elaborados de forma padronizada, surgiu, em 1950, a Organização Meteorológica Mundial (OMM), órgão que faz parte da ONU e que congrega na atualidade 166 países e outras organizações. O Brasil é um dos estados-membros da OMM e é representado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), ligado ao Ministério da Agricultura. A aplicação da meteorologia na aviação, no entanto, é de responsabilidade do Departamento do Controle do Espaço Aéreo (DECEA), que toma por base as recomendações da OMM e procede de acordo com a regulamentação da OACI (Souza, 2014).

Condições meteorológicas adversas

O tempo adverso pode ocasionar danos reais à aviação. Assim, afigura-se relevante o estudo da atmosfera a fim de que se possa compreender melhor os fenômenos meteorológicos e prever as suas ocorrências da maneira mais precisa e antecipada possível. Nesse contexto, são apresentadas a seguir algumas condições adversas

que merecem atenção da tripulação visando maior segurança de voo (Sonnemaker, 2012).

Nuvens – as nuvens são vapor de água em formas condensadas ou sublimadas em alturas acima da superfície, composta de pequenas gotículas de água ou cristais de gelo. Essas gotículas se precipitam na forma de granizo, chuvisco, chuva ou neve. Souza (2014) aponta, no entanto, que nem todas as nuvens caracterizam condição meteorológica adversa para aviação, que estuda aquelas que são indicadoras de turbulências severas que põem em risco a segurança das aeronaves e menciona as de interesse para a aeronáutica.

As formações das nuvens estão ligadas diretamente à estabilidade ou instabilidade da atmosfera. No ar estável, as nuvens que se formam possuem uma pequena formação vertical, já que existe pouco movimento vertical. Elas são planas, em camadas e podem possuir aparência de um lençol. Geram teto baixo, pouca visibilidade e precipitações leves e contínuas; estão associadas à estabilidade das massas de ar nos baixos níveis da atmosfera. Já as nuvens formadas por ar instável têm uma formação na vertical causada pelo aquecimento desigual que formam correntes convectivas fazendo com que as parcelas do ar aquecido comecem a subir. Algumas nuvens formadas com a instabilidade do ar estão associadas a trovoadas, pancadas de chuva, granizo e rajadas de vento (Ferreira, 2006).

Quando ocorre a formação de nuvens cúmulos em uma atmosfera muito instável, acontecem os grandes cúmulos (TCU) que são formados de forma rápida pelo ar em ascensão, causando à nuvem um grande desenvolvimento vertical. Em alguns casos podem chegar a grandes altitudes e os ventos dos altos níveis provocam um esgarçamento em seu topo, chamado de bigorna. Essa nuvem é chamada de cúmulo-nimbo (CB) e normalmente causa ventos fortes (rajadas), forte precipitação, granizo e podem vir a ocorrer tornados. A cúmulo-nimbo (CB) é muito densa e com o topo muito alto; sendo assim, possui baixas temperaturas (topo muito frio), o que gera uma aparência muito brilhante, tanto na imagem visível quanto na imagem infravermelha. Na imagem visível, o topo dessa nuvem é encaroçado e apresenta sombras oriundas de suas bigornas (Ferreira, 2006).

Trovoadas – A cumulonimbus é a única nuvem capaz de produzir trovoadas, que são, por definição, as manifestações de energia em dissipação acumulada em nuvens cumulonimbus durante o processo de formação, sob condições severas de convergência e de convecção. São um conjunto de trovões provocados pela liberação da

energia acumulada. No interior da trovoadas existem grandes quantidades de água, neve e gelo que convivem com o ar agitado e úmido; ocorre, então, a transformação da energia acumulada em elétrica, que pode gerar números inacreditáveis de 100.000.000 volts. Com uma grande quantidade de água, neve e gelo dentro da nuvem, inicia-se a precipitação, que pode ser na forma de chuva, neve ou granizo, com fortes pancadas (Souza, 2014).

Durante a precipitação, a forte energia elétrica é dissipada em forma de faíscas elétricas chamadas de “raio”. Essa forte faísca pode chegar até 300.000 Ampère, o que provoca um aquecimento brutal (atingindo mais de 18.000°C) que se inflama, surgindo a manifestação luminosa denominada “relâmpago” e uma brusca e explosiva expansão do ar numa onda de pressão, que gera o ruído sônico denominado “trovão” (Souza, 2014).

Souza (2014) explica que a segurança da aeronave é posta em risco durante a exposição a intensas atividades elétricas, que induzem correntes que podem danificar os microcircuitos dos sistemas automáticos, colocando-os inoperantes definitivamente. As descargas de altíssimas voltagens podem, ainda, penetrar na fuselagem acarretando danos, principalmente nos circuitos elétricos.

