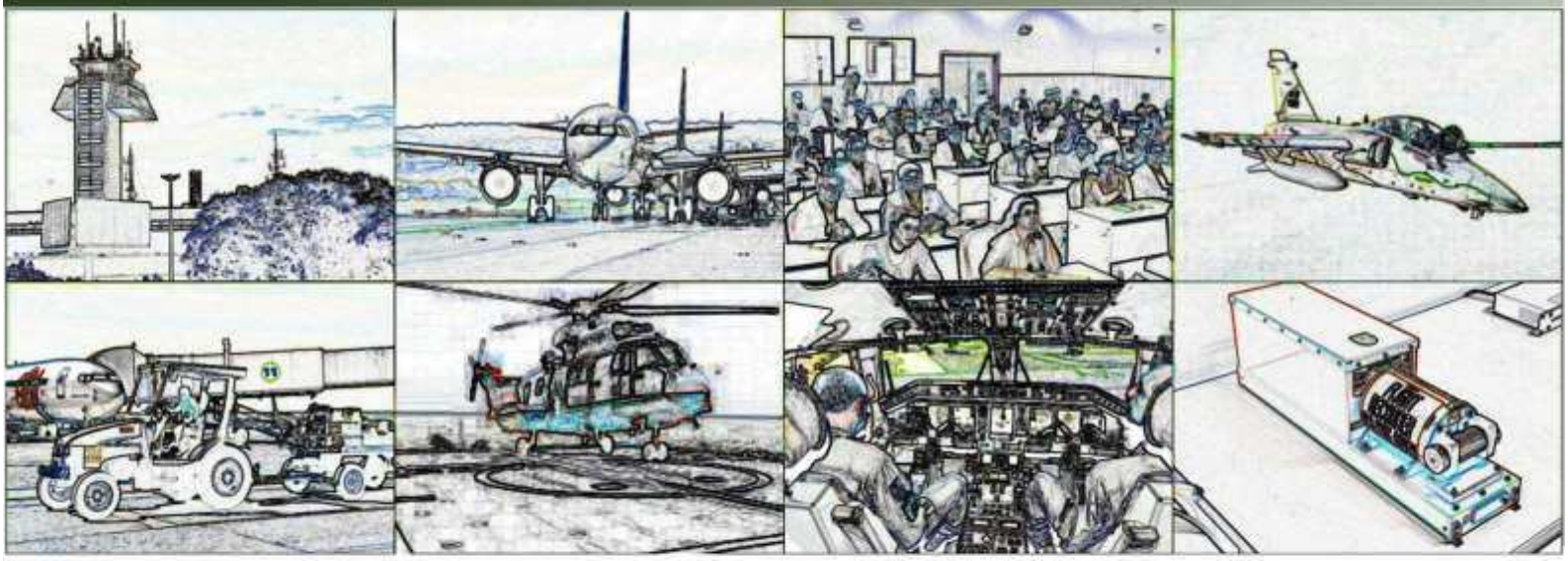
# CONEXÃO SIPAER

Revista Científica de Segurança de Aviação



SIMPÓSIO SEGURANÇA DE VOO

**Revista Conexão Sipaer, Volume 9, Número 2 – Mai/Ago 2018**

**Conexão SIPAER**

A Revista Conexão SIPAER é uma publicação científica periódica, editada eletronicamente pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos com o objetivo de promover a disseminação da informação técnico-científica produzida por pesquisadores e profissionais da área da Ciência Aeronáutica e ciências afins, voltada para a Segurança de Voo, com foco nas atividades de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos.

**Endereço postal**

Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – CENIPA
SHIS – QI 05 – Área Especial 12
VI COMAR – Lago Sul
Brasília – DF
BRASIL
CEP: 71.615-600

**Contato**

Telefone: +55(61)3364-8834
Fax: +55(61)3365-1004
E-mail: conexaosipaer@gmail.com

**WEBPAGE**

http://inseer.ibict.br/sipaer/index.php/sipaer/index

O conteúdo e as opiniões expressas nos textos publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. O periódico terá direitos autorais reservados sobre os trabalhos publicados sendo permitida a reprodução ou transcrição com a devida citação da fonte.

Nenhum conceito emitido dever ser utilizado diretamente na atividade aérea caso contrarie legislação, regulamentação ou manual de voo emitido ou certificado por autoridade competente.

R747

Revista Conexão SIPAER / Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. v. 9, n. 2 (Ago. 2018), Brasília: CENIPA, 2018.

Quadrimestral
Modo de acesso: http://conexaosipaer.cenipa.gov.br/index.php/sipaer
ISSN: 2176-777 (versão on-line)

1. Ciências Aeronáuticas. 2. Segurança de Voo. I. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.

CDU 355.354

# SUMÁRIO

## *Editorial*


Apresentação 1

Adriana de Barros Nogueira de Mattos

SSV 2018: Celebrando o 50º ano do voo inaugural do Bandeirante 2-3

Dr. Nelson Paiva Oliveira Leite


## *Artigos Científicos*


Coffin Corner – Perigo em Altitude 4-20

Luís Fernando Gouveia de Moraes
Márcio Miranda

Ciências Aeronáuticas: Novas Competências e Habilidades 21-32

Wadson Hayner dos Santos Lima
Tammyse Araújo da Silva

Discriminação e Descrição de Eventos Privados no Contexto da Aviação 33-40

Leonardo Murilo Leão
Thaissa Neves Rezende Pontes
Andre de Souza Rocha
Bruna Nery Rosa
João Paulo de Sousa Silva
Kesley da Cruz Oliveira Gracia Assis
Lucas Souza Mendes
Matheus Alves Ribeiro
Nathália Ganassini
Nathália Manso Cintra
Victor Hugo Lazaro Simão

Análise da Compreensão de Pilotos: Uma Ferramenta de Prevenção de Acidentes 41-49

Pedro Nolasco Duarte

Panorama das Pesquisas sobre Inglês Aeronáutico no Brasil - Contribuições para a Segurança de Voo 50-64

Patrícia Tosqui-Lucks
Sílvia Matravolgyi Damião
Matilde Virginia Ricardi Scaramucci

O envolvimento do fabricante nos processos de investigação de acidentes 65-72

Frederico Moreira Machado

A importância do sensor Tubo Pitot nas aeronaves: Um estudo de caso do voo AF 447 da Air France 73-81

Rafael Ávila Moraes

Aerocinetose e seus efeitos na instrução de pilotos privados 82-94

João Paulo de Sousa Silva
Tammyse Araújo da Silva

Análise e Previsão de Índices de Segurança Operacional 95-105

Paulo M. Razaboni

Análise Exploratória de Dados de Acidentes Aeronáuticos no Brasil 106-127

João Paulo de Andrade Dantas
Jelton Alexandre da Cunha
Jamesson Lira Silva
Alessandro Oliveira Arantes
Vitor Conrado Faria Gomes

As iniciativas no mundo sobre programas de análise de dados de voo 128-132

Monica Fiumana Martin Falcon
Cyntia Cristina de Paula
Mailema Celestino dos Santos

Princípios de Universal Design aplicados à Segurança Operacional 133-143

Paulo M. Razaboni

Identificação e Caracterização do Evento "Black Swan" em um Acidente Aeronáutico 144-151

Moacyr Machado Cardoso Júnior

*Notas*

Treinamento Negativo 152-158

Antonio Mendes Neto

# Apresentação

*Adriana de Barros Nogueira de Mattos* [1,2]

1 Editora Gerente da Revista Científica Conexão SIPAER
2 adrianaabnm@fab.mil.br

*Este número da Revista Científica Conexão SIPAER é fruto da parceria entre o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) e o Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV). A parceria teve início na primeira edição do Simpósio de Segurança de Voo em 2008 (SSV-2008), promovido pelo Instituto. Com o passar dos anos, tal aproximação foi se fortalecendo e produzindo frutos: a publicação dos anais do SSV na Revista Conexão SIPAER (RCS).*

*Resultado do trabalho do IPEV, este número da Revista apresenta treze artigos e uma nota de pesquisa, os quais oferecem valorosa contribuição para a Segurança de Voo.*

*Como mais um passo em direção ao fortalecimento das relações entre o CENIPA e o IPEV, apresentamos ao leitor a decisão de que a avaliação dos artigos para o próximo Simpósio de Segurança de Voo (SSV 2019) será realizada dentro da plataforma eletrônica da RCS, o que reforça o amadurecimento da parceria CENIPA/IPEV.*

*Por fim, agradecemos a colaboração do IPEV nesta nobre missão de divulgar trabalhos que possam contribuir para a Segurança de Voo e, consequentemente, salvar vidas e preservar meios materiais.*

*Boa leitura!*

*Adriana Mattos,*
*Editora-Gerente da RCS.*

# SSV 2018: Celebrando o 50º ano do voo inaugural do Bandeirante

*Dr. Nelson Paiva Oliveira Leite* [1,2,3]

