



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

FERNANDO FONSECA FERNANDES

**ILUSÃO SOMATOGRÁFICA NAS OPERAÇÕES AÉREAS: UMA ANÁLISE DE
TRÊS CASOS**

Palhoça

2020

FERNANDO FONSECA FERNANDES

**ILUSÃO SOMATOGRÁFICA NAS OPERAÇÕES AÉREAS: UMA ANÁLISE DE
TRÊS CASOS**

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Angelo Damigo Tavares, MSc.

Palhoça

2020

FERNANDO FONSECA FERNANDES

**ILUSÃO SOMATOGRÁFICA NAS OPERAÇÕES AÉREAS: UMA ANÁLISE DE
TRÊS CASOS**

Esta monografia foi julgada adequada à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovada em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 27 de novembro de 2020

Orientador: Prof. Angelo Damigo Tavares, MSc.

Prof. Jairo Afonso Henkes, MSc.

Dedico este trabalho à minha família e amigos,
por acreditar e apoiar em todos os momentos
da minha vida e carreira profissional.

AGRADECIMENTOS

Tive o privilégio de sempre ter ao lado pessoas me inspirando e apoiando, portanto, gostaria de agradecer:

A minha família e amigos que sempre me incentivaram e ajudaram em todos os momentos.

Aos professores do curso de Ciências Aeronáuticas, que com muita paciência, ensinaram-me o conteúdo programado permitindo chegar até o presente momento.

Ao Professor Orientador Angelo Damigo Tavares pela oportunidade de aprendizado e todo o apoio no processo de construção do trabalho de conclusão de curso.

A todos os citados meu Muito Obrigado.

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo geral analisar de que forma o treinamento dos pilotos interfere na ocorrência de acidentes aeronáuticos relacionados com desorientação espacial por ilusão somatográfica. Nela, procurou-se entender a fisiologia humana e aspectos inerentes ao comportamento dos sentidos do aeronavegante ligados à tal ilusão, assim como conhecer tipos de treinamento voltados à mitigação da desorientação. Caracterizou-se como uma pesquisa explicativa, com procedimento bibliográfico, documental e abordagem qualitativa. A coleta dos dados necessários foi realizada por meio do método bibliográfico, empregando-se informações de livros, artigos, documentos e estudos dos reportes finais dos acidentes. A abordagem baseou-se em documentos expedidos por órgãos de segurança operacional, publicações da área de medicina aeroespacial e documentação técnica. Analisaram-se, também, três acidentes aeronáuticos relacionados a esse tipo de evento em aeronaves modernas, a fim de encadear os conceitos teóricos às evidências mais relevantes do fenômeno. De forma a identificar quais fatores contribuíram para que tais eventos ocorressem, observou-se o que evoluiu, e se incorporou ao treinamento dos pilotos, visando a mitigar a incidência desse fenômeno. Ao finalizar, concluiu-se que o treinamento para desorientação, apesar de ter muito a evoluir, auxilia significativamente para o reconhecimento desse padrão de ilusão, auxiliando na mitigação de acidentes e os reduzindo para níveis aceitáveis.

Palavras-chave: Desorientação Espacial. Ilusão Somatográfica. Treinamento.

ABSTRACT

This research aimed to analyze how pilots' training interferes in the occurrence of aeronautical accidents related to spatial disorientation by somatogravic illusion. It sought to understand human physiology and aspects inherent to the behavior of the airman's senses linked to this illusion, as well as to know types of training aimed at mitigating disorientation. It was characterized as an explanatory research, with bibliographic, documentary and qualitative approach. The collection of the necessary data was carried out using the bibliographic method, using information from books, articles, documents and studies of the final reports of accidents. The approach was based on documents issued by operational security agencies, publications from the aerospace medical field and technical documentation. Three aeronautical accidents related to this type of event in modern aircraft were also analyzed in order to link theoretical concepts to the most relevant evidence of this phenomenon. In order to identify which factors contributed to such events, it was observed what evolved, and was incorporated into the training of pilots in order to mitigate the incidence of this phenomenon. At the end, it was concluded that the training for disorientation, despite having a lot to evolve, significantly helps to recognize this pattern of illusion, helping to mitigate accidents and reducing them to acceptable levels.

Keywords: Spatial disorientation. Somatogravic illusion. Training.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE ABREVIATURAS

AGL	<i>Above Ground Level</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CFIT	<i>Controlled Flight into Terrain</i>
CRM	<i>Cockpit Resource Management</i>
CVR	<i>Cockpit Voice Recorder</i>
DME	<i>Distance measuring equipment</i>
EGPWS	<i>Enhanced Ground Proximity Warning System</i>
FDR	<i>Flight Data Recorder</i>
FO	<i>First Officer</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i>
IMC	<i>Instrument Meteorological Conditions</i>
MDA	<i>Minimum Descent Altitude</i>
NTSB	<i>National Transportation Safety Board</i>
PF	<i>Pilot Flying</i>
PNF	<i>Pilot not Flying</i>
UPRT	<i>Upset Prevention and Recovery Training</i>
VOR	<i>Very high frequency omni-directional range</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	14
1.4 METODOLOGIA	15
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2 DESORIENTAÇÃO ESPACIAL	16
2.1 ILUSÃO SOMATOGRÁFICA.....	17
3 DESORIENTAÇÃO ESPACIAL: TREINAMENTO E COMPORTAMENTO DE TRIPULANTES	20
4 ILUSAO SOMATOGRÁFICA: TRÊS ESTUDOS DE CASO	23
4.1 OCORRÊNCIA COM AERONAVE: AIRBUS 320	23
4.1.1 Fatos da Aproximação Relacionados à Desorientação: Airbus 320	23
4.2 OCORRÊNCIA COM AERONAVE: AIRBUS 330	25
4.2.1 Fatos da Aproximação Relacionados à Desorientação: Airbus 330	26
4.3 OCORRÊNCIA COM AERONAVE: BOEING 767	26
4.3.1 Fatos da Aproximação Relacionados à Desorientação: Boeing 767.....	28
5 CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, homens com invenções criativas e ousadas tentam imitar os pássaros para alcançar o sonho de voar. A história da aviação traz muitos destes exemplos, que por muitas vezes levaram a fatalidade seus criadores (VILAS-BOAS, 2011).

A sensação de liberdade trazida pelo voo fez com que, mesmo correndo elevados riscos, homens desenvolvessem máquinas voadoras. Leonardo da Vinci ([14-]) foi um desses inventores e este entusiasmo relacionado ao voo o fez escrever uma das frases mais emblemáticas da aviação. “Uma vez que você tenha experimentado voar, você andar pela terra com os seus olhos voltados para o céu, pois lá você esteve e para lá desejará voltar”.

Assim, com o passar do tempo, voar se tornou uma realidade para a humanidade, e a evolução tecnológica da forma de voar continua surpreendendo pela velocidade como se implementa, sem deixar de lado o entusiasmo dos que têm a possibilidade de experimentar tal feito. Amelia Earhart ([19-]), primeira mulher a atravessar voando sozinha o Oceano Atlântico, assim refletiu sobre a sensação de voar: “você nunca viu uma árvore de fato se ainda não experimentou vislumbrar a sombra dela a partir do céu”.

Figura 1 – Painel DC3.



Fonte: Flickr, 2011.

Sistemas complexos e tecnológicos foram incorporados rapidamente aos aviões, tornando a evolução deste meio de transporte impressionante. Principalmente na cabine de comando das aeronaves, notou-se uma grande mudança com a substituição dos instrumentos analógicos por telas computadorizadas, nos quais as informações são obtidas mais facilmente e oferecendo uma melhor consciência situacional para os pilotos (VILAS-BOAS, 2011).

Figura 2 – Painel *Dassault Falcon 8X*.