Downburst – Em aeroportos sob condições de trovoadas, durante as operações de pouso e decolagem podem ocorrer os violentíssimos descendentes denominados “Downburst” ou “Microburst”. Já quando as trovoadas se aproximam de um aeródromo, as suas rajadas de superfície podem estar até 30 quilômetros em sua dianteira; isso pode gerar sobre a pista as perigosas cortantes de vento (*Wind Shear*), embora a formação ainda não esteja sobre o aeródromo (Souza, 2014).

Wind Shear – o *Wind shear* trata-se de um fenômeno que ocorre devido às correntes ascendentes e descendentes e produz uma área onde o vento não tem uma direção definida, provocando fortes turbulências. Isso ocorre na hora de aproximação para pouso ou decolagem; por esta razão, as trovoadas localizadas nas cabeceiras das pistas são perigosas para atividades aéreas (Ferreira, 2006).

Ventos – o vento é um dos fenômenos mais importantes na nossa atmosfera e ocorre devido à diferença de aquecimento que acontece na superfície terrestre, acarretando diferença de pressão. O ar aquecido sobe e o ar frio desce, causando baixas pressões onde ele sobe e altas pressões onde ele desce. Os ventos normalmente sopram de regiões de altas para baixas pressões, e ventos fortes podem causar danos às aeronaves. O movimento global do vento ocorre devido ao

deslocamento de grandes massas de ar e das correntes de jato nos altos níveis; já o movimento local do vento consiste em uma quantidade menor de ar que envolve apenas uma pequena área (Ferreira, 2006).

Corrente de jato – a corrente de jato acontece em altos níveis da atmosfera, já próximo da tropopausa, em uma região onde a componente de vento de oeste atinge valores máximos. A organização Meteorológica Mundial (OMM) define como uma forte e estreita corrente concentrada ao longo de um eixo quase horizontal na alta troposfera, caracterizada por cisalhamento vertical e horizontal do vento. Segundo a teoria de Namias e Clapp, a corrente de jato surge da confluência devido ao gradiente de temperatura entre uma massa de ar polar e tropical, causando turbulência com cisalhamento vertical de 4 a 7 nós (kt) por 1000 pés e lateral de 10 kt por 60 milhas náuticas. A depender da direção, as correntes de ar podem ajudar ou dificultar o voo e a turbulência a elas associada pode causar danos à aeronave (Ferreira, 2006).

Na carta prognóstica de superfície (SIG WX), a corrente de jato estende-se por milhares de quilômetros. Tem uma duração de no máximo 24 horas sobre o mesmo ponto da superfície, ocorre associada a uma frente fria intensa; a sua nebulosidade é composta por *cirrus uncinus* e *cirrocumulus*, que se apresentam na base da corrente e indicam turbulência a ela associada (Sonnemaker, 2012).

Frentes – definem-se ‘frentes’ na meteorologia as fronteiras entre duas massas de ar diferentes, especialmente em termos de densidade, temperatura, umidade e pressão, que se estendem por milhares de quilômetros. Nas frentes, há a ocorrência de expressivas variações de temperatura e mistura do ar frio com o quente; isso gera uma diferença na densidade do ar, o que resulta na elevação de uma massa sobre a outra. Esse fenômeno provoca nebulosidade e pode gerar muita precipitação e normalmente está associado a nebulosidade e a tempo severo (Ferreira, 2006).

Ferreira (2006) aponta, ainda, que a frente fria se dá quando uma massa de ar frio avança sobre uma massa de ar quente; esse fenômeno ocorre em bandas, com várias camadas de nuvens, e têm uma largura de 200 a 300 km. Na chegada da frente fria, tem-se céu claro e alta temperatura; quando essa frente passa por uma região, o ar quente é forçado a subir rapidamente com a chegada do ar denso e frio. Durante esse fenômeno muitas trovoadas podem ocorrer acompanhadas de granizo, ventos de rajadas e intensa precipitação.

A frente quente, por sua vez, acontece quando uma massa de ar quente tenta tomar o lugar de uma massa de ar mais frio; quando essa frente está se aproximando, o ar aquecido entra em contato com o ar mais frio e denso e começa a subir, formando nuvens com pouco desenvolvimento vertical. Esse fenômeno é acompanhado de precipitação leve e contínua de chuvisco, neve ou chuva (Sonnemaker, 2012).

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) – Ocorre quando ventos provenientes do hemisfério norte se encontram com os ventos provenientes do hemisfério sul nos trópicos; com isso, várias nuvens convectivas desenvolvem-se, resultando na ZCIT, que consiste em uma banda de nebulosidade, quase que contínua, sobre toda a região tropical, com uma largura de até 500 km (Ferreira, 2006).

Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) – nos meses mais quentes do verão, ocorre a liberação de grande quantidade de calor latente, gerada pela convecção sobre o continente. Esse fenômeno é conhecido como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e possui uma persistente banda de nebulosidade orientada no sentido NW/SE, associada a uma zona de convergência nos níveis baixos da troposfera, que vai do sul da Amazônia ao centro do Atlântico Sul. Essas zonas de convergência estão associadas a períodos de grandes quantidades de chuvas, principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (Ferreira, 2006).

Nas imagens de satélites meteorológicos é fácil identificar o ZCAS. Na imagem infravermelha aparece uma grande banda de nebulosidade bastante clara; já na imagem visível, a banda de nebulosidade aparece com bastante brilho. O mau tempo provocado por essa banda de nebulosidade permanece por alguns dias e é mais comum no final da tarde devido ao aquecimento diurno do continente (Ferreira, 2006).

Tornados – os tornados são tempestades muito violentas que acontecem na atmosfera. Eles consistem em uma coluna giratória e violenta de ar que se estende para baixo de uma nuvem cúmulo-nimbo. Durante esse fenômeno os ventos têm uma velocidade de aproximadamente 500 Km/h, 100 a 600 metros de diâmetro e deslocam sobre a superfície por aproximadamente 10 Km (Ferreira, 2006).

Nevoeiros – apesar de serem formados em ar estável, os nevoeiros restringem a visibilidade horizontal e vertical, prejudicando a operação nas horas mais críticas do voo, nos pousos e decolagens. Por isso é muito importante a localização do nevoeiro para que pilotos estejam cientes da má visibilidade que encontrarão. Na

imagem visível, o nevoeiro assemelha-se a uma textura lisa e plana, semelhante a uma camada de nuvem estrato, o que torna ainda mais difícil a distinção entre ele e a nuvem estrato. Já na imagem infravermelha, o nevoeiro é apresentado em uma tonalidade escura do cinza, devido à temperatura do nevoeiro ser aproximadamente a mesma da superfície da terra (Ferreira, 2006).

Radares Meteorológicos

Um típico sistema de radar em aeronaves comerciais é composto pelos seguintes equipamentos: uma unidade transmissora/recebedora do radar que normalmente está localizada em um compartimento eletrônico na parte inferior próxima ao nariz da aeronave; antena do radar, localizada no radome da aeronave; indicador do radar, onde é possível selecionar diferentes distâncias de alcance do radar, e um painel de controle do radar, localizado no *cockpit* da aeronave (Johnston, 2010).

A função do transmissor/receptor é transmitir e receber sinais pulsados pelo radar. Uma seção transmissora envia pulsos de alta frequência através de um tubo de guia de onda² que está junto da antena. A antena manda, então, o sinal de impulso para o alvo à frente da aeronave. Um alvo pode ser nuvens de chuva ou características do solo, como montanhas e grandes grupos de edifícios. A seção receptora recebe em troca um sinal muito mais fraco refletido a partir do alvo. Quando processado, o sinal é enviado para um indicador de radar para ser exibido para visualização (Johnston, 2010).

Um manual de operações de voo da AIRBUS (fabricante francesa), que trata sobre a otimização do radar meteorológico em condições adversas de tempo, afirma que um radar meteorológico só é útil se a tripulação de voo é capaz de utilizar plenamente a capacidade do sistema e interpretar a exibição da tela. A imagem de radar é apresentada na tela de navegação (ND) do que é detectado pelo radar. As decisões tomadas com base nessas informações irão variar de acordo com a interpretação que a tripulação de voo fizer da imagem do radar no ND; portanto, a experiência da tripulação e o seu conhecimento das características do radar meteorológico orientarão o piloto na tomada de decisão (AIRBUS, 2007).

Os radares, hoje coloridos, geraram uma melhoria na percepção das imagens e proporcionam, de forma significativa, melhor efetividade na interpretação de condições

meteorológicas adversas no ND. A cor verde indica chuva, a cor amarela indica chuva moderada e vermelha, chuva pesada. Alguns radares ainda utilizam a cor magenta para indicar turbulência ou pancadas de chuva com gelo (Eismin, 2014).

Alguns destes radares meteorológicos, que mostram a intensidade da tempestade pela cor, já ajudam no gerenciamento da segurança operacional. No entanto, o mais perigoso em uma tempestade é a turbulência. Sabe-se que uma forte tempestade não é confortável, nem segura para os tripulantes e passageiros, e o gelo encontrado nessas tempestades pode quebrar partes da aeronave. A turbulência, no entanto, pode causar perda do controle e falhas estruturais. Os radares possuem diferentes modos de operação; um deles é o modo “turbulência” ou radar “Doppler”, que consegue identificar turbulências e mostrá-las para a tripulação (Johnston, 2010).