1 Chefe da Divisão de Pesquisa e Desenvolvimento do Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV-EPD)
2 Chairman do 11º Simpósio de Segurança de Voo (SSV - 2018)
3 epd@ipev.cta.br

*Em 2018 celebramos o 50º aniversário do primeiro voo experimental da aeronave Bandeirante (YC-95 2130), ocorrido em 22 de outubro de 1968, queoi desenvolvida e montada no Centro Técnico Aeroespacial (CTA) por meio do projeto IPD 6504. Este evento foi um marco histórico que permitiu a criação da principal indústria aeroespacial brasileira, a Embraer, que hoje se tornou um objeto "de cobiça" da maior empresa aeronáutica do Mundo, a Boeing.*

*Um dos principais fatores de sucesso deste voo ocorreu muito antes dessa data e foi decorrente do acidente em um voo experimental do helicóptero protótipo Beija-Flor, ocorrido em 11 de julho de 1966. No relatório deste acidente, foram evidenciados dois fatores contribuintes: a inexistência de pessoal especializado em ensaios em voo (i.e. pilotos de provas experimentais e engenheiros de ensaios em voo) e a falta de uma infraestrutura adequada para aquisição e registro de dados das campanhas de ensaios em voo experimentais. Em função disto, o Instituto de Pesquisas e Desenvolvimento (IPD) promoveu a formação dos então Maj Av José* ***Mariotto*** *Ferreira (Prova 01) e Eng Michel* ***Cury*** *(Curinga 01) em ensaios em voo na "École du Personnel Navigant d'Essais et de Reception" (EPNER) em Istres na França.*

*Com a formação e o treinamento obtidos na EPNER, a tripulação que realizou o primeiro voo experimental da aeronave Bandeirante, Maj Av Mariotto e Eng Cury, já possuíam os conhecimentos teóricos e práticos, necessários à avaliação dos riscos e à preparação, execução e análise de um voo de ensaio inaugural, cujo principal item de atenção é, indiscutivelmente, a segurança de voo.*

*Entre os anos de 1968 e 1985, o IPD continuou a promover a formação de engenheiros e pilotos de prova experimentais nas escolas estrangeiras, incluindo a própria EPNER, a "United States Air Force Test Pilot School" (USAFTPS), nos Estados Unidos da América, e a "Empire Test Pilot School" (ETPS), no Reino Unido*

*Mais tarde, em 15 de setembro de 1986, foi criada na Divisão de Ensaios em Voo (PEV), antiga designação do atual Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV), o Curso de Ensaios em Voo (CEV), cuja primeira turma foi formada em 30 de outubro de 1987. Depois, em 27 de abril de 2004, o CEV foi acreditado pela Sociedade dos Pilotos de Provas Experimentais (Society of Experimental Test Pilots - SETP), tornando-se a 5ª escola de ensaios em voo com reconhecimento internacional.*

*Consequentemente, a cultura organizacional do IPEV possui fortes raízes em segurança de voo, seja para a realização das campanhas de ensaios em voo, seja para produzir resultados exatos e confiáveis, que garantem a aeronavegabilidade continuada dos produtos desenvolvidos e certificados no Brasil.*

*O Simpósio de Segurança de Voo (SSV), que em 2018 teve a sua 11ª edição, visa à disseminação de informações e de soluções inovadoras para melhorar a segurança de voo no Brasil, que sejam baseadas em dados coletados e analisados com rigor científico. O SSV reúne e integra num único ambiente profissionais que atuam em diversas áreas da atividade aeronáutica, que incluem: operadores e mantenedores civis e militares, alunos, pesquisadores, agentes reguladores, representantes da indústria e investigadores de acidentes.*

*Nesta edição, a palestra de abertura foi proferida pelo Eng. Walter Bartels (Curinga 02) que foi formado como engenheiro de ensaios em voo pela EPNER. O Eng. Bartels é um dos poucos tripulantes, que voaram e participaram do ativamente do desenvolvimento e da certificação da aeronave Bandeirante. Entre outras relevantes atividades, ele participou do primeiro voo de produção desta aeronave, que mais tarde tornou-se um produto de sucesso da então recém-criada Embraer.*

*Assim foi uma imensa honra em poder ouvir e escutar a apresentação proferida por tão ilustre e relevante personagem, que trabalha de forma continuada para o fortalecimento e consolidação da Indústria Aeroespacial Brasileira, atualmente como presidente da Associação das Indústrias Aeroespaciais Brasileiras (AIAB). Além disto, foi extremamente gratificante poder prestar uma pequena homenagem para um dos pioneiros da nossa indústria aeronáutica.*

*Nesta edição do SSV foi promovido um ciclo de palestras e debate acerca do assunto "Aeronaves Elétricas", que hoje abrange muitos temas de projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) do setor aeronáutico.*

*Mais uma vez, o SSV contou com a participação de muitos estudantes universitários que vieram de diversas regiões do país, especialmente para ouvir e proferir palestras. Em uma das apresentações, proferida pelo estudante Rafael Ávila Moraes, da Universidade Federal do Pará, foi muito gratificante poder ouvir que ele estava realizando um sonho, que considerava impossível, de poder trabalhar e contribuir com a atividade aeronáutica. Fatos e depoimentos assim, demonstram que este evento científico tem um amplo alcance e que o SSV está atingindo o seu objetivo na educação e na disseminação da cultura de segurança de voo em todos os segmentos. Mais importante ainda é constatar o crescente interesse de jovens que irão levar a segurança de voo no*

*Brasil para um patamar ainda melhor e, num futuro próximo, nos substituir na execução desta infindável tarefa, que é a de proteger a sociedade dos prejuízos advindos de um incidente ou acidente aeronáutico.*

*E assim o SSV chegou à sua 11ª edição. Neste ano, as novidades foram muitas, cujos destaques foram:*

1. *A apresentação da palestra de encerramento, que foi proferida pelo Cel Gusman do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), na qual foi apresentada a nova proposta para o Programa de Segurança Operacional Brasileiro (PSO-BR); e*
2. *A apresentação do Cmte. David Branco, da Embraer, que falou sobre automação na aviação.*

*Nesta edição, foi superado pela terceira vez consecutiva o recorde de inscrições (Figura 1), demonstrando o interesse, cada vez maior da comunidade aeronáutica em participar deste Simpósio.*

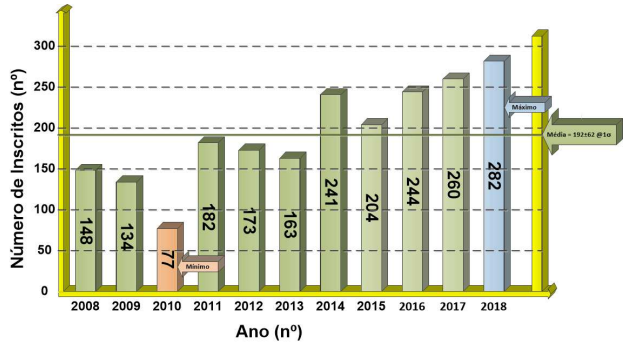



***Figura 1 - Número de inscritos no SSV***

*Na análise de satisfação da programação técnica do SSV, uma palestra é considerada satisfatória se o participante atribui um grau ótimo ou bom nos quesitos contidos no formulário de avaliação, que analisam:*

1. *Se o tema abordado foi atual, relevante e útil;*
2. *Se o apresentador expôs o assunto com clareza, objetividade e sequência lógica; e*
3. *Se o apresentador procurou motivar e despertar o interesse do participante.*

*Nesta edição, o índice de satisfação do público, considerando todos os itens de avaliação, variou entre 76,9% e 100%, com média de 93,2% ± 7,1 @1□. Este valor ficou 3,4% abaixo do melhor resultado obtido desde a criação do SSV, e consequentemente isto cria um novo desafio para a organização do 12º SSV em agosto de 2019.*

*Com isso, o IPEV desde a sua criação em 1957, como seção de ensaios em voo (PAR-V), tem incessantemente contribuído para a melhoria da segurança de voo no Brasil, através:*

a. *Da realização das campanhas de ensaios em voo de desenvolvimento e de certificação de aeronaves e sistemas aeronáuticos;*
b. *Do ensino, por meio do Curso de Ensaios em Voo (CEV), e do Curso de Preparação para Recebimento de Aeronaves (CPRA);*
c. *Da pesquisa aplicada para o desenvolvimento de meios e técnicas inovadoras para ensaios em voo, garantindo assim a melhoria da segurança do voo de ensaio, a exatidão das medidas ou a eficiência das campanhas de ensaios em voo; e*
d. *Da organização e realização do Simpósio de Segurança de Voo (SSV), cujos ensinamentos e conhecimentos serão disseminados por meio destes Anais.*

*O desafio que o IPEV enfrenta para promover um evento desta natureza é muito grande. Os membros da equipe organizadora e os revisores técnicos precisam realizar as suas tarefas normais de trabalho e ainda se dedicar para que este evento ocorra sem nenhuma anomalia. Assim, reconheço a dedicação de todos e atribuo o sucesso deste evento a um imenso trabalho feito por profissionais dedicados e comprometidos. Além disto, o SSV conta com a colaboração de apoiadores sem os quais a realização deste Simpósio tornar-se-ia impossível. Mais uma vez devo destacar o grande apoio da direção do DCTA e do apoio incondicional do CENIPA, que sempre designa um palestrante para o evento e atualmente publica os Anais do SSV.*