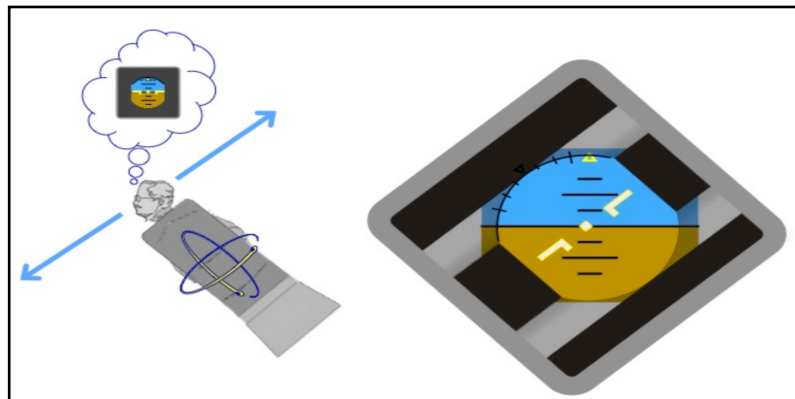
Fonte: *Dassault Falcon*, 2018.

Apesar da evolução, precisão e confiabilidade das cabines de aeronaves modernas, há momentos em que pilotos interpretam informações e sensações e se perguntam o que está havendo com indicações dos sistemas, pois seus sentidos estão “dizendo outra coisa”. Portanto, é essencial aprender e atualizar constantemente os conhecimentos sobre desorientação espacial, entendendo como e porque isso se verifica, para reconhecer e manter a segurança de voo caso aconteça (*FLIGHT SAFETY FOUNDATION*, 1997).

A desorientação espacial ocorre pela dificuldade dos sentidos humanos de interpretar fatores aos quais o homem não está habituado por natureza. Em condições normais de voo, mantendo-se uma atitude e aceleração na aeronave, a orientação do voo pode ser percebida pelos sentidos do homem, pois, com o auxílio da visão, a interpretação dos sentidos ocorre sem diferença de informações. Referências visuais, como a linha do horizonte, fazem com que a orientação do voo se mantenha, porém, havendo uma deterioração das referências visuais, verifica-se um predomínio dos sentidos humanos provenientes dos sistemas proprioceptivo e vestibular. Assim para manter o voo orientado o piloto deve confiar nos instrumentos da aeronave (*GILLINGHAM; PREVIC*, 1996).

Esta situação pode causar uma diferença entre as informações visuais obtidas pela leitura dos instrumentos de voo e pelas informações recebidas pelos sistemas vestibular e proprioceptivo, o que gera uma errônea interpretação pelo cérebro humano, resultando em uma desorientação espacial, que é a perda com relação à localização no espaço (*GILLINGHAM; PREVIC*, 1996).

Figura 3 – *The Leans Ilusion* (Ilusão de correção de inclinação).



Fonte: Skybrary, 2013.

Este sistema está localizado no interior do ouvido interno, e fornece informações para o cérebro de acelerações angulares em três dimensões como também acelerações lineares. Por não existir uma adaptação específica dos sentidos humanos com relação à desorientação espacial, esta vem sendo um dos fatores contribuintes para muitos acidentes aeronáuticos ainda nos dias atuais (GILLINGHAM; PREVIC, 1996).

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

De que forma o treinamento dos pilotos interfere na ocorrência de acidentes aeronáuticos relacionados com desorientação espacial por ilusão somatográfica?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar de que forma o treinamento dos pilotos interfere na ocorrência de acidentes aeronáuticos relacionados com desorientação espacial por ilusão somatográfica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Entender a fisiologia humana e aspectos inerentes ao comportamento dos sentidos do aeronavegante inerentes à ilusão somatográfica;

- b) Conhecer tipos de treinamento voltados à redução da desorientação espacial;
- c) Analisar três acidentes aeronáuticos relacionadas com desorientação espacial por ilusão somatográfica, em aeronaves modernas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em agosto de 2000, uma aeronave *Airbus A320* caiu a cerca de cinco quilômetros do aeroporto internacional do Bahrain. A aeronave foi destruída com a força do impacto e todas as 143 pessoas a bordo não sobreviveram à queda. A investigação indica que os pilotos experimentaram uma desorientação espacial com a falsa impressão de que a aeronave estava subindo (*BAHRAIN ACCIDENT INVESTIGATION BOARD*,2002).

Em maio de 2010, uma aeronave *Airbus A330* caiu cerca de alguns metros da pista 09 do aeroporto internacional de Trípoli (Líbia). A aeronave foi destruída com a velocidade do impacto e 103 pessoas perderam suas vidas. Um dos fatores contribuintes para o acidente foi a desorientação espacial (*LYBYAN CIVIL AVIATION AUTHORITY*,2013).

Em fevereiro de 2019, uma aeronave *Boeing B767*, operando um voo de carga caiu cerca de 40 milhas do aeroporto internacional de Houston, no Texas. Os três pilotos que estavam a bordo não sobreviveram à queda. A investigação indicou que os pilotos foram afetados por ilusão somatográfica, na qual a aceleração da aeronave para frente gerou a impressão de que a aeronave está subindo (*CHARPENTREAU*,2020).

O último acidente citado gerou uma intriga neste autor, pois, após quase vinte anos do primeiro acidente citado, ainda se verificam acidentes aeronáuticos relacionados à desorientação espacial. Qual lacuna na percepção se verifica para o entendimento da desorientação espacial?

A evolução das tecnologias embarcadas trouxe à operação aviões com cabines e sistemas modernos que propiciaram aumento da consciência situacional. A confiabilidade dos instrumentos de voo chegou ao ponto que as aeronaves podem efetuar *auto-landing* (pouso com piloto automático) e, mesmo assim, os sentidos humanos continuam a afetar percepção dos sentidos versus instrumentos de voo. Junto à tecnologia embarcada nas aeronaves, quais ações implementadas nos treinamentos minimizaram a incidência desse tipo de interpretação das informações de bordo? Existe treinamento específico para mitigar a

desorientação por ilusão somatográfica, a fim de evitar acidentes relacionados com desorientação espacial?

1.4 METODOLOGIA

Quanto aos objetivos, a pesquisa foi realizada de forma explicativa, com procedimento bibliográfico, documental e abordagem qualitativa. De acordo com Gil (2008), “a pesquisa explicativa identifica os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência de fenômenos”.

A coleta dos dados necessários, se realizou por meio do método bibliográfico, valendo-se de informações de livros, artigos, documentos e estudos dos reportes finais dos acidentes. A abordagem baseou-se em escriturações de órgãos de segurança operacional, publicações da área de medicina aeroespacial e documentação técnica.

A fim de encadear os conceitos teóricos às evidências mais relevantes desse fenômeno, estudaram-se três casos em que a desorientação se vinculou à ilusão somatográfica, de forma a identificar quais fatores contribuíram para que o fenômeno ocorresse observando o que evoluiu e foi incorporado no treinamento e dos pilotos.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O Trabalho foi preparado segundo a seguinte estrutura:

- a) Na introdução, primeiro capítulo, exploraram-se conceitos e antecedentes históricos referentes à desorientação espacial, bem como apresentam-se os objetivos da pesquisa, a justificativa e a metodologia empregada;
- b) O segundo capítulo tratou da fisiologia humana relacionada à desorientação espacial e à ilusão somatográfica;
- c) Os treinamentos e aspectos inerentes ao comportamento dos aeronavegantes relacionados ao fenômeno estão dispostos no terceiro capítulo;
- d) O quarto capítulo traz três estudos de caso relacionados a esse tipo de evento em aeronaves modernas;
- e) Por fim, após as retomadas das ideias centrais desenvolvidas ao longo dos estudos, dispuseram-se as conclusões referentes aos casos estudados no quinto capítulo.

2 DESORIENTAÇÃO ESPACIAL

O homem tem sentidos capazes de manter um perfeito equilíbrio corporal com a vida terrestre, o que o permite se movimentar sem problemas, ao passo que mantém a orientação dos seus sentidos por estar adaptado a tal ambiente. Esta capacidade de adaptação não funciona da mesma forma no ambiente aéreo, pois não proporciona os mesmos estímulos que na vida terrestre. Por estes estímulos não serem os mesmos, em voo o homem pode experimentar perda da capacidade de se orientar, ou seja, uma desorientação espacial (BENSON, 1998).