Os radares de tela preto e branco ainda são encontrados em algumas aeronaves, mas a indústria optou por padronizar a utilização de radares coloridos, já que estes melhoram o entendimento de meteorologia pelos pilotos, fazendo com que tenham uma maior capacidade de tomada de decisão, melhorando, assim, a segurança de voo. Este é um dos exemplos em que os avanços das tecnologias contribuíram de forma significativa com a segurança de voo, podendo auxiliar para que os pilotos não adentrassem formações de mau tempo que pudessem causar acidentes/incidentes aeronáuticos (Eismin, 2014).

Segurança de voo

O manual de gerenciamento de segurança da ICAO define segurança de voo como o estado em que a possibilidade de danos a pessoas ou a materiais é reduzido a um nível aceitável e passe por um processo contínuo de identificação do perigo e gerenciamento do risco. A ICAO possui anexos que ditam as normas para operação aérea de seus signatários. O gerenciamento da segurança operacional é tratado no anexo 19, que disserta sobre o tema (ICAO, 2013).

Para o estudo da segurança de voo é importante a definição de risco, que consiste na quantificação da insegurança por meio da combinação da probabilidade com a gravidade de ocorrência de um evento. Outra definição importante é o perigo, que é a fonte ou situação com potencial para provocar danos ou lesões; essas definições são de suma importância para o estudo da segurança de voo (NSCA 3-3, 2013).

² As secções de guia de onda são feitas de metal, cobertas com um material isolante. As secções são removíveis para fins de manutenção.

Isso porque as atividades humanas não são absolutamente livres de erros operacionais, de modo que o sistema de aviação não é completamente livre de perigos, sendo associado ao risco. Assim, a eliminação de acidentes aéreos e incidentes graves é o objetivo principal, uma vez que a segurança de voo é uma característica dinâmica do sistema que deve ter uma contínua mitigação dos riscos à segurança. Até que a segurança de voo seja mantida abaixo de um nível apropriado de risco, o sistema de aviação pode ser gerenciado para manter o balanço apropriado de produção e proteção (ICAO, 2013).

Por definição, acidente aeronáutico é a ocorrência relacionada com a operação de uma aeronave que se dê entre o momento em que qualquer pessoa nela embarca com a intenção de realizar um voo, até o momento em que todas as pessoas tenham dela desembarcado. As consequências são quando pessoas sofrem lesões fatais ou graves, aeronave sofra danos ou falhas estruturais, seja considerada desaparecida ou esteja em local inacessível. Por incidente aeronáutico entende-se o envolvimento de circunstâncias que indiquem que houve elevado potencial de risco de acidente relacionado à operação da aeronave e que tenha ocorrido entre o momento em que uma pessoa nela embarca com a intenção de realizar um voo, até o momento em que todas as pessoas tenham dela desembarcado. (NSCA 3-3, 2013).

No Brasil, compete ao Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER): “planejar, orientar, coordenar, controlar e executar as atividades de investigação e de prevenção de acidentes aeronáuticos”, de acordo com artigo 86 do Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA). Além disso, o artigo 87 do CBA diz que “a prevenção de acidentes aeronáuticos é de responsabilidade de todas as pessoas, naturais ou jurídicas, envolvidas com a fabricação, manutenção, operação e circulação de aeronaves, bem como com as atividades de apoio da infraestrutura aeronáutica no território brasileiro” (NSCA 3-3, 2013).

Fatores humanos

Os ‘fatores humanos’, no presente contexto, consistem no estudo da interação do homem com o meio. O estudo do meio inclui o meio em que o indivíduo está inserido (supervisão, treinamento, comunicação etc.) e o meio natural (altitude, terreno, meteorologia etc.), além de fatores inerentes aos seres humanos, como saúde, medicamento, personalidade, processo decisório, memória, estresse, fadiga, que são considerados pelo impacto das interações que afetam o desempenho de um indivíduo (ALKOV, 1997).

Os estudos em torno dos fatores humanos têm sido desenvolvidos para aumentar a segurança em sistemas complexos, como a aviação; isso tem ocorrido pela compreensão das limitações previsíveis do homem e as aplicações indispensáveis para lidar corretamente com o erro humano. Esse estudo liga métodos e princípios das ciências comportamentais e sociais, fisiologia e engenharia, tornando uma área multidisciplinar dedicada à otimização do desempenho humano e à redução de erros do indivíduo (HANDBOOK, 2004).