*Muitas vezes eu cito que: "Se uma única vida de um tripulante e/ou passageiro for preservada em decorrência dos ensinamentos disseminados pelo SSV, a nossa Missão maior estará cumprida", mais fato ou mito, desde a data da realização da 1ª Edição deste evento, há 11 anos atrás, não ocorreu nenhum acidente de grandes proporções na aviação civil brasileira.*

*É claro que não existe uma relação de causa-efeito deste fato, mais espero que, de alguma forma, que este simpósio tenha sido um dos fatores contribuintes para tal resultado.*

# Coffin Corner – Perigo em Altitude

*Luís Fernando Gouveia de Moraes* [1,3], *Márcio Miranda* [2]

1 *Docteur Aérodynamique* - IPEV
2 Piloto Instrutor e Eng. Aeronáutico – Embraer
3 moraeslfgm@ipev.cta.br

**BIOGRAFIA:** Luís Fernando Gouveia de Moraes atua no DCTA/IPEV desde 2015 é "Docteur en Aérodynamique" na ENSMA/França, Eng. Mecânico e de Armamento pelo IME, Mestre em Eng. Aeronáutica. (Aerodinâmica) pelo ITA, cursou o "Mastère Spécialisé en Aéronautique" na SUP'Aero/França. Realizou estágio no túnel de vento ONERA/GMT/F2 auxiliando em pesquisa sobre asa delta e alto ângulo de ataque. Possui solicitação de patente desde 2007. Atuou como engenheiro/pesquisador no túnel de vento do DCTA/IAE durante 19 anos. É detentor da Medalha do Mérito Santos Dumont (2014) e instrutor no Curso de Ensaios em Voo (CEV) nas disciplinas: Aerodinâmica Subsônica e Supersônica.
Márcio Miranda exerce a função de piloto instrutor na Embraer desde 2006, operando as aeronaves EMB-120, EMB-500/505 e EMB-170/190. Possui graduação em Engenharia Aeronáutica pela Univap e o curso de Piloto de Ensaio em Voo (PEV2) pela Embraer.

**RESUMO:** Este trabalho, relembra o que é a região do envelope de voo conhecida como "Coffin Corner" (canto do caixão) ou "Teto Aerodinâmico". Com este nome é fácil perceber que se trata de uma região extremamente perigosa para o voo. Descrevem-se fenômenos aerodinâmicos e físicos que ocorrem nesta região a fim de explicar causa e efeito. São abordados aspectos pelos quais o voo a alta altitude e em regime transônico é vantajoso para empresas aéreas.

**Palavras Chave:** Aerodinâmica, Onda de choque, "Stall", Transônico.

# Coffin Corner – Hazard at Altitude

**ABSTRACT**: This paper deals with the flight envelope region known as "Coffin Corner" or "Aerodynamic Ceiling". The name makes it easy to remind that such region is extremely dangerous for flights.
The article describes both aerodynamic and physical phenomena which take place in this part of the airspace in order to explain the cause/effect relationship. It also shows why flights at high altitudes and transonic speeds are advantageous for the airline companies.

**Key words:** Aerodynamics. Shock wave. Stall. Transonic.

**Citação:** Moraes, LFG, Sobrinho, FPN. (2018) Coffin Corner – Perigo em Altitude. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 4-20.

## 1 INTRODUÇÃO

O Coffin Corner é a região do envelope de voo na qual a aeronave está limitada por duas fronteiras aerodinâmicas, ambas relacionadas à intensa vibração estrutural decorrente do descolamento do escoamento sobre a asa.

Uma das fronteiras está relacionada à vibração excessiva devido ao estol de baixa velocidade (descolamentos) e a outra devido ao estol de alta velocidade (descolamentos após a onda de choque) que induz vibrações severas (denominadas "buffeting transônico"). Em altitudes acima de 40.000 pés (FL400) estas fronteiras são muito próximas, tornando a pilotagem extremamente perigosa. Vide Figura 1.

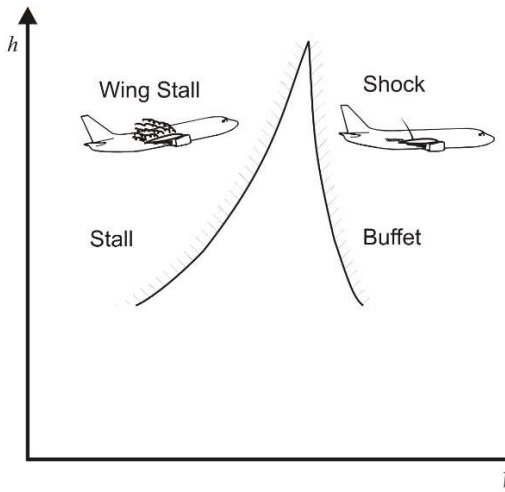



**Figura 1-** Representação Esquemática do "Coffin Corner".

Mas então por que voar tão alto e em regime transônico?

A massa específica do ar é reduzida com a altitude e isto implicará na redução do arrasto. Se o arrasto é menor, há menos necessidade de empuxo para mantê-la nivelada e em velocidade de cruzeiro. Menos empuxo (devido a menor massa específica do ar) acarretará também menor consumo, pois, sendo a combustão estequiométrica, menos ar implica menos quantidade de combustível. A redução do consumo de combustível é considerável!

A sustentação é gerada pela velocidade de voo (compensando a baixa massa específica e que se reduz ainda mais com aumento da altitude) e ângulo de incidência das asas. Menos pesado, mais alto voará a aeronave. Além do que, mais alto menor a probabilidade de eventos meteorológicos danosos à segurança de voo. Tendo sido "justificada" a "grande" altitude, podem-se analisar os efeitos da velocidade/regime de voo.

A fórmula de Bréguet (VOS et FAROKHI, 2015), eq. (1), é uma justificativa para tal. O máximo alcance!

$$R_{max} = \left\{ (M.\frac{L}{D})_{max} \right\}.\frac{a}{SFC}.\ln(\frac{Peso\ inicial}{Peso\ final}) \quad (1)$$

Nela, observa-se que o alcance máximo ($R_{max}$) é função direta do produto do número de Mach (ou simplesmente Mach) pela eficiência aerodinâmica (razão de planeio). Estes são parâmetros aerodinâmicos e caberá compatibilizar altos Mach e relação *L/D*.

O termo *a* refere-se à velocidade do som e SFC ("Specific Fuel Consumption"). O SFC está intimamente relacionado à tecnologia de motorização e diz respeito à relação entre consumo de combustível e empuxo produzido. Já o termo relativo ao peso, à questão estrutural.

Uma aeronave supersônica como o Concorde, p.ex., que voava a 18300m (FL600) e Mach 2,04, superando diversos problemas relativos ao regime transônico e aqueles particulares ao voo supersônico (aquecimento cinético e dilatação térmica dentre outros) (PEYRAT-ARMANDY,1997) demonstrou a dificuldade de compatibilizar o trinômio "eficiência x rentabilidade x meio ambiente". Problemas relativos ao ruído ("BOOM SÔNICO"), motor turbojato (emissão de poluentes e alto consumo de combustível) e baixo número de passageiros conduziram - infelizmente - ao fracasso comercial. Além do projeto inovador e novas tecnologias, o Concorde foi a aeronave comercial com maior "teto".

Então, com as dificuldades intrínsecas a uma aeronave comercial supersônica listadas acima, resta voar o mais rápido possível na região denominada alto subsônico (ou baixo transônico).

Da fórmula de Bréguet, equação 1, o termo $(M.\frac{L}{D})_{max}$ pode ser obtido por:

- Aumento do Mach voando alto (pois a velocidade do som é baixa);
- Baixo arrasto implicando em voar em alta altitude, asa de grande alongamento, enflechada e aerofólio de alto desempenho;

Normalmente o coef. de sustentação de uma aeronave comercial é baixo, pois reduz o arrasto induzido. O valor de $(\frac{L}{D})_{max}$ ou $(\frac{C_L}{C_D})_{max}$ é obtido utilizando-se a polar de arrasto da aeronave. Na Figura 2, os pontos amarelos correspondem à maior "eficiência aerodinâmica". O maior valor ocorre para M=0,86.