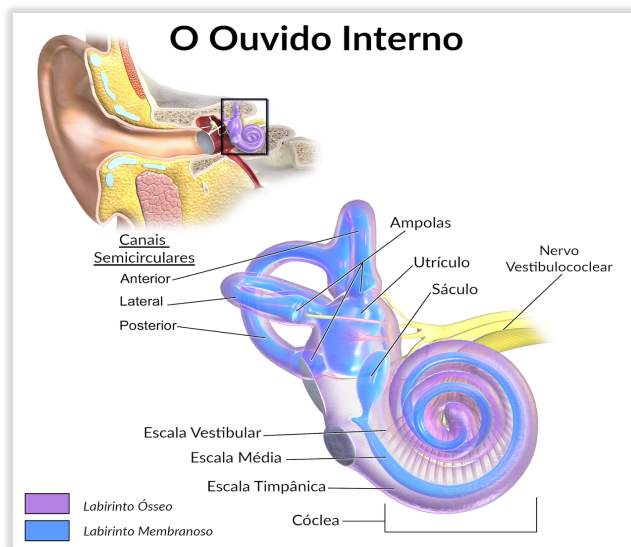
Desorientação espacial é definida como a incapacidade de o piloto interpretar corretamente a atitude, altitude ou aceleração da aeronave em relação à terra ou outro ponto. A desorientação espacial pode causar a perda do controle de voo ou um voo controlado até o solo - CFIT (*controlled flight into terrain*). Todos os seres humanos estão suscetíveis à desorientação, e isto se deve ao funcionamento correto do sistema de orientação que gera uma falsa ilusão, por se confiar na orientação de nossos sentidos, fica difícil para algumas pessoas aceitar que os estímulos gerados pelo nosso corpo estão fornecendo uma informação incorreta para tal situação (FLIGHT SAFETY FOUNDATION, 1997).

Durante o voo, manter a orientação espacial se torna difícil, pois os estímulos sensoriais (visuais, vestibulares e proprioceptivos) variam, uma vez que resultam em uma incompatibilidade sensorial que leva eventualmente às desorientações. As referências visuais são essenciais para manter a orientação tanto em terra como em voo, especialmente quando o corpo está em movimento (MELCHOR, 2011). Havendo uma degradação da visibilidade, o corpo perde o sentido “principal” de orientação e torna-se dependente, subconscientemente, da propriocepção e sistemas vestibulares, tornando-se mais susceptível a desorientação (BENSON, 1998).

O sistema vestibular, localizado no interior do ouvido interno, fornece informações para o cérebro de acelerações angulares (em três dimensões) e acelerações lineares. Tal sistema é composto de três canais semicirculares - o canal anterior ou superior é a parte responsável por detectar rotações em torno do eixo lateral e no plano sagital; o canal lateral ou horizontal corresponde à rotação no eixo vertical, e plano transversal; e o canal posterior detecta rotações no plano coronal - e dois detectores otólitos (o sáculo e utrículo) fornecem a informação que se combinam referente ao plano horizontal e vertical) (GILLINGHAM; PREVIC, 1996).

Os canais e os otólitos têm diferenças fisiológicas e anatômicas, porém o funcionamento de ambos se parece. Um fluido de fluxo livre está dentro de cada órgão; cada vez que a cabeça sofre um movimento, os detectores parecidos com cabelos, presos às paredes de cada órgão, movem-se junto ao fluido. Quando o movimento da cabeça (aceleração ou desaceleração) cessa, o fluido atinge uma velocidade constante dentro dos órgãos, chegando a parar, assim como os detectores parecidos com cabelos (BENSON, 1998).

Figura 4 – Anatomia do ouvido interno.



Fonte: Skybrary, 2009.

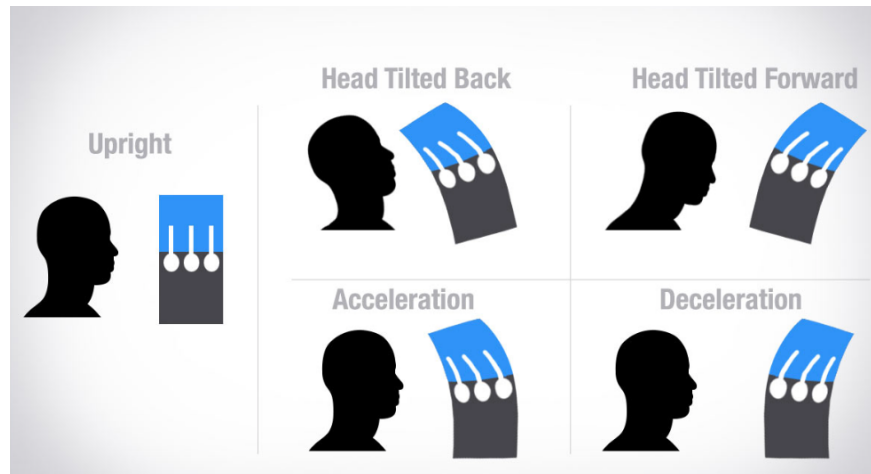
Os principais tipos de “ilusões” resultadas do funcionamento normal do sistema vestibular passíveis de ocorrer no ambiente de voo são as somatogiratórias – aquelas relacionadas aos canais semicirculares - e as somatográficas, as quais têm relação aos órgãos otólitos (GILLINGHAM; PREVIC, 1996).

2.1 ILUSÃO SOMATOGRÁFICA

A ilusão somatográfica é um evento que se verifica durante grande aceleração ou desaceleração linear do corpo humano e geralmente se verifica quando a visão do piloto está restrita (WILSON, 1995). A sensação de uma forte inclinação para cima ou para baixo é sentida pelos pilotos quando ocorre tal movimento (aceleração/desaceleração). A ilusão se deve à interação dessas acelerações não naturais (as quais são sentidas em aeronaves) no órgão otólito em nosso utrículo (KEN, 1998).

Esse fenômeno pode ocorrer numa aceleração para decolagem, ao se iniciar uma arremetida, ao se nivelar a aeronave, após o término de uma subida ou de uma descida e ao efetuar uma curva acentuada. Também pode ocorrer ao se desacelerar a aeronave, reduzindo a potência ou acionando os freios aerodinâmicos - *air brakes* (BENSON, 1998).

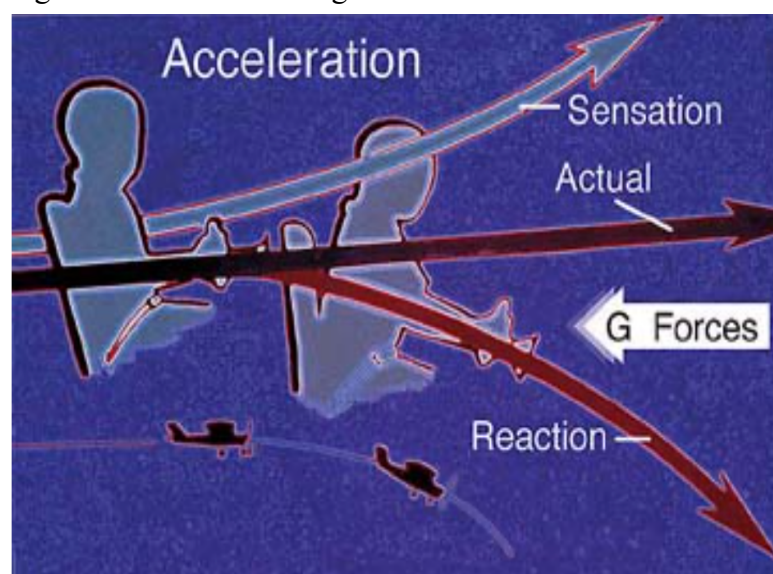
Figura 5 – Aceleração e desaceleração que imitam a inclinação da cabeça.



Fonte: Boldmethod, 2019.