Durante a Segunda Guerra Mundial, mais especificamente no ano de 1939, Frederick Bartlett, que comandava um laboratório de psicologia da Universidade de Cambridge, realizou estudos da interação homem-máquina na cabine dos aviões de guerra. Destroços de uma aeronave Spitfire foram usados como simulador: pilotos realizavam simulações e pesquisadores observavam o efeito da fadiga na atuação do piloto. Esse estudo demonstrou que quando fatigado o piloto tem um desempenho perigoso; não havia um monitoramento apropriado dos instrumentos, e atividades essenciais, como o monitoramento do gasto de combustível, eram realizadas com deficiência. Os pilotos conseguiram monitorar apenas um ou dois instrumentos, deixando de verificar parâmetros essenciais ao voo (ALKOV, 1997).

Depois da segunda guerra mundial, vários estudos foram realizados sobre os projetos das configurações dos instrumentos e controles de voo. Em 1947, Fitts e Jones realizaram um estudo de erro cometido por pilotos por não conseguirem interpretar os instrumentos. Nesse mesmo ano, A.C. Willians realizou uma análise de como é a tarefa de manutenção de altitude e direção, gerenciamento do tempo e todo o sistema mecânico. Alphonse Chapanis publicou, em 1951, uma análise de erro de piloto; em 1953, o livro “Human factors in Air Transportation” de Ross McFarland foi publicado. Já no final do século passado, Stanley Roscoe estudou ilusões visuais, nos Estados Unidos e Elwyn Edwards realizou estudos mais avançados sobre fatores humanos na aviação (ALKOV, 1997).

Elwyn Edwards criou o modelo SHELL em 1976, conceituando fatores humanos como a interface *liveware* (humana), *software*, *hardware*, interagindo dentro de um *environment* (ambiente). Utilizando este modelo é possível identificar os elementos envolvidos em um acidente/incidente (ALKOV, 1997).

A interface humano-*hardware* (a aeronave e seus componentes físicos – poltronas, controles, layouts etc.) deve ser minuciosamente

observada ao se projetar um avião, pois o elemento humano adapta-se a más condições, mascarando a combinação inadequada do *hardware* sem removê-lo, constituindo, assim, um perigo potencial. A interface humano-*software* (procedimentos, manuais, *checklists*, simbologia e tudo mais que não é físico) é uma componente que interage continuamente em um voo e afeta a segurança de voo. As inserções incorretas de informações no banco de dados podem não ser percebidas, levando a tripulação a uma incorreta interpretação de importantes sistemas da aeronave (HANDBOOK, 2004).

O elemento humano-*environment* trata-se, por sua vez, do ambiente em funcionamento com o elemento humano, *hardware* e o *software*, como, por exemplo, condições atmosféricas, condições de trabalho, etc. É uma das mais difíceis interfaces de correlação no modelo SHELL, já que o contexto em que o sistema de aviação opera tem várias restrições sociais, políticas, econômicas e naturais que normalmente estão fora do controle do elemento humano (HANDBOOK, 2004).

A interface humano-humano (o elemento humano: membros da tripulação, pessoal de solo, controladores de tráfego aéreo etc.), dentro do sistema da aviação, é a parte mais valiosa e flexível, mas é também a parte mais vulnerável a influências e pode ter o seu desempenho afetado negativamente. Ter pessoas eficazes e proficientes dentro de um grupo não necessariamente quer dizer que ele funcionará de forma eficaz e proficiente, a menos que este grupo funcione como uma equipe. Para esta equipe obter sucesso nas operações é necessário que ela tenha liderança, boa comunicação, cooperação com a tripulação, trabalho em equipe e interação de personalidade. Para que isso aconteça, devem ser utilizadas ferramentas como o CRM³ (HANDBOOK, 2004).

O objetivo geral do CRM é um treinamento para aumentar a capacidade de tomada de decisão, melhorando a performance da tripulação como um todo por meio de áreas interpessoais, como a comunicação, liderança e trabalho em equipe. Isso ocorre pela ligação de julgamento, capacidade de tomada de decisão, traços de personalidade e atitudes entre pilotos em uma dinâmica de grupo (Krause, 2003).

Ainda que o componente mais adaptável do sistema de aviação seja o elemento humano, o desempenho da tripulação de voo é afetado pela influência desses componentes, como privação de sono, estresse, perturbação do ritmo circadiano, fadiga e saúde. As tripulações são afetadas, ainda, por fatores de restrições ambientais, como

temperatura, umidade, vibração, horário de trabalho, ruído, luz e carga de trabalho (HANDBOOK, 2004).