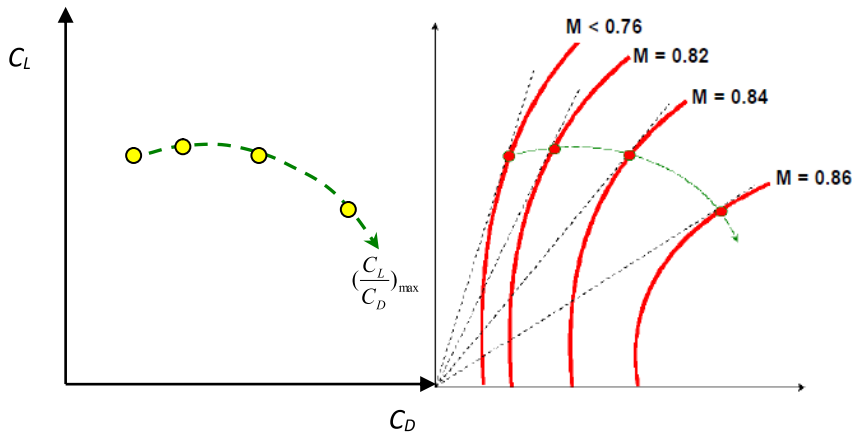



**Figura 2-** Polar de Arrasto.

Assim, justificam-se a questão do regime de voo e altitude.

Durante a segunda guerra mundial eventos como perda de controle em voo, vibrações excessivas, deformações estruturais etc. fizeram parte do pesadelo dos pilotos.

Posteriormente descobriu-se que estes estavam associados à compressibilidade do ar a qual produzia fenômenos até então desconhecidos como a onda de choque.

As aeronaves comerciais atuais voam a Mach superiores a 0,8. Para tal, uma série de artifícios aerodinâmicos são empregados.

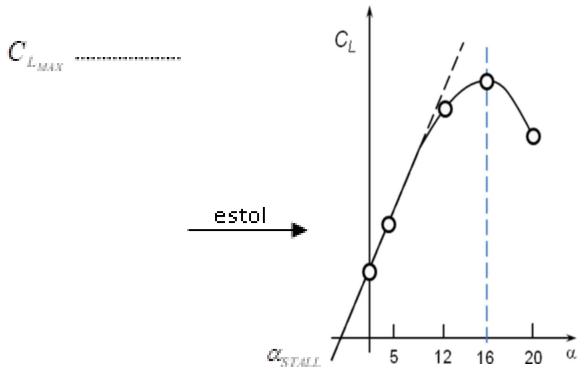
Mesmo assim, a combinação velocidade-altitude pode revelar-se extremamente perigosa como será apresentado neste trabalho.

## 2 VOO A BAIXA VELOCIDADE

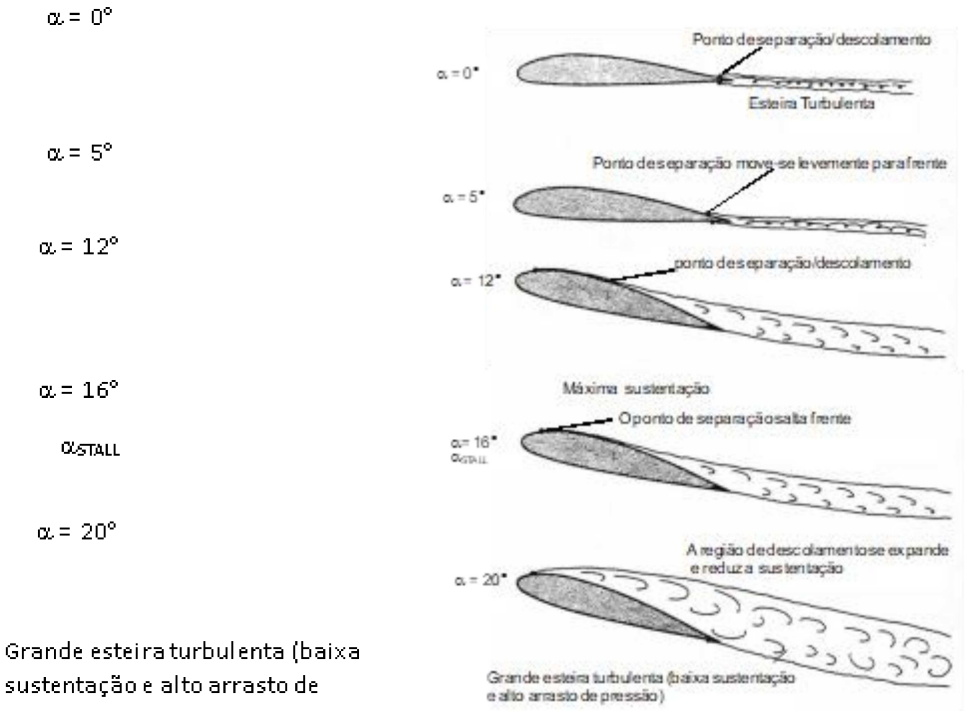
O termo baixa velocidade pode ser controverso, mas fundamentalmente deseja-se negligenciar efeitos de compressibilidade do ar.

Quando em baixa velocidade, a aeronave pode estolar devido, basicamente, a:

- exceder o ângulo de ataque de estol ($\alpha_{STALL}$). O descolamento da camada limite (C.L) - motivado pelo alto ângulo de ataque ($\alpha$) – atingiu tal amplitude que não há mais como gerar sustentação que compense o peso da aeronave. E esta sustentação vem da baixa pressão gerada na região do extradorso próxima ao bordo de ataque. A relação evolução do ângulo de ataque e região descolada pode ser observada na Figura 3.




(a) Curva $C_L$ versus $\alpha$.




(b) Evolução do descolamento da C.L com o aumento do ângulo de ataque ($\alpha$).

**Figura 3 -** Influência do ângulo de ataque na evolução do descolamento de camada limite em um aerofólio.

Fonte: HURT, Jr., 1960.

- velocidade de voo (em voo reto e nivelado na condição de $CL_{max}$) inferior àquela capaz de sustentar a aeronave. Esta velocidade - limite inferior para sustentação da aeronave - é abreviada como $V_{STALL}$ – (HURT, Jr., 1960).

$$V_{STALL} = \sqrt{\frac{2.(nza.W - T.sen\alpha_S)}{\rho . S . C_{L máx}}} \quad (2)$$

Nesta expressão, o $C_{LMAX}$ corresponde à aeronave com dispositivos hipersustentadores baixados ou não. Ele é imutável para uma configuração. Já $n_{za}$ o fator de carga e $T$ o empuxo (tração).

Entretanto no caso das modernas aeronaves de longa distância, o valor de $C_L$ em cruzeiro é baixo (minimizar arrasto induzido) e também a massa específica do ar (ρ), levando a uma velocidade de estol maior, porém factível de ser atingida em condições de voo a alta altitude.

Por facilidade de compreensão será analisado o escoamento em um aerofólio/perfil, pois ele é bidimensional ao contrário de uma asa, onde a presença das pontas torna o escoamento tridimensional.

## 3 COMPRESSIBILIDADE DO AR

O ar é um fluído cuja massa específica (ρ) pode variar, seja estática ou dinamicamente.

Na figura 4, apresenta-se a evolução da relação entre a massa específica do ar (ρ) e a massa específica nas condições de estagnação ($\rho_0$) para um Mach. Ou seja, a massa específica do ar escoando a um determinado Mach em relação à sua massa específica na condição sem escoamento (Mach nulo).

Na figura 4, tem-se que o escoamento de ar considerado "escoamento incompressível" até M=0,3. Acima deste valor observa-se que a massa específica do ar decresce em valores superiores a 5% daquele observado na situação estática (estagnação). Nesta situação o escoamento passa a ser considerado compressível.

Em um aerofólio/asa, o escoamento acelera na sua superfície superior (extradorso) e, de acordo com a velocidade à frente da asa e de sua geometria, poderão ser observadas velocidades supersônicas sobre ela (M > 1). Neste caso, variações significativas de pressão e massa específica ao redor da asa.

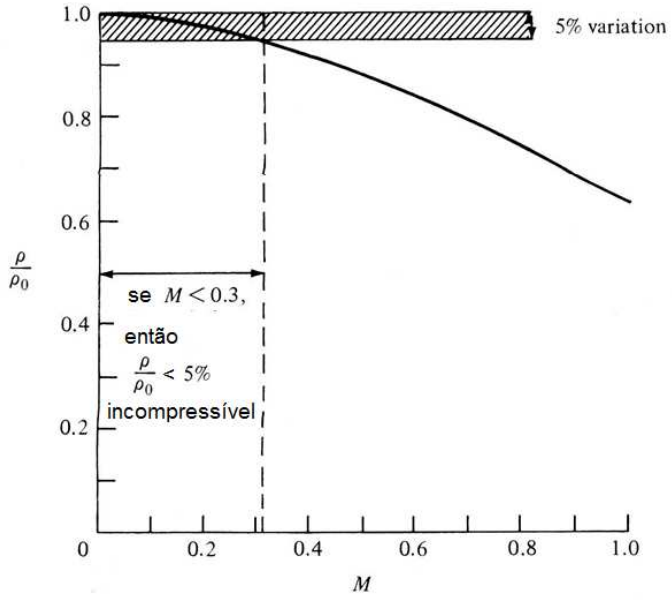



**Figura 4-** Redução da massa específica do ar.
Fonte: Anderson, 1986.

É comum, ao tratar de escoamentos compressíveis, utilizar o conceito do número de Mach (homenagem a Ernst Mach, físico austríaco nascido em 1837) em vez da velocidade. Isto, porque o número de Mach (Mach ou M) representa a proporção/porcentagem entre a velocidade de um corpo em um meio e a velocidade de propagação das ondas de pressão (ondas sonoras) no mesmo meio, sendo possível discernir com maior clareza as regiões nas quais o escoamento é compressível.