Respondendo à ilusão, o piloto irá baixar o nariz da aeronave (parte frontal do avião) para manter o voo nivelado, porém de fato iniciará uma descida ou mergulho. Com isso, o avião passa a acelerar e descer, o que ocasiona, eventualmente, sensações ilusórias que induzem o piloto a continuar a baixar o nariz da aeronave ainda mais. A ilusão somatográfica, tragicamente termina levando o piloto a comandar a aeronave numa descida acentuada com alta velocidade, o que diminui as chances de recuperar a atitude de voo (SCHAPPERT, 2012).

Figura 6 – Ilusão Somatográfica em voo.



Fonte: Flight Safety Foundation, 2012.

A reação contrária pode ocorrer, apesar de não ser tão comum, uma vez que uma desaceleração brusca pode levar o piloto à ilusão de que a aeronave está em descida, fazendo com que a reação seja iniciar uma subida até o ponto de estol¹ (PEARSON, 2012).

Esta ilusão há muito foi reconhecida como um perigo significativo que pode ocorrer sob condições de aceleração linear sustentada, quando as referências visuais externas são obscurecidas (BULEY; SPELINA, 1970). Além disso, tais condições podem degradar a capacidade do piloto interpretar com eficácia as informações apresentadas pelos principais instrumentos de voo. Para um piloto voando em IMC (*Instrument Meteorological Conditions*), sem o horizonte na linha de visão, manter a orientação espacial, quando experimenta sinais vestibulares conflitantes, depende de confiar nos instrumentos do avião e desconsiderar as percepções sensoriais (FAA, 2003). No entanto, para alguns pilotos, particularmente aqueles que não são proficientes em manter o controle do avião enquanto fazem referência apenas aos instrumentos, pode ser difícil avaliar com precisão ou acreditar em fontes confiáveis de informação, como os instrumentos do avião. (NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD, 2020).

¹ Velocidade abaixo da qual o avião perde sustentação, devido à separação do fluxo de ar do extradorso da asa.

3 DESORIENTAÇÃO ESPACIAL: TREINAMENTO E COMPORTAMENTO DE TRIPULANTES

Análises de acidentes indicam que pilotos com conhecimentos e habilidades adquiridas em treinamento podem apresentar deficiência no controle da aeronave, quando atuando em situações inesperadas. Isso ocorre porque, em situações inesperadas ou de emergência, o corpo humano responde de forma rápida e intuitiva e tal reação automática do corpo dificilmente pode ser modificada. Porém, com treinamento específico para essas condições eventuais, resultados favoráveis são obtidos devido à repetição, antecipação e ao reconhecimento da situação (SILVA; PONTES, 2019).

Sob elevado grau de estresse, a atenção dos pilotos fica comprometida, levando à “visão de túnel”, o que restringe a varredura nos instrumentos da aeronave, o que é determinante para que ele se fixe somente em um instrumento, desconsiderando indicações importantes de outras fontes para tal situação. Assim, o piloto perde informações fundamentais para a recuperação da trajetória de voo ou resolução da emergência (MARTIN; MURRAY; BATES, 2012).

Confusão, leitura errônea dos instrumentos, ou atuação agressiva dos comandos podem dificultar a recuperação da aeronave em situações críticas de atitude. Em uma situação anormal de voo existe o risco de o piloto entrar em pânico, atuando os comandos da aeronave de forma inadequada, o que agrava a situação inicial em que se encontrava (RANSBURY; KOCHAN, 2010). Fadiga, estresse, uso de certos medicamentos, problemas emocionais, elevada carga de trabalho, pouca experiência de voo, condições meteorológicas e fatores humanos, entre outros, são condições que potencializam a possibilidade de desorientação (RODRIGUES, 2016). Técnicas de prevenção e recuperação simulados em um treinamento podem não ser úteis caso as condições psicológicas ou fisiológicas diminuam a performance durante uma situação real. (*AVIATION PERFORMANCE SOLUTIONS*, 2018).

Ao enfrentar uma situação ameaçadora, mais incerto o ambiente se torna, o que vem a dificultar o processo de decisão. Nesse sentido, um bom julgamento pode ser desenvolvido com treinamento, experiência e informação, o que viabiliza a tomada de decisões adequadas no exercício da pilotagem, ou seja, nas ações de monitorar, interpretar e compreender os equipamentos de bordo (BRAGA; LOPES, 2006). Superar o fator surpresa, em uma situação anormal, pode ser atenuado caso situações parecidas já tenham sido vivenciadas em treinamentos, ou seja, a recuperação de uma situação adversa depende da habilidade do piloto em processar informações adquiridas nos treinamentos. O fator estresse

pode ser diminuído, quando houver a percepção de treinamento já realizado durante uma condição real (BROOKS; RANSBURY, 2014).

Portanto, enfrentar uma situação de emergência não depende somente de conhecimento e habilidades para solucionar o problema; depende também de informações adquiridas em treinamento ou já vivenciadas anteriormente pelo piloto. (*AVIATION PERFORMANCE SOLUTIONS*, 2018).

De acordo com Nuttall e Stanford (1959), existem duas áreas principais para evitar acidentes por desorientação: pesquisa e treinamento. A pesquisa permite entender melhor as interpretações visuais em distintas condições de voo, notadamente em face à tecnologia embarcada nos aviões modernos e por apresentar alternativas sobre a orientação espacial interface homem-máquina. São também sendo importante no desenvolvimento de simuladores que possam treinar pilotos a sentirem tais ilusões (GIBB, ERCOLINE, SCHARFF, 2011).

Um manual de UPRT (*Upset Prevention and Recovery Training*) foi elaborado no ano 2014 pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*) em conjunto com fabricante de aeronaves e de simuladores de voo, autoridades da aviação civil e outros operadores e colaboradores. É um treinamento voltado à prevenção e recuperação de atitudes anormais² de voo, fornecendo para tripulantes informações teóricas e práticas para prevenir ou recuperar destas situações (EASA, 2014).

Esses treinamentos podem se realizar por meio de simulações específicas de desorientação espacial e instrutores especializados para reconhecimento ou mesmo simulação real em aviões. Tais treinamentos auxiliam o piloto a identificar e interpretar de forma correta e eficiente a desorientação (GIBB, ERCOLINE, SCHARFF, 2011). Cuidado especial com o fator surpresa deve ser considerado, para que o estresse não atrapalhe o aprendizado, assim em um voo simulado ou real de treinamento cenários semelhantes são assimilados pelo piloto com maior eficiência (BROOKS; RANSBURY, 2014). Os atuais simuladores de voo possuem limitações de movimento, não produzindo uma completa experiência das atitudes, fatores de carga e comportamento da aeronave, que geralmente estão presentes no treinamento em voo real. Esta lacuna, quando não explorada corretamente, pode produzir deficiências no fenômeno, quando o piloto experimenta uma real situação (SILVA; PONTES, 2019).

² Ocorre quando certos parâmetros são excedidos não intencionalmente, trazendo a atitude da aeronave para uma situação anormal de voo.

Treinamentos em voo real são mais caros, perigosos e costumam ser muito específicos para os tipos de aeronave. Um piloto de linha aérea, provavelmente não terá oportunidades de realizar treinamento real, pois essa atividade é realizada em aviões militares ou acrobáticos específicos (LITTMAN; LAWSON; BRILL; RUPERT, 2015). Por outro lado, aqueles realizados em sala de aula, com componentes de atualização não somente com visões gerais dos problemas e perigos da desorientação, com tópicos específicos relacionados a orientação visual e os aspectos psicológicos da orientação junto com o UPRT em simulador, são benéficos, com melhoria das habilidades pertinentes a consciência situacional e aperfeiçoamento do CRM (*Cockpit Resource Management*). Em suma, o treinamento é uma forma satisfatória de ensinar aos pilotos a importância da consciência situacional junto com CRM, o que corrobora para evitar a desorientação espacial (LITTMAN; LAWSON; BRILL; RUPERT, 2015).