A fadiga ocorre normalmente devido ao excesso de trabalho; sua manifestação é observada pela diminuição quantitativa e qualitativa de atividades que a tripulação desenvolve, devido a esforços prolongados, tanto de atividades físicas como mentais. Em todos os casos, os sintomas apresentados têm as mesmas características: mudanças na pressão arterial e no ritmo cardíaco, irritabilidade e aumento ou diminuição na quantidade de oxigênio consumido (Palharini, 2012).

Outra questão a ser considerada no estudo dos fatores humanos é a diferença de fuso. A aviação proporcionou uma diminuição de distância de maneira ágil entre povos e continente, mas esse advento trouxe transtornos aos viajantes, pois o organismo humano não consegue assimilar as mudanças de fusos quando estas ocorrem de maneira rápida. Os seres humanos poderão sofrer transtornos biológicos durante o cruzamento longitudinalmente de 4 (quatro) faixas de fusos ou mais e isso poderá acarretar alterações do ritmo circadiano (Palharini, 2012).

O ritmo circadiano é o funcionamento regular em períodos de 24 horas pelos sistemas do corpo humano. Este círculo é mantido por vários agentes, dia e noite, refeições, atividades sociais etc. Se esse círculo sofrer algum distúrbio, ele pode afetar negativamente a segurança e eficiência. Além do *jet lag*, que é o resultado de voos de longa distância quando acontece o cruzamento de vários fusos horários, o distúrbio do ritmo circadiano pode ser também o resultado de voos de curta distância irregulares ou voos noturnos. Os sintomas que levam a essas perturbações incluem perturbação do sono, interrupção das refeições, eliminação de hábitos, lassidão, ansiedade e irritabilidade (HANDBOOK, 2004).

Ao longo da jornada de trabalho, as atividades aéreas tornam-se estressantes para a tripulação, que constantemente fica exposta às situações adversas, tais como as várias mudanças de fuso horário, problemas técnicos em aeronaves, alimentação desordenada, relações interpessoais, aeroportos fechados, mudanças na escala de trabalho, excessivos números de pousos e decolagens, atraso em voos e, além de tudo, a exigência da perfeita operação (Palharini, 2012).

Somam-se a esses fatores as escalas de trabalho apertadas, que muitas vezes são desestimulantes, e uma carência afetiva ligada aos familiares, também grave. Todos esses fatores,

³ Crew Resource Management.

quando analisados de maneira isolada, parecem não ser importantes, mas, se somados, tornam-se extremamente significantes (PALHARINI, 2012).

Com efeito, o fator estresse sempre esteve presente na aviação; voar em fenômenos climáticos adversos ou com emergências em voo são potenciais fatores de estresse. Outros possíveis fatores têm sido reduzidos com o advento da 'era jato', como ruídos, vibração e força G^4 . Eventos da vida particular do piloto também estão associados ao estresse. Em uma mesma situação, pessoas diferentes têm respostas diferentes ao estresse, mas qualquer resultado será atribuído à resposta que a pessoa deu ao estresse, e não ao fator estressante em si (HANDBOOK, 2004).

O ruído, um dos fatores estressantes, ocorre devido ao funcionamento dos motores e ao impacto do vento relativo na fuselagem do avião. No decorrer da jornada de trabalho um tripulante pode vir a sofrer danos no sistema neuropsicológico, que, de sua feita, pode resultar em uma fadiga aguda. Ao tripulante que após a jornada de trabalho sentir-se fadigado pela exposição ao ruído devido ao voo é recomendável um sono tranquilo e repouso de 6 a 8 horas para eliminação da fadiga (Palharini, 2012).

Outros fatores que influenciam o comportamento e a forma com que interagimos com os outros são os traços de atitudes e personalidades. As atitudes são tendências ou predisposições aprendidas e duradouras para dar diferentes respostas; a resposta é o próprio comportamento. Por meio de treinamento, conscientização ou persuasão as atitudes tornam-se mais suscetíveis a mudanças. O treinamento de fatores humanos tem o objetivo de permitir que a tripulação tome decisões rápidas sobre o que fazer ao se deparar com condições adversas. Isso ocorre por meio de persuasão, conhecimento e demonstração de exemplos que revelam o impacto de atitudes e comportamentos na segurança de voo (HANDBOOK, 2004).

Tomada de decisão

Segundo dados do CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos), o fator "processo decisório" foi responsável por 2,57% dos acidentes ocorridos entre 2004 e 2014. Já o fator "julgamento de pilotagem" foi responsável por 13,23%, e condições meteorológicas adversas, 3,37%. Já nos incidentes graves, o fator "julgamento de pilotagem" foi responsável por 14,04% e condições

meteorológicas adversas por 3,28%. Em razão disso, é de suma importância o estudo da tomada de decisão e julgamento em condições meteorológicas adversas (FCA 58-1, 2015).