O escoamento subsônico é aquele que se desenvolve até a velocidade sônica, correspondente à M = 1. Entretanto, devido à compressibilidade do escoamento com o Mach, esta divide-se em três, a saber: subsônico incompressivel, subsônico compressivel e transônico.

A novidade passa a ser o regime transônico que é aquele no qual coexistem regiões subsônicas e supersônicas (M > 1) espacialmente distintas, porém no mesmo instante de tempo.

Ao contornar o extradorso de um(uma) aerofólio/asa, o escoamento naturalmente aumenta de velocidade e isto se agrava com o aumento da velocidade de voo.

Para uma determinada condição de voo, Mach e ângulo de ataque, surge um ponto no extradorso do aerofólio onde o Mach local (neste ponto) é 1. Nesta situação específica, o Mach de voo é denominado "Mach Crítico" e representado por $M_{cr}$ – (Anderson Jr., 1986).

A Figura 5 apresenta a evolução do Mach do escoamento incidente ($M_\infty$) e do ponto A ($M_A$) ambos sobre sua superfície. Será em A que a velocidade sônica surgirá pela primeira vez sobre o aerofólio.

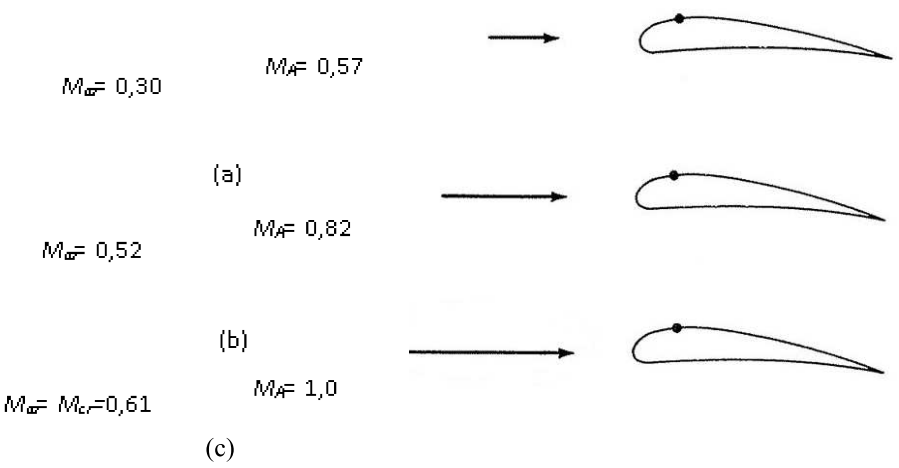



**Figura 5-** Mach Crítico.
Fonte: Anderson, 1986.

Observa-se que, ao atingir $M_\infty$=*0,61*, no ponto *A* tem-se $M_A$=1,0. Então o Mach Crítico do aerofólio será $M_{cr}$ = 0,61. É a partir deste momento que se inicia o regime (escoamento) transônico, pois existe um ponto sônico sobre o aerofólio e subsônico nas outras regiões (Anderson Jr., 1986).

## 4 VOO EM REGIME TRANSÔNICO

Uma vez que o mach crítico foi alcançado e superado, o aerofólio/asa encontra-se no regime transônico. Aumentado ainda mais o Mach de voo, surgirá então uma região (bolha) na qual internamente o mach sera superior a 1 e, na fronteira desta (linha pontilhada), igual a 1, conforme apresentado na Figura 6.

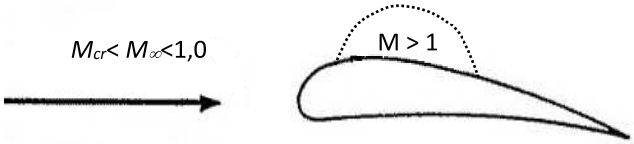



**Figura 6-** Bolha Supersônica no Escoamento Transônico.
Fonte: Anderson, 1986.

Elevando o Mach da aeronave, a bolha aumentará. Como o escoamento em seu interior é supersônico, as ondas sonoras (ondas de pressão) movimentam-se no interior de um cone (cone de Mach) indo para trás (bordo de fuga). Cada ponto na superfície dentro da bolha gera um cone. Entretanto, fora da região supersônica, os pontos no aerofólio/asa geram ondas sonoras circulares/esféricas que se expandem. Fisicamente, as ondas geradas na região subsônica não podem invadir a região supersônica. Começa então a ocorrer a superposição (“empilhamento”) de ondas, que originará a onda de choque (O.C).

Na figura 7, o ponto A (no extradorso do aerofólio) é interior à região supersônica, a qual gera as ondas sonoras (ondas de pressão) mostradas na mesma figura. Os pontos B até D (p.ex) são pontos no extradorso (região subsônica) onde a onda de pressão é circular/esférica.

A onda de choque ao comprimir o escoamento retira energia cinética do mesmo. Este processo de compressão é denominado irreversível, pois parte da energia é transferida ao choque na forma de calor, elevando sua temperatura e a do escoamento logo após o choque. Desta forma, a onda de choque – através da compressão – retorna o escoamento à condição subsônica. Paulatinamente o escoamento vai, após o aerofólio, retomar o mesmo Mach à frente do aerofólio.

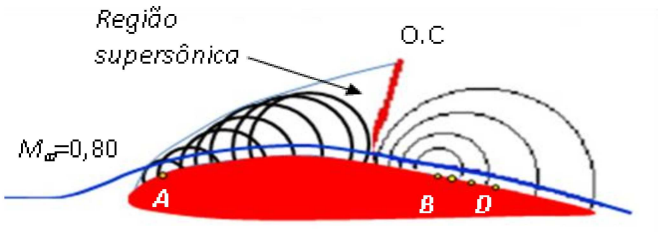


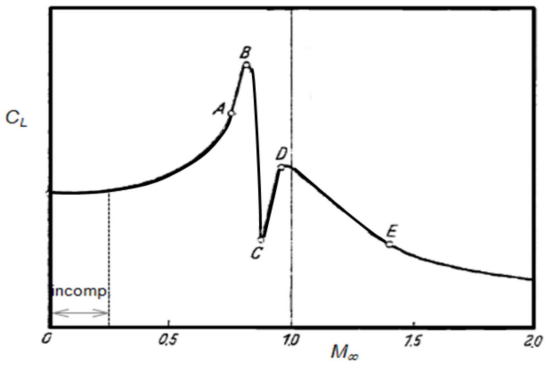

**Figura 7-** Superposição de ondas de pressão gerando a O.C.
Fonte: Whitehead, H., 2009, pág. 33.

A perda energética acarreta diminuição da velocidade e aumento abrupto e intenso da pressão após o choque. Este aumento de pressão induz o descolamento (separação) da camada de ar adjacente à superfície do aerofólio.

Na Figura 8a, analisa-se um aerofólio no qual seu ângulo de ataque é imutável, variando apenas o Mach do escoamento incidente. Nota-se que a ocorrência do choque no extradorso representada pelo ponto Q e consequente descolamento após ela reduz o $C_L$. Tal evento é denominado "Shock Stall", "Estol de Alta Velocidade" ou "Estol de Compressibilidade". Na Figura 8b o mesmo ponto Q apresenta espessamento da camada de ar descolada após o choque no extradorso.

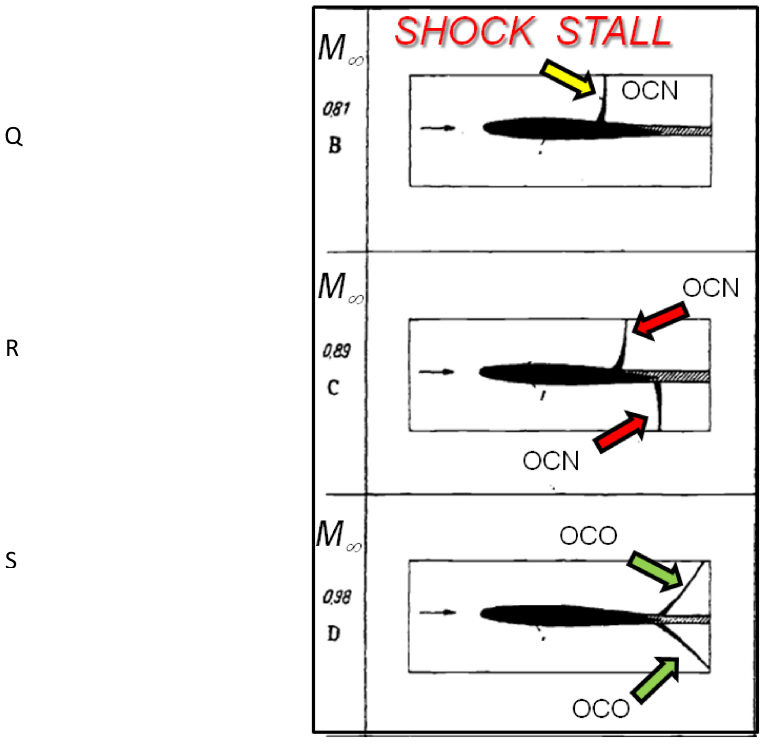
Atente-se que nesta situação, apresentada na figura 8, o aerofólio mantém fixo seu ângulo de ataque ($\alpha$).