4 ILUSAO SOMATOGRÁFICA: TRÊS ESTUDOS DE CASO

4.1 OCORRÊNCIA COM AERONAVE: *AIRBUS* 320

Em 23 de agosto de 2000, por volta 1930, hora local, uma aeronave da *Gulf Air* GF-072 (*Airbus* A320) colidiu com o mar a cerca de três milhas a nordeste do Aeroporto Internacional do *Bahrain*. O voo partiu do Aeroporto Internacional do Cairo, Egito, com dois pilotos, seis tripulantes de cabine e 135 passageiros a bordo. O GF-072 estava realizando um plano de voo por instrumentos IFR (*Instrument Flight Rules*), e foi instruído a realizar o procedimento de aproximação por instrumentos VOR/DME (*very high frequency omnidirectional range / distance measuring equipment*) para a pista 12 do aeroporto do *Bahrain* (*BAHRAIN ACCIDENT INVESTIGATION BOARD*, 2002).

A cerca de uma milha náutica do ponto de pouso e a uma altitude de aproximadamente 600 pés, a tripulação solicitou uma órbita pela esquerda, a qual foi aprovada pela torre de controle do aeroporto. Ao final da órbita, já além do curso final de pouso, o controle de tráfego ofereceu vetoração radar³ para auxiliar na aproximação, que prontamente foi aceita pela tripulação e iniciou-se, então, o procedimento de arremetida na trajetória em curva, com uma subida de cerca de 1000 pés. A aeronave acelerou rapidamente, o que levou a tripulação a experimentar uma desorientação por ilusão somatográfica. O comandante respondeu à falsa sensação de *pitch up*⁴ e comandou a aeronave a descer. O A320 foi destruído devido à força do impacto e todas as 143 pessoas a bordo faleceram (*BAHRAIN ACCIDENT INVESTIGATION BOARD*, 2002).

4.1.1 Fatos da Aproximação Relacionados à Desorientação: *Airbus* 320

Os dados do gravador de voo FDR (*flight data recorder*) mostraram que a altitude da aeronave, durante a curva pela esquerda, variou de 965 pés a 332 pés acima do solo AGL (*above ground level*). Por volta de 19:28:57, após ter a segunda autorização de pouso pela torre de controle do *Bahrain* (a primeira havia acontecido antes da órbita pela esquerda), o

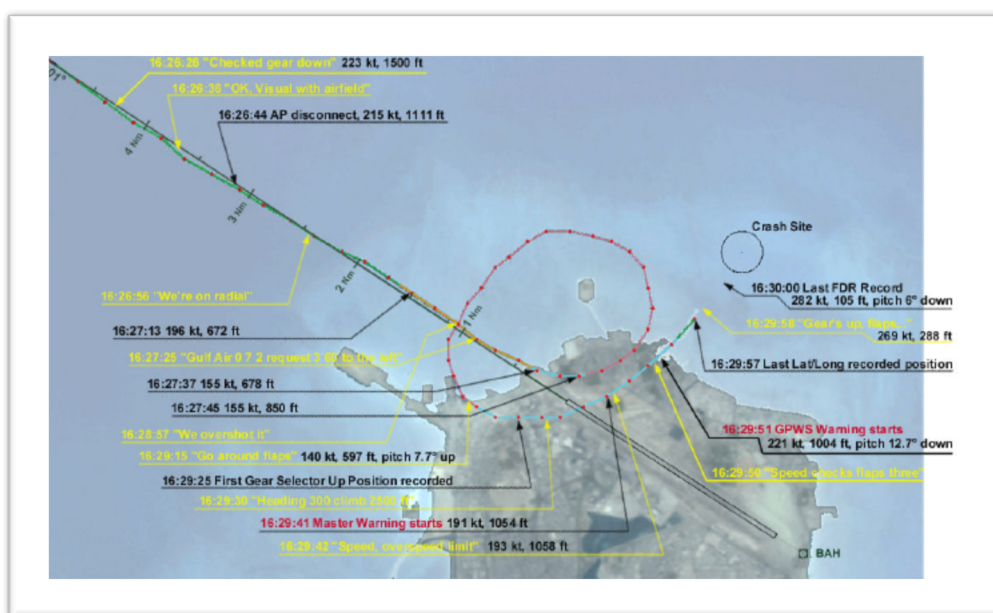
³ Situação em que o controlador de tráfego aéreo, com base na apresentação das informações obtidas por meio de radar, orienta a navegação de uma aeronave.

⁴ Isso acontece porque os pequenos cílios existentes dentro do sistema auditivo humano, ao perceberem uma aceleração linear, promovem uma forte sensação de que o nariz do avião está se movendo para cima.

comandante declarou que havia ultrapassado a trajetória final para pouso da pista 12. Às 19:29:07 foi tomada a decisão de iniciar o procedimento de arremetida; os dados do gravador de voo indicaram uma aceleração para potência de decolagem e aumento do empuxo dos motores. Naquele momento, após a sugestão da torre de controle, a tripulação aceitou vetoração radar para uma nova aproximação (*BAHRAIN ACCIDENT INVESTIGATION BOARD, 2002*).

Porém, às 19:29:43, a uma altura de 1.058 pés AGL, o comandante atuou *side-stick* para frente, abaixando o nariz da aeronave (*pitch down*) e este comando durou aproximadamente 11 segundos. A razão mais provável para o comando do manche para frente durante todo este tempo foi a ilusão que a aeronave estaria subindo, devido à aceleração. Mesmo diante da informação oriunda dos instrumentos indicarem a sua verdadeira atitude de *pitch*, tal informação não foi compreendida pelo comandante, pois não houve resposta no sentido de controlar o movimento erroneamente realizado (*BAHRAIN ACCIDENT INVESTIGATION BOARD, 2002*).

Figura 7 – Parâmetros de voo nos segundos finais.



Fonte: *Bahrain Accident Investigation Board, 2002*.

Não reconhecer a desorientação foi a sequência final de eventos que levaram ao acidente. O alarme de excesso de velocidade com *flap* estendido começou a alertar a tripulação praticamente ao mesmo tempo em que o sistema de alerta de proximidade do solo EGPWS (*Enhanced Ground Proximity Warning System*) alertou "*sink rate*", informando um

afundamento na trajetória da aeronave. Um segundo após o primeiro alerta, o EGPWS soou continuamente “*whoop, whoop, pull up...*” até o impacto, que ocorreu às 19:30:02. Com o alerta do EGPWS, e caso a tripulação tivesse respondido com o procedimento adequado, ainda seria possível recuperar a trajetória da aeronave, porém o comandante não moveu o *side-stick* o suficiente para evitar que a trajetória da aeronave continuasse em descida. A última atitude da aeronave registrada pelo FDR era de seis graus em “*pitch down*”, com 282 nós de velocidade. A aceleração de decolagem com empuxo máximo dos motores, foi aplicada no início do procedimento de arremetida, manteve-se até o final da gravação (BAHRAIN ACCIDENT INVESTIGATION BOARD, 2002).

Cálculos da visão dos tripulantes da cabine, pela trajetória de voo, indicam que todas as referências visuais foram perdidas vinte e dois segundos antes do impacto, quando a aeronave voou para uma área de escuridão total. A combinação de ausência de referências visuais e a rápida aceleração devido ao procedimento de arremetida são condições propícias para a incidência da ilusão somatográfica (BAHRAIN ACCIDENT INVESTIGATION BOARD, 2002).

4.2 OCORRÊNCIA COM AERONAVE: AIRBUS 330

Na manhã do dia 12 de maio de 2010, um Airbus 330 operado pela empresa *Afriqiyah Airways* colidiu com o solo a mil e duzentos metros da cabeceira da pista 09 do aeroporto internacional de Trípoli, na Líbia. A tripulação técnica era composta pelo comandante, que naquela etapa não estava atuando nos comandos da aeronave (*pilot not flying*), pelo primeiro oficial, que estava nos comandos de voo (*pilot flying*) e por um terceiro membro, outro primeiro oficial, como piloto de segurança (*safety pilot*). Por volta das 03:29:43 a aeronave foi identificada pelo controle de aproximação final de Trípoli, o qual a autorizou a realizar o procedimento de aproximação por instrumentos para pista nove (LYBYAN CIVIL AVIATION AUTHORITY, 2013).