O julgamento é o processo cognitivo pelo qual uma decisão é tomada. Uma boa tomada de decisão se dá com base na habilidade de reconhecimento de um caminho norteado por conhecimentos e percepções. Sendo assim, um julgamento apropriado resultará em uma tomada de decisão correta. Um julgamento correto e uma boa tomada de decisão são habilidades mentais que todos os pilotos têm capacidade de aprender. Assim, frisa-se, pode-se dizer que a habilidade de distinguir entre as soluções corretas e incorretas e a percepção são dois principais fundamentos de um julgamento apropriado e uma correta tomada de decisão (Krause, 2003).

Para o desenvolvimento de uma percepção precisa são requeridas quatro habilidades básicas: consciência, observação, detecção e entendimento. Um piloto deve ter consciência situacional de tudo que está ocorrendo ao seu redor para conseguir processar as informações baseadas nos seus conhecimentos e habilidades. O piloto deve estar ciente de que será um estudante pelo resto da sua vida, uma vez que sempre será necessário manter o conhecimento aguçado sobre os sistemas da aeronave, características aerodinâmicas, novos *softwares* e procedimentos de segurança (Krause, 2003).

A tomada de decisão na aviação tem recebido bastante atenção tanto no estudo de como ocorre esse processo, quanto no treinamento. Nos anos 80, com a automatização das aeronaves, passou-se a requerer dos pilotos maior habilidade para tomar decisões. Essas habilidades podem ser aumentadas com um treinamento eficaz, fazendo com que esses treinamentos se tornem comuns na aviação (Johnston; MCDONALD; Fuller, 1997).

Por óbvio, as habilidades de tomada de decisão são necessárias para todos os membros da tripulação em todas as situações. Isso significa levar em conta as informações dos vários recursos e adotar uma decisão inteligente e profissional no momento e em tempo hábil. Tais decisões não podem ser efetivas se as habilidades apropriadas não forem praticadas. Em outros termos, um piloto deve estar confiante das escolhas que faz e ser capaz de comunicar com competência suas decisões. Isso só pode acontecer depois de considerar todas as opções e acesso a todos os recursos (Reinhart, 2008).

⁴ Força expressa em metros por segundos ao quadrado, conhecida como gravidade; sua constante é 9,8m/s ao quadrado.

Ainda nesse contexto, há quatro tipos diferentes de erros de julgamento. O primeiro deles está relacionado à interface homem-máquina, de que fazem parte a atenção, percepção, experiências, maturidade, atitudes, educação, motivação de fadiga/estresse, avaliação do risco, aptidão para voar. Há, ainda, os erros processuais, que incluem o sistema de gerenciamento, comunicação, navegação e configurações da aeronave; esses erros podem ser evitados pela criação de procedimentos padronizados (ALKOV, 1997).

O terceiro erro são as habilidades perceptivo-motoras, que consistem no mau julgamento de velocidade, distância, altitude sobre o terreno etc., sempre envolvendo habilidades psicomotoras; ele pode ser evitado com treinamento, prática, proficiência. Por fim, há os erros de decisão que envolvem as falhas nos processos cognitivos (inteligência/conhecimento). A prevenção a esses quatro tipos de erro inclui voar sempre à frente da aeronave, estar constantemente preparado, planejamento, *briefing* e feedback. O gerenciamento do risco de um voo inicia-se no pré-voo e continua durante todo o voo, ou seja, para que tenhamos um julgamento e tomada de decisão eficazes é necessário que se tenha uma contínua avaliação do risco (ALKOV, 1997).

Conclusão

Com a pesquisa bibliográfica realizada em livros, manuais, regulamentações e artigos observou-se que o advento da tecnologia proporcionou ao piloto maior previsibilidade da condição meteorológica, possibilitada por meio de radares meteorológicos, imagens de satélites meteorológicos (que devem ser usadas nos *briefing* meteorológicos), além da automação que diminuiu a carga de trabalho dos pilotos. Concluiu-se que esses avanços tecnológicos contribuíram na segurança de voo, facilitando o julgamento do piloto, melhorando, de efeito, a tomada de decisão.

Verificou-se, a partir deste breve estudo, que a tomada de decisão aeronáutica é uma abordagem sistemática de um conjunto de processos mentais usado pelos pilotos de aeronaves para determinar, com firmeza, o melhor curso de ação em resposta a um dado conjunto de circunstâncias, que, nesta pesquisa, foi o tempo adverso. Com efeito, o tempo adverso pode causar danos à aviação e, devido a estes potenciais perigos, tornam-se relevantes a observância e o estudo da atmosfera, para que se possa compreender melhor esses fenômenos e prever as suas ocorrências da maneira mais precisa e antecipada possível.