Caso o ângulo de ataque ou sua espessura aumentassem, os eventos seriam adiantados, ou seja, ocorreriam em números de Mach menores.




Curva CL versus Mach, evidenciando o "SHOCK STALL".

( a )




Q

R

S

( b )

**Figura 8-** Coef. de arrasto versus M.
Fonte: SCHLICHTING, 1979.

A presença da onda de choque eleva o arrasto (incremento denominado "arrasto de onda") à asa/aerofólio e a separação após o choque induz flutuações de pressão (vibrações) intensas na superfície.

O Mach caracterizado pela presença do choque e elevação no arrasto denomina-se Mach de Divergência de Arrasto ($M_{DD}$) – conforme apresentado na Figura 9.

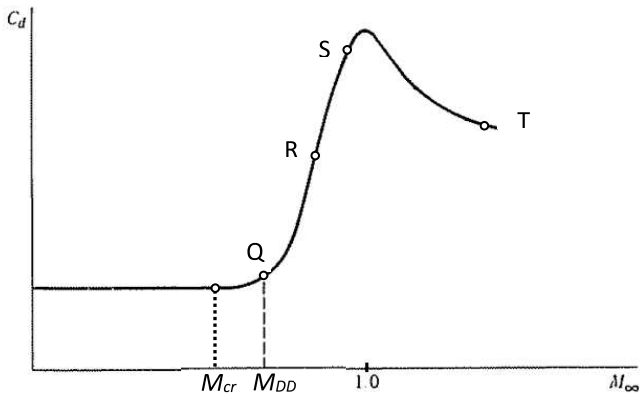



**Figura 9-** Coef. de arrasto versus M.

Aumentando o Mach da aeronave (em direção à M=1) verifica-se que a onda de choque se movimenta um pouco mais em direção ao bordo de fuga e aumenta em intensidade. Situação correspondente àquela entre os pontos Q e R na Figura 9.

A onda de choque, por si só, não gera descolamentos; dependerá de sua intensidade, que é mensurada pela razão entre as pressões totais imediatamente antes e após o choque.

Quanto maior a razão entre as pressões totais, mais forte é o choque e a possibilidade de descolamento do escoamento no extradorso e após o choque. O descolamento deve-se pela grande perda de energia cinética e a interação viscosa do escoamento com o extradorso da asa.

Na Figura 10, observa-se um forte descolamento após o choque. Este produzirá elevação na pressão estática no extradorso (em relação à região supersônica antes do choque), porém ainda inferior as pressões estáticas observadas no intradorso. Fisicamente, isto resulta em redução da sustentação. Vide Figura 8b, ponto Q.

Como o bordo de fuga provê "ligação" entre as regiões subsônicas no extradorso e no intradorso, a baixa pressão do bordo de fuga, em contraste com a pressão mais elevada no intradorso, "suga" o escoamento (na superfície inferior) permitindo que junto com o aumento do Mach de voo, surja uma onda de choque no intradorso. Neste momento passam a coexistir duas ondas de choque, uma em cada superfície do aerofólio. Com o aumento continuado no Mach, o choque no intradorso dirige-se ao bordo de fuga, ultrapassando o do extradorso. Situação representada entre os pontos Q e R nas Figuras 8a, 8b e 9.

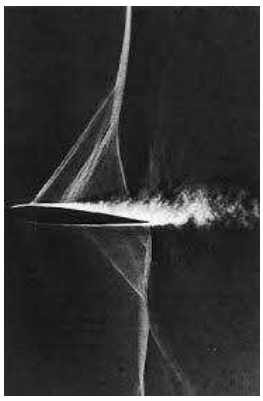


**Figura 10-** Coef. de arrasto versus M.

Tais descolamentos – nesta situação – induzem fortes oscilações de pressão que resultarão em intensas vibrações podendo levar a problemas estruturais severos.

A queda no $C_L$ ("Shock Stall") mostrada na Figura 8 ponto Q, inicia-se com o forte descolamento no extradorso, acentua-se com a movimentação do choque no intradorso e cessa quando os choques atingem ao bordo de fuga.

Quando o choque no intradorso ultrapassa a posição do choque no extradorso, a região supersônica gera no intradorso pressões inferiores àquelas na região correspondente no extradorso, reduzindo o $C_L$

A partir daí, há uma recuperação no $C_L$, pois ocorre a movimentação do choque no extradorso em direção ao bordo de fuga conforme a Figura 8 ponto S.

Já o arrasto começa a diminuir quando as ondas de choque chegam ao bordo de fuga, pois não existirão mais regiões descoladas sobre o aerofólio.

Os aspectos negativos abordados acima incentivaram a realização de pesquisas na área de aerofólios transônicos e que culminaram em um novo aerofólio, denominado "supercrítico", o qual apresentou desempenho superior aos convencionais.

## 5 AEROFÓLIO SUPERCRÍTICO

O aerofólio supercrítico foi idealizado por Richard Whitcomb (1965) com o objetivo de reduzir o arrasto em regime transônico. Este aerofólio, conforme apresentado na Figura 11, possui as seguintes características:

- Extradorso quase plano;
- Bordo de fuga espesso;
- Traseira do aerofólio curvada; e
- Bordo de ataque arredondado.

A onda de choque obtida sobre este perfil é bem mais fraca que a de um perfil convencional. O extradorso quase plano posiciona a onda de choque mais para trás reduzindo sua intensidade e em consequência o descolamento (Bousquet, 1990).

Para uma mesma espessura relativa, o perfil supercrítico – Figura 11 - permite $M_{cr}$ e $M_{DD}$ mais altos que os perfis convencionais.

Para o mesmo Mach de voo, o perfil supercrítico apresenta espessura maior que o convencional correspondente (no sentido de $M_{cr}$ e $M_{DD}$) permitindo armazenar mais combustível em seu interior.

**Figura 11-** Aerofólio Supercrítico

Ou seja, este perfil é economicamente interessante para as companhias aéreas e aeronaves que tem cruzeiro transônico.

## 6 VOO EM ALTITUDE

A altitude máxima operacional de uma aeronave é limitada por três fatores:

- buffet (aerodinâmica);
- empuxo (propulsão); e
- certificada (estrutural).

A altitude de cruzeiro será definida pelo mais restritivo dentre os três.

No voo em cruzeiro a aeronave passa a maior parte do tempo em voo reto e nivelado ($n = 1$), porém ela pode realizar alguma manobra que a leve a suportar algum fator de carga (n) positivo ou negativo. Assim,

$$p_s(Z_p) = \frac{2}{C_{L\max}.M^2.\gamma.S}.(n.W) \qquad (3)$$

Ou, na forma mais usual

$$C_{L\max}.M^2 = \frac{n.W}{p_s(Z_p)}.\frac{2}{\gamma.S} \qquad (4)$$

Observa-se facilmente nas expressões acima que, mantendo o Mach de voo e a configuração ($C_L$) quanto menor o peso da aeronave ($W$) menor será a pressão estática ($p_S$) - correspondendo a uma altitude de pressão ($Zp$) maior. Ou seja, durante o voo com o consumo de combustível a aeronave tende a subir – o que se revelará perigoso.

Os "buffets" são vibrações normalmente encontradas em alta e baixa velocidades (AIRBUS 2015), (AIRBUS, 2016). Ambos se referem ao descolamento de camada limite. O de alta velocidade é o descolamento induzido pela onda de choque. O de baixa velocidade é o descolamento devido ao aumento do ângulo de ataque para compensar a baixa velocidade. Em ambos casos resultam no estol.

O início do buffet em baixa velocidade é marcado por uma vibração bem definida, de intensidade ± 0,1g, e que limita o $C_{LMAX}$.

No caso específico do voo em regime transônico, a extensão/magnitude do descolamento - após a onda de choque - dependerá da intensidade do choque, sendo fator restritivo a uma aeronave comercial.

O descolamento produz flutuações de pressão fortes e aleatórias que resultarão na vibração da asa. Esta vibração é a resposta dinâmica da estrutura à excitação induzida pela pressão aleatória (errática) na região descolada e traduzida por acelerações verticais (fatores de carga) locais.

Assim, quanto mais intenso o choque, maior será o "buffeting transônico" daí a importância do emprego de asas capazes de reduzir a intensidade do choque.