Às 03:59:19, a torre do aeroporto de Trípoli autorizou a continuação do procedimento de pouso, solicitando que os pilotos relatassem o avistamento da pista. Poucos segundos após, a aeronave que havia aterrissado à frente reportou banco de nevoeiro próximo ao solo, na fase final da aproximação. Às 04:00:24 a tripulação recebeu o alerta “*hundred above*”⁵. Ao ouvir a mensagem o comandante falou “*continue*” e o copiloto que estava

⁵ Mensagem de alerta informada pelo sistema EGPWS que a aeronave estava cem pés acima altitude mínima para aquele procedimento.

operando o avião concordou, continuando a aproximação. Apenas dezoitos segundos depois, a aeronave já estava abaixo da altitude mínima para aquele procedimento - MDA (*minimum descent attitude*). Momento em que o piloto decide se prossegue ou opta pela arremetida por instrumentos) e somente após ouvir o alerta do EGPWS “*too low terrain*”, o comandante ordenou que iniciasse o procedimento de arremetida (*LYBYAN CIVIL AVIATION AUTHORITY*, 2013).

Às 04:00:59, logo após o início da arremetida, a aeronave recebeu o comando de “*pitch down*”, e iniciou um mergulho com direção ao solo; as 04:01:14, ocorreu o impacto com o solo, numa velocidade de 260 nós e razão de descida de 4.400 pés por minuto sucedida pelo impacto no solo e incêndio. Os onze tripulantes e noventa e dois passageiros faleceram no acidente e um passageiro sobreviveu com graves lesões. (*LYBYAN CIVIL AVIATION AUTHORITY*, 2013).

4.2.1 Fatos da Aproximação Relacionados à Desorientação: *Airbus 330*

De acordo com dados do gravador de voo FDR (*flight data recorder*) às 04:00:30 a aeronave havia atingido a MDA e seis segundos depois o copiloto, que detinha os comandos da aeronave, perguntou ao comandante se deveria abortar a aproximação (iniciar uma arremetida). Nenhuma ação foi tomada até 04:00:42, quando o alerta do EGPWS soou “*too low terrain*” e, então, sob a instrução do comandante, foi iniciado o procedimento de arremetida. Segundos após a aeronave foi comandada com nariz para baixo “*pitch down*”, atitude na qual permaneceu durante vinte e um segundos. Considerou-se que a tripulação experimentou uma desorientação por ilusão somatográfica, em face à aceleração repentina e ausência de referências visuais (*LYBYAN CIVIL AVIATION AUTHORITY*, 2013).

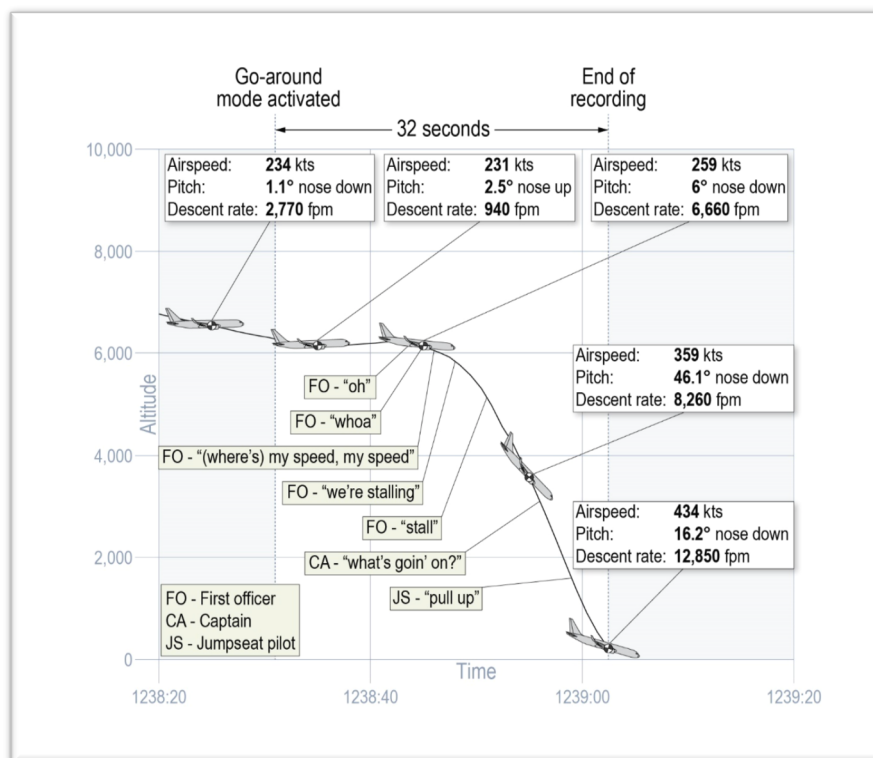
4.3 OCORRÊNCIA COM AERONAVE: *BOEING 767*

Em 23 de fevereiro de 2019, um Boeing 767, no voo 3591 da empresa Atlas Air, sofreu um acidente após mergulhar rapidamente de uma altitude de seis mil pés, a cerca de 66 quilômetros do Aeroporto Intercontinental George Bush em Houston, Texas. O comandante, o primeiro oficial (*first officer*) e um piloto extra morreram. O primeiro oficial (*FO*) era o piloto voando (*PF*), o comandante era o piloto de monitoramento (*PNF*) (*NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD*, 2020).

Às 12:34:09, o controle de aproximação avisou a tripulação sobre uma área de instabilidade de leve a moderada, cerca de 35 milhas na proa da rota e o controlador de voo autorizou a continuar a descida para três mil pés, com o rumo 270 graus para evitar a formação meteorológica pelo setor oeste. A aeronave continuou a descida normalmente, quando o modo de arremetida (*go-around*) do avião foi acionado a uma altitude de 6.300 pés. As funções automatizadas de voo comandaram o nariz da aeronave para cima (*pitch up*) e aumentaram o empuxo do motor, eventos esperados devido à ativação do dispositivo de arremetida (*go-around*) e nenhum dos tripulantes identificou alguma anormalidade (*NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD*, 2020).

Em seguida, o avião entrou em mergulho acentuado e o primeiro oficial notou a velocidade da aeronave aumentando e exclamou “ESTOL”. Vinte segundos após, o comandante perguntou o que estava acontecendo e assim iniciaram comandos manuais no manche para iniciar uma recuperação e trazer o nariz do avião para cima. Estes comandos foram mantidos durante sete segundos, porém não o suficiente para interromper com a descida do avião e evitar a colisão com o pântano (*NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD*, 2020).

Figura 8 – Parâmetros da aeronave nos segundos finais de voo.

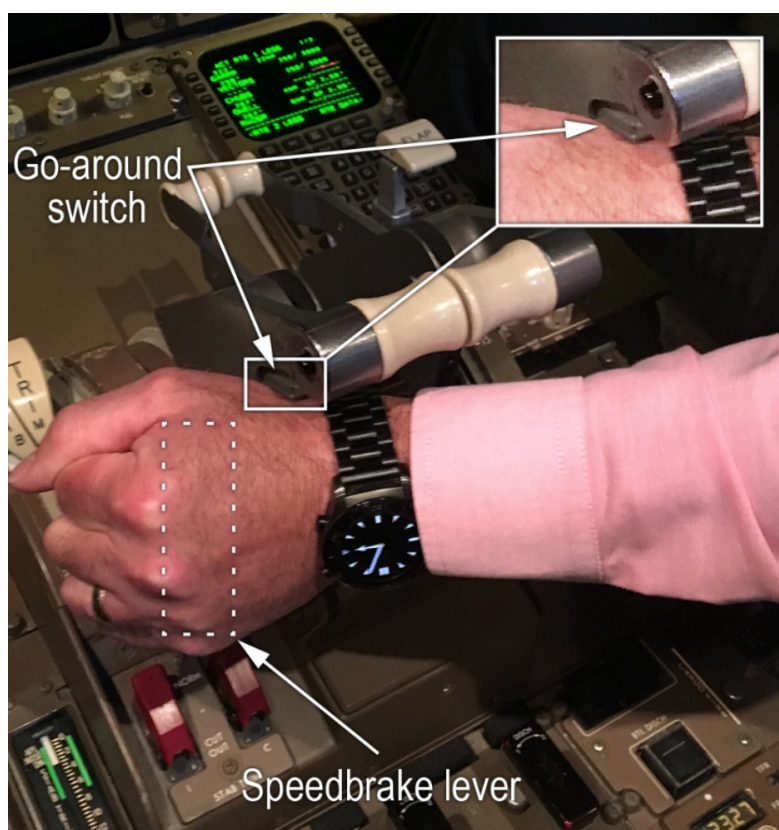


Fonte: NTSB-National Transportation Safety Board, 2020.