A partir da análise de segurança de voo, fatores humanos e tomada de decisão apresentados concluiu-se que é de responsabilidade de cada tripulante chegar ao local de trabalho “apto a voar”. Significa dizer que, ainda que a tripulação de voo passe por exames médicos periódicos para verificar sua aptidão para voar, é de sua responsabilidade adotar todas as precauções necessárias para manter-se saudável. A saúde da tripulação tem impacto direto na tomada de decisão, sendo muito importante para a segurança do voo.

Com efeito, o desempenho da tripulação é afetado por fatores como perturbação do ritmo circadiano, fadiga e estresse, o que interfere, de consequência, no processo decisório do piloto, que, em condições meteorológicas adversas, necessita de maior agilidade nos seus julgamentos.

O resultado da perturbação do ritmo circadiano são: reações mais lentas, maior tempo para tomada de decisão, inexactidão da memória e erro de cálculo. Em condições meteorológicas adversas, em que, frisa-se, o piloto necessita de maior gerenciamento de cabine, esse cenário afeta diretamente a segurança e o desempenho operacional.

O fator estresse sempre esteve presente na aviação; voar em fenômenos climáticos adversos é um potencial fator de estresse que diminui a capacidade decisória do piloto, prejudicando a segurança de voo.

Conclui-se, de todo o exposto, que a automação na aviação viabilizou às tripulações maior previsibilidade das suas rotas, tornando possível a antecipação do planejamento para tomada de decisões em condições meteorológicas adversas, porém todo avanço tecnológico só é útil se a tripulação de voo for capaz de utilizar plenamente a capacidade dessas inovações.

Referências

- Weiner, Eugene R. 2008. Applications of environmental aquatic chemistry: a practical guide. -- 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 44.
- Alkov, R. A. Aviation safety: the human factor. McKinley, Casper, WY: Mountain States Lithographing, c1997. vi, 186 p. ISBN 0965370630 (broch).
- AIRBUS. *Flight Operations Briefing Notes*. França, 2007. 17p. Disponível em <http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-ADV_WX-SEQ07.pdf>. Acessado em 01/05/2016
- Barros, J. F. A. 2008. A nova fronteira. *Aeromagazine*. São Paulo, ano 14, nº 166, p. 28-31.

- BRASIL. 2013. NSCA 3-3: Gestão da Segurança de Voo na Aviação Brasileira. Brasília, DF.
- _____. 2015. FCA 58-1: Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira. Brasília, DF.
- _____. 1986. Decreto-Lei 7565/1986. Código Brasileiro de Aeronáutica – CBAer. Gabinete da Presidência da República. Brasília: Gráfica Nacional.
- Eismin, T. K. 2014. Aircraft: electricity and electronics. 6th ed. New York: McGraw-Hill, c2014. xiii, 491 p.
- Ferreira, A. G. 2006. Meteorologia prática. São Paulo: Oficina de Textos, 188 p.
- Global Aviation Information Network. 2004. Operator's flight safety handbook. Manual de segurança de vôo dos operadores aeronáuticos. Porto Alegre: EDIPUCRS, 152 p.
- ICAO. 2013. Safety Management Manual (SMM). 3rd ed. Quebec: International Civil Aviation Organization, xii, (várias paginações).
- Johnston, J. 2010. Avionics for the pilot: an introduction to navigational and radio systems for aircraft. Shrewsbury: Airlife, 255 p.
- Johnston, N.; McDonald, N.; Fuller, Ray (Ed.). c1997. Aviation psychology in practice. United States of America: Ashgate, 366 p.
- Krause, S. S. c2003. Aircraft safety: accident investigations, analyses & applications. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, xi, 483 p.
- Monteiro, R. F. 2007. Novas tecnologias de cabine em aviões do transporte aéreo regular e transformações na representação social dos pilotos. Goiânia, 160 p. Disponível em: <http://tede.biblioteca.ucg.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=317>. Acesso em: 01/05/2016.
- _____. 2002. Aviação: construindo sua história. Goiânia: Ed. da UCG, 255 p.
- Palharini, M. J. A. 2012. Medicina de aviação para pilotos e comissários. 1. ed. São Paulo: Bianch, 106 p.
- Pedro, F. A. F. 2012. Responsabilidade civil no transporte aéreo internacional. 1. ed. São Paulo: Bianch, 135 p.
- Reinhart, R. O. c2008. Basic flight physiology. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, xvi, 311 p.
- Sonnemaker, J. B. Meteorologia. 31. ed. São Paulo: Asa, 2012. 248 p.
- Souza, W. B. 2014. Meteorologia para aviação: piloto comercial. Brasília: Ed. do Autor, 124 p.