Modificando a expressão 4, com n=1 (nivelado, L=W), W, γ e S constantes, tem-se o $C_L$ inversamente dependente da pressão estática na altitude de voo e do Mach.

Observe na eq. (4) que ao aumentar a altitude ($Z_p$) - mesmo mantendo $M < 1$ constante - o $C_L$ aumentará. Quando o $C_L$ aumenta, o $M_{cr}$ e $M_{DD}$ são antecipados. Ou seja, mesmo para o mach de voo constante, o "Shock Stall" e o buffeting podem

ocorrer antes do esperado. Nesta situação a restrição na intensidade do buffeting limitará o $C_{LMAX}$ da aeronave. (AIRBUS, 1985), (AIR FRANCE , 1997).

A maior altitude sem ocorrência de buffet é denominada "Teto Aerodinâmico".

Na figura 12 a seguir, apresenta-se o exemplo da fronteira de início de "Buffet" para um aerofólio. Note que a fronteira está relacionada ao $C_{Lmax}$ . Na figura, o aerofólio apresenta um valor de $C_L$ e Mach de projeto ("design") e respectivas faixas de segurança ($\Delta C_L$ e $\Delta M$), as quais são definidas por normas aeronáuticas.

As normas são adotadas, pois o $C_{Lmax}$ pode ser atingido para um $C_L$ usual de voo se ocorrer uma rajada vertical. E não apenas isto, com esta rajada vertical, valores de Mcr e outros são reduzidos.

A Figura 12 apresenta esquematicamente o "Buffet Boundary" em relação ao Mach. Evidenciam-se as regiões descoladas e o choque.

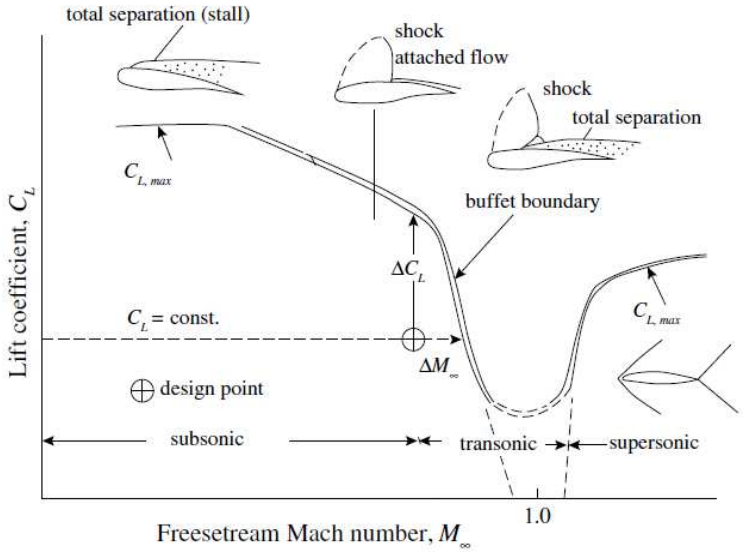



**Figura 12-** Curva representativa da fronteira de início do buffet em função do Mach.
**Fonte:** Vos & Farokhi, 2015.

**No tocante ao empuxo gerado pela motorização**, além da altitude, o alcance deve ser abordado. Os fabricantes de aeronaves adotam uma expressão modificada daquela de Bréguet, Eq. 1. Ela é denominada Alcance Específico (SR – "Specific Range") e considera a distância percorrida por massa de combustível utilizada a máxima distância percorrida para uma dada quantidade de combustível a ser utilizada. Assim,

$$SR = M.\left(\frac{L}{D}\right).\frac{a_0}{SFC}.\sqrt{\frac{T}{T_0}}.\frac{1}{W_f} \qquad (5)$$

O índice 0 denota ao nível do mar e $W_f$ o peso do combustível utilizado. Sua unidade será milhas náuticas por hora (NM/h).

Da Figura 13 nota-se que existe um número de Mach denominado "Mach Maximum Range – $M_{MR}$" para o qual o Alcance específico (SR) será máximo.

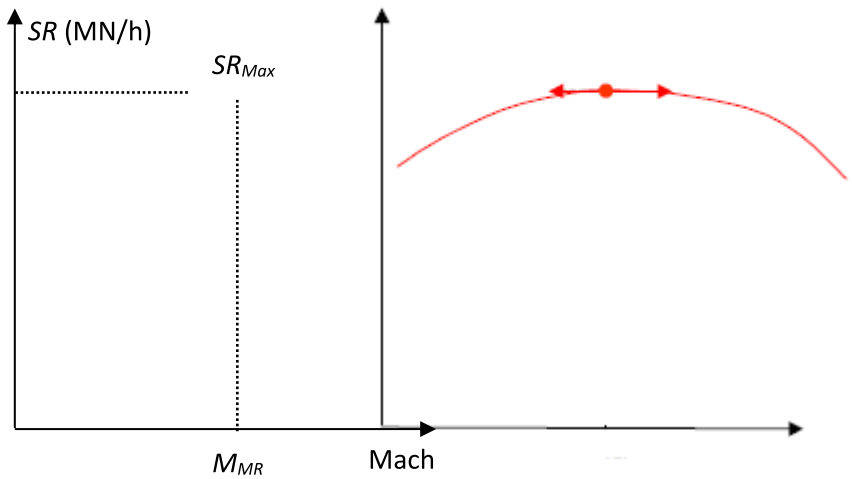



**Figura 13-** Curva de alcance específico em função do Mach de voo. Para peso e altitude fixos.
**Fonte:** AIRBUS, 2002.

Ou seja, há um Mach ($M_{MR}$) para o qual o alcance específico ($SR$) será máximo por kg de combustível utilizado.

Se a altitude de pressão (Zp) for constante, Figura 14, como o peso diminui (gasto de combustível) ao longo do trajeto, o $M_{Mr}$ diminuirá. Em geral, quando em cruzeiro, o Mach é mantido constante e igual ao $M_{MR}$ na altitude de voo considerada.

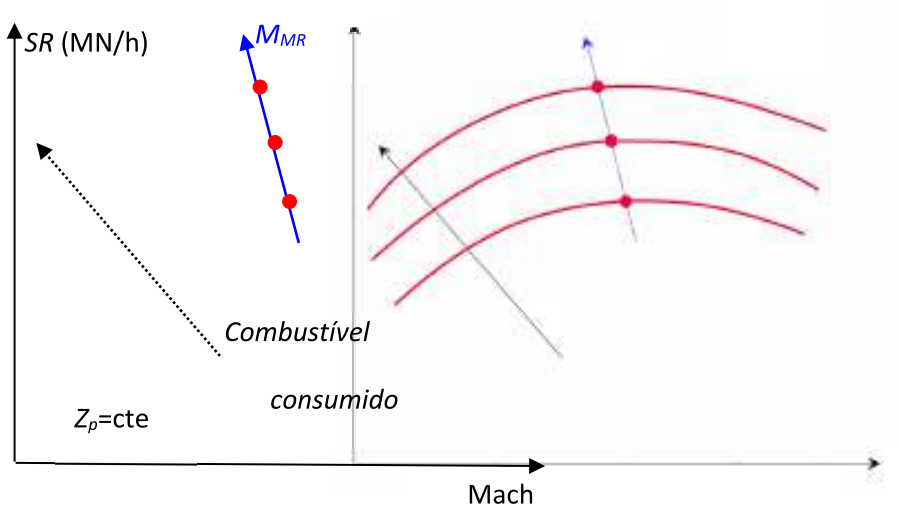



**Figura 14-** Curvas de alcance específico em função da variação de peso e do Mach de voo. Para altitude constante; as setas indicam aumento de $M_{MR}$ e do combustível consumido.
**Fonte:** AIRBUS, 2002.

No tocante ao peso constante, a Figura 15 permite observar que o aumento da altitude de pressão (Zp) aumenta o $M_{MR}$. Além disso, para cada altitude o alcance específico aumenta e terá um $M_{MR}$ próprio.

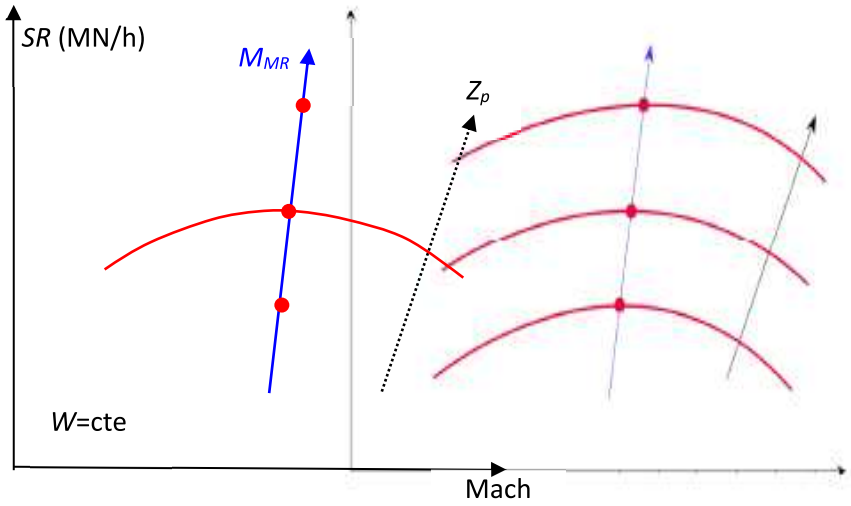



**Figura 15-** Curvas de alcance específico em função do Mach de voo. Para peso constante; as setas indicam aumento de $M_{MR}$ e da altitude de pressão (Zp).
**Fonte:** AIRBUS, 2002.