4.3.1 Fatos da Aproximação Relacionados à Desorientação: *Boeing 767*

O modo de arremetida (*go-around*) foi ativado de forma não intencional ao encontro da aeronave com uma turbulência leve, a cerca de 40 milhas do aeroporto, em descida, quando se cruzava a altitude de 6.300 pés para nivelamento em 3.000 pés. Tal acionamento não foi intencional. O comando do manche para frente colocou a aeronave com o nariz para baixo e forçou o avião a efetuar um mergulho íngreme. Ressalta-se que treinamento e os procedimentos para pilotos da Atlas definiam que, durante as operações com piloto automático de controle de voo com os freios aerodinâmicos acionados, o piloto em comando deve manter uma mão na alavanca do referido dispositivo como um lembrete para retrai-los quando necessário (*NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD, 2020*).

Figura 9 – Posição da mão esquerda (assento do copiloto) segurando a alavanca de freio aerodinâmico.



Fonte: NTSB-National Transportation Safety Board, 2020.

Para ativar o modo de arremetida, é necessário que o piloto pressione um dos interruptores do lado externo de qualquer alavanca de empuxo. As características de um som de “clique”, detectado pelo CVR, forneceram evidências de que o modo de arremetida foi

ativado usando um dos interruptores. Em condições meteorológicas de visibilidade reduzida (IMC), a tripulação experimentou um aumento na aceleração longitudinal, gerando a ilusão somatográfica naquele momento (*NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD*, 2020).

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi analisar de que forma o treinamento dos pilotos interfere na ocorrência de acidentes aeronáuticos relacionados com desorientação espacial por ilusão somatográfica. Nela, procurou-se entender a fisiologia humana e aspectos inerentes ao comportamento dos sentidos do aeronavegante ligados à tal ilusão, assim como conhecer tipos de treinamento voltados à mitigação da desorientação. Analisaram-se também três acidentes aeronáuticos relacionados a esse tipo de evento em aeronaves modernas, a fim de encadear os conceitos teóricos às evidências mais relevantes desse fenômeno.

A aviação modificou-se continuamente nos últimos anos e o homem precisou se adaptar aos novos padrões tecnológicos para aumentar sua consciência situacional na cabine de voo. Ao entender a fisiologia humana relacionada ao sentido vestibular, percebeu-se que todos os seres humanos estão susceptíveis a sofrer desorientação quando em voo. Mesmo pilotos experientes acabam, por vezes, sofrendo os efeitos desse fenômeno e a consequência das ilusões levam à errônea interpretação da trajetória de voo e decisões contrárias para recuperação da mesma.

Porém, numa situação inesperada, ou de emergência, não é somente a desorientação dos sentidos, ou ilusões, que degrada a capacidade da tomada de decisão. Fatores como elevado grau de estresse, fadiga, problemas emocionais, uso de medicamentos, pouca experiência entre outros, aliados ao fator surpresa comprometem a interpretação. Portanto, enfrentar uma situação de emergência não depende somente de conhecimento e de habilidades para solucionar o problema, depende também de informações adquiridas em treinamento ou já vivenciadas pelo piloto.

Em 2014 a ICAO, junto com membros da indústria aeronáutica em geral, elaborou o manual de UPRT (*Upset Prevention and Recovery Training*). Este treinamento traz para a aviação uma combinação de informações teóricas e práticas importantes para o reconhecimento e prevenção de situações anormais (EASA, 2014).

Percebeu-se que o bom CRM tem um papel fundamental para a mitigação do fenômeno, pois desenvolve habilidades para agir e ouvir de forma coordenada; a simples transferência de controle para o outro piloto na cabine, ou o uso do piloto automático durante a desorientação, podem solucionar o problema.

Para reduzir o número de acidentes relacionados com ilusão somatográfica ou qualquer outra desorientação, o treinamento e o conhecimento dessa problemática é

fundamental. Aspectos teóricos e práticos, apesar de muitas vezes não serem específicos, trazem evoluções para o entendimento e interpretação do fator surpresa. A similaridade dos estímulos que pilotos enfrentam durante a instrução teórica e, posteriormente, num voo de treinamento real ou em simulador, condicionam a resposta imediata, no caso de uma desorientação no dia a dia.

O treinamento para desorientação não acompanhou a evolução na aviação, pois poucos simuladores conseguem criar situações semelhantes ao evento. Numa atividade prática de voo, tal simulação se torna custosa, perigosa e pouco produtiva, devido às diferenças dos aviões e perfil do treinamento. Por outro lado, quando realizado em sala de aula, com recursos específicos relacionados a orientação visual e os aspectos psicológicos da orientação junto com o UPRT (*Upset Prevention and Recovery Training*) em simulador os resultados são benéficos, uma vez que desenvolvem melhoria das habilidades para esse tipo de situação. Em suma, o treinamento é uma forma satisfatória de ensinar aos pilotos a importância da consciência situacional junto com CRM (*Cockpit Resource Management*), o que corrobora para evitar a desorientação espacial (LITTMAN; LAWSON; BRILL; RUPERT, 2015).

A pesquisa trouxe três casos de acidentes com aeronaves modernas, onde um dos fatores predominantes foi a ilusão somatográfica, e o fator surpresa foi decisivo para o não reconhecimento da desorientação. No primeiro evento estudado, o comandante operava a aeronave e em nenhum momento o copiloto influenciou nas decisões, mesmo quando uma ação de resposta ao EGPWS era esperada de qualquer tripulante. No segundo caso, o copiloto estava no comando da aeronave e esperava as “ordens” do comandante para tomar decisões. No terceiro caso, em virtude da surpreendente ativação do modo de arremetida, houve errônea interpretação do copiloto, e uma tardia preocupação e entendimento do comandante em relação a situação.

Dessa forma, percebeu-se que o déficit no CRM e no entendimento do fenômeno, é capaz de impedir que tripulantes reconheçam uma situação anormal, o que pode ser mitigado com treinamento específico no qual se usam a somatória de conhecimentos teóricos sobre o fenômeno, experiência em simulador e os princípios do CRM para reduzir o fator surpresa. Essa forma de capacitação viabiliza o reconhecimento e a resposta automática dos pilotos em situações de desorientação. A atenção da ANAC e implementação, por parte das empresas da aviação em geral, de um treinamento que entregue respostas consistentes a ponto de mitigar a influência do efeito surpresa na tomada de decisão dos pilotos durante eventos de desorientação é fundamental para a redução à níveis aceitáveis deste problema atual.

Assim o objetivo geral proposto para o presente trabalho foi atingido, pois se evidenciou que o deficit no treinamento e entendimento dos pilotos pode interferir no reconhecimento e recuperação de situações anormais em voo. Cabe salientar que esta pesquisa sinaliza oportunidade para novos estudos no tema, a fim de aprofundar conceitos e abordagens referentes à desorientação espacial.

REFERÊNCIAS

- ANATOMIA do ouvido interno. 2009. Skybrary. Disponível em: https://www.skybrary.aero/index.php/File:Vest_Fig2.jpg. Acesso em: 15 ago. 2020.
- AVIATION PERFORMANCE SOLUTIONS. **Required intensity for effective airplane upset training**. 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2PkaUiZ>. Acesso em: 12 set. 2020.
- BAHRAIN ACCIDENT INVESTIGATION (org.). **FINAL REPORT: a320 (a40-ek) aircraft accident**. A320 (A40-EK) Aircraft Accident. 2002. Disponível em: www.skybrary.aero/bookshelf/books/1020.pdf. Acesso em: 03 ago. 2020.
- BENSON, A.J. **Spatial Disorientation** – common illusions. In: Ernsting, J.; King, P. *Aviation Medicine*. 2nd. ed. London: Butterworth-Heinemann, 1998. p. 297-317.
- BENSON, A.J. **Spatial Disorientation** – general aspects. In: Ernsting, J.; King, P. *Aviation Medicine*. 2nd. ed. London: Butterworth-Heinemann, 1998. p. 277-96.
- BRAGA, C. K.; LOPES, E. J. **Avaliação de Fatores Cognitivos e Afetivos na Tomada de Decisão em Contextos Naturais**. Horizonte Científico, v. 1, p. 1-27, 2006.
- BROOKS, R.; RANSBURY, P. B. J. **Why upset prevention training alone is not enough**. 2014. Disponível em: <https://bit.ly/2UxcZua>. Acesso em: 16 set. 2020.
- BULEY, L.E; J. SPELINA. 1970. “**Physiological and Psychological Factors in ‘The Dark Night Takeoff Accident’**.” *Aerospace Medicine* 41 (5): 553-6.
- CHARPENTREAU, Clement. **Atlas Air crash: poor training history of copilot went undetected**. 2020. Disponível em :www.aerotime.aero/clement.charpentreau/25421-atlas-air-crash-poor-training-history-of-copilot-went-undetected?utm_source=newsletter&utm_medium=email. Acesso em: 28 jul. 2020.

DASSAULT Falcon Jet: Falcon 8X Cockpit. 2018. Disponível em:
<https://www.dassaultfalcon.com/en/Aircraft/Models/8X/Pages/overview.aspx#s=13#k=Photo>.
 Acesso em: 10 ago. 2020.

EASA, European Union Aviation Safety Agency. **What is UPRT?** Disponível em:
<https://www.easa.europa.eu/faq/44870>. Acesso em: 10 set. 2020.

FAA Civil Aerospace Medical Institute. Spatial Disorientation. 2003. Publication AM-400-30/1. Disponível em:
<https://www.faa.gov/pilots/safety/pilotsafetybrochures/media/spatiald.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

FLIGHT SAFETY FOUNDATION (United States) (org.). **Human Factors and Aviation Medicine: Inadequate Visual References in Flight Pose Threat of Spatial Disorientation**. 1997. Disponível em: <http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/880.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2020.

FLIGHT SAFETY FOUNDATION (United States) (org.). **Managing Visual Somatogravic Illusions**. Disponível em: <http://www.skybrary.aero/bookshelf/content/bookDetails.php?bookId=767>. Acesso em: 30 jul. 2020.

FLIGHT SAFETY FOUNDATION (United States) (org.). **Understanding Spatial Disorientation**. Disponível em:
<http://www.skybrary.aero/bookshelf/content/bookDetails.php?bookId=760>. Acesso em: 30 jul. 2020.

GIBB, R; ERCOLINE, B; SCHARFF, L. **Spatial disorientation: decades of pilot fatalities**. 2011. Aviat Space Environ Med. Disponível em:
docserver.ingentaconnect.com/deliver/connect/asma/00956562/v82n7/s8.pdf?expires=1595966270&id=0000&titleid=8218&checksum=2D5E4E98A558A0F70E5F8085ABB9C8F2.
 Acesso em: 04 ago. 2020.

GIL, ROBLEDO LIMA. **TIPOS DE PESQUISA**. Disponível em:

<https://wp.ufpel.edu.br/ecb/files/2009/09/Tipos-de-Pesquisa.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020.

GILLINGHAM, K.K.; Previc, F.H. **Spatial Orientation in Flight**. In: DeHart, R.L.

Fundamentals of Aerospace Medicine. 2nd. ed. Baltimore: William & Willins, 1996. p. 309-97.

KERN, A T. **Flight Discipline**. 1998. Disponível em:

<http://www.aviationknowledge.wikidot.com/somatogravicillusion>. Acesso em: 29 jul. 2020.

LEANS Ilusion. 2013. Skybrary. Disponível em:

https://skybrary.eu/index.php/File:The_Leans.jpg, 2013. Acesso em: 15 ago. 2020.

LIBYAN CIVIL AVIATION AUTHORITY (Libyan) (org.). **FINAL REPORT**: afriqiyah

airways aircraft airbus a330-202, 5a-ong crash. AFRIQIYAH Airways Aircraft Airbus A330-202, 5A-ONG Crash. 2013. Disponível em: www.skybrary.aero/bookshelf/books/2207.pdf. Acesso em: 03 ago. 2020.

LITTMAN, E. M., LAWSON, B. D., BRILL, J., & RUPERT, A. H. (2015). **Near-Future Technological Countermeasures for Spatial Disorientation in Flight**. 18th International Symposium on Aviation Psychology, 1-6. Disponível em:

https://corescholar.libraries.wright.edu/isap_2015/107. Acesso em: 12 set. 2020.

MARTIN, W. L.; MURRAY, P. S.; BATES, P. R. **The Effects of *Startle* on Pilots During Critical Events: A Case Study Analysis**. 30th EAAP Conference: Aviation Psychology and Applied Human Factors – Working Towards Zero Accidents. Villasimius: Hogrefe. 2012. p. 387-394.

MASSEY UNIVERSITY (org.). **Introduction to Human Factors: Lecture Notes 5 - Hearing and Balance**. 2011. Disponível em:

<http://www.aviationknowledge.wikidot.com/somatogravicillusion>. Acesso em: 29 jul. 2020.

MELCHOR, J. Antuñano. **Medical Facts for Pilots**. 2011. FAA Civil Aerospace Medical Institute. Disponível em:
https://www.faa.gov/pilots/safety/pilotsafetybrochures/media/SpatialD_VisIllus.pdf. Acesso em: 27 ago. 2020.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. (United States) (org.). **Aircraft Accident Report: rapid descent and crash into water atlas air flight 3591**. 2020. Disponível em: <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR2002>. Acesso em: 03 nov. 2020.

NEIL. DC3 Cockpit. 2011. Disponível em:
<https://www.flickr.com/photos/9751542@N04/5993194922/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

NUTTALL, J B; SANFORD, W G. **Spatial disorientation in operational flight**. Disponível em:
docserver.ingentaconnect.com/deliver/connect/asma/00956562/v82n7/s8.pdf?expires=1595966270&id=0000&titleid=8218&checksum=2D5E4E98A558A0F70E5F8085ABB9C8F2. Acesso em: 04 ago. 2020.

PEARSON, Mike. **Somatogravic Illusion**. 2012. Disponível em:
<http://aviationknowledge.wikidot.com/aviation:somatogravic-illusion>. Acesso em: 29 jul. 2020.

RANSBURY, P B J; KOCHAN, J. **Deficiencies in Upset Recovery Training Methodologies**. 2010. Disponível em: <https://bit.ly/2vXzBtt>. Acesso em: 15 set. 2020.

RODRIGUES, A. M. **Desorientação Espacial de Causa Vestibular na Aviação**. 2016. Dissertação (Mestrado em Medicina) – Faculdade de Medicina, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

SCHAPPERT, J. **Illusions in Flight**. 2012. Disponível em: <http://www.m0a.com/illusions-in-flight>. Acesso em: 04 ago. 2020.

SILVA, Jps; PONTES, Tnr. **A influência do treinamento em situações anormais de voo de desorientação espacial**. 2019. Disponível em:

conexaosipaer.cenipa.gov.br/index.php/sipaer/article/viewFile/645/480. Acesso em: 10 set. 2020.

TAIT, B. **Human Performance & Limitations**. 2003. Bob Tait's Aviation Theory School.

Disponível em: <http://www.aviationknowledge.wikidot.com/somatogravicillusion>. Acesso em: 29 jul. 2020.

VILAS-BOAS, Sergio. **O que é voar?** 2011. Disponível em:

https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/o-que-e-voar_155.html. Acesso em: 28 jul. 2020.

WILSON, T. **Aircraft Human Performance & Limitations**. 1995. Disponível em:

<http://www.aviationknowledge.wikidot.com/somatogravicillusion>. Acesso em: 29 jul. 2020.