Com base em duas variáveis importantes: altitude e peso, pode-se determinar a altitude ótima para cada Mach. Esta curva – Figura 16 - é o lugar geométrico dos pontos de SR máximo (para um dado Mach e variando W). Ou seja, o Mach é na realidade o $M_{MR}$, para $W$ e $Zp$ constante, resultando em $SR_{MAX}$.

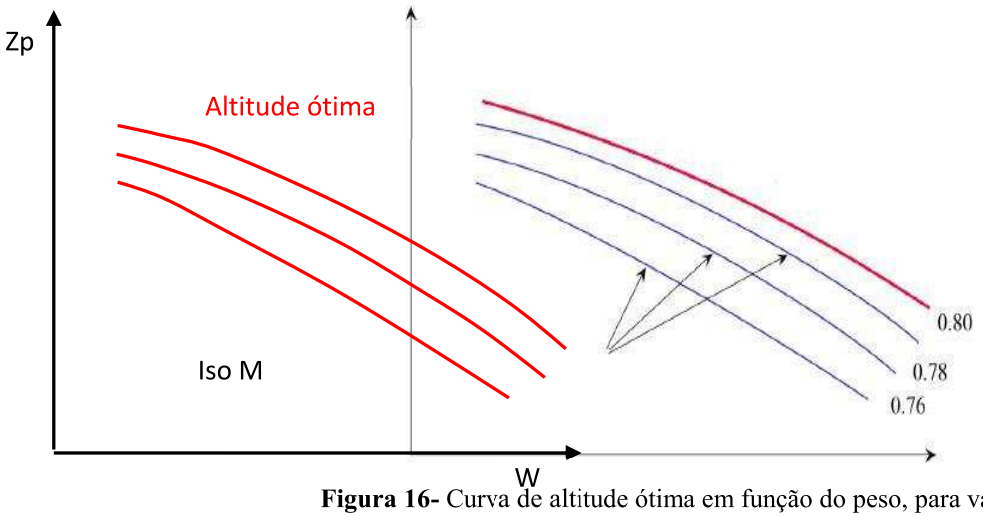



**Figura 16-** Curva de altitude ótima em função do peso, para vários Mach.

**Fonte:** AIRBUS, 2002.

A *Potência Requerida* (***P**req*) considera o arrasto parasita (atrito + pressão + interferência) e – adicionalmente - o arrasto de onda, pois o voo é em regime transônico.

A potência disponível (***P**disp*) está diretamente relacionada ao empuxo (T) e velocidade (V) da aeronave.

$$P_a = T.\ V \qquad (6)$$

Em altitude, empuxo e velocidade podem ser aproximados em relação ao nível do mar (NM) por:

$$T_{altitude} = T_{NM}\left[\frac{\rho_{altitude}}{\rho_{NM}}\right] \qquad (7)$$

$$V_{altitude} = V_{NM}\sqrt{\frac{\rho_{NM}}{\rho_{altitude}}} \qquad (8)$$

A potência disponível e potência requerida são reduzidas em altitude devido à redução na massa específica do ar.

O "Excesso de Potência" - representado pela distância vertical (para um dado Mach de voo) entre a curva de potência disponível e potência requerida – permite à aeronave realizar manobras, se necessário, na altitude de voo. Observa-se da Figura 17 que o excesso de potência diminui com a altitude, podendo até chegar à situação que o excesso de potência seja nulo ("teto de propulsão").

Ou seja, em vista da diminuição da massa específica do ar, ambas as potências são reduzidas, ocasionando o mesmo comportamento em relação ao excesso de potência.

Isto implica em uma altitude – denominada "Teto Absoluto" na qual o excesso de potência é nulo. Nela, a aeronave encontra-se em perigosa situação de não dispor de potência para manobras (curvas e subida).

Quanto às velocidades (Mach) máxima e mínima na Figura 17, elas podem ser limitadas pela ocorrência dos buffets de alta e baixa, respectivamente.

Outro detalhe, também na Figura 17, é o ponto de mínimo na curva de $P_{req}$. Este corresponde à "eficiência aerodinâmica" máxima.

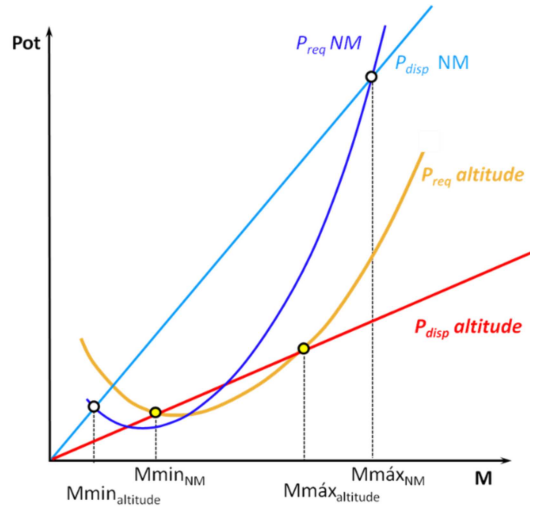



**Figura 17-** Potências versus Mach e altitude. $W$ = cte.

**Fonte:** o autor.

**A questão estrutural** diz respeito aos esforços relativos tanto à pressão dinâmica exercida pelo escoamento sobre componentes da aeronave (asas e empenagens) como estáticos (pressurização da fuselagem). Isto porque maior a altitude e velocidade, mais crítico o diferencial de pressões interno e externo na fuselagem. Neste item também se inclui a resistência a esforços cíclicos.

## 7 SUBIDA PARA ALTITUDE DE CRUZEIRO

Após a decolagem a aeronave inicia as etapas de subida a fim de atingir a altitude de cruzeiro.

Segundo Saintive N.S - Performance de aviões a jato - Peso e Balanceamento.

A subida de um avião pode ser realizada segundo aspectos importantes como:

1) melhor razão de subida (menor tempo para atingir a altitude de cruzeiro);

2) menor consumo de combustível; e

3) menor custo operacional (desgaste estrutural e dos motores);

A subida até a altitude de cruzeiro pode compor-se de um conjunto de etapas (degraus) nos quais a aeronave sobe em velocidade (CAS) constante e acelera antes de outra etapa de subida.

Ao realizar a subida com CAS constante, aspectos aerodinâmicos como estol permaneçam os mesmos que ao nivel do mar.

Porém, há uma altitude (denominada « CROSSOVER ») onde o piloto passará a voar segundo o Mach, negligenciando o CAS ou TAS. Isto, pois será mais « físico » para ter atenção quanto aos efeitos de compressibilidade e limite de Mach impostos pelo fabricante.

## 8 ALTITUDE DE "CROSSOVER"

O planejamento de um voo requer explicitar as fases (degraus) que levarão a aeronave à sua altitude de cruzeiro. Por exemplo, uma aeronave sobe a FL100 a 250 knots, em seguida acelera a 300 knots e sobe a FL400. Lembrando que FL400 significa nível de voo ("Flight Level") de 40.000 pés.

Ao nível do mar, as velocidades calibrada (CAS), indicada (IAS), equivalente (EAS) e verdadeira (TAS) são muito próximas. Assim, durante uma parte desta subida, a velocidade a ser considerada pode ser CAS ou a IAS. Porém, a partir de um certo nível de voo, a velocidade TAS torna-se bem maior que a CAS ou IAS (que continuam próximas). Além do mais, pelo fato da temperatura reduzir com a altitude, o Mach (função da TAS) passa ser mais relevante (e preocupante) que a CAS (ou IAS).

Até uma certa altitude, a velocidade verdadeira e o mach são baixos e não criam problemas relativos à ocorrência de ondas de choque ou cargas excessivas sobre a aeronave. Portanto, sob o ponto de vista do piloto, a velocidade IAS ou CAS lhe parece "mais física", pois está relacionada à pressão dinâmica responsável pela sustentação da aeronave e considera a massa específica do ar ao nível do mar ($\rho_{NM}$).

Se a pressão dinâmica permanecer constante durante as fases iniciais de subida para o voo em cruzeiro a CAS permanece imutável já que é função direta da pressão dinâmica e $\rho_{NM}$ é constante. Com isto, fisicamente o estol da aeronave não muda, independente da altitude e/ou temperatura. Entretanto, como dito anteriormente, a TAS e o Mach aumentam. Veja a Figura 18. O eixo horizontal fornece a velocidade, o fato de ser CAS ou TAS vai depender da curva escolhida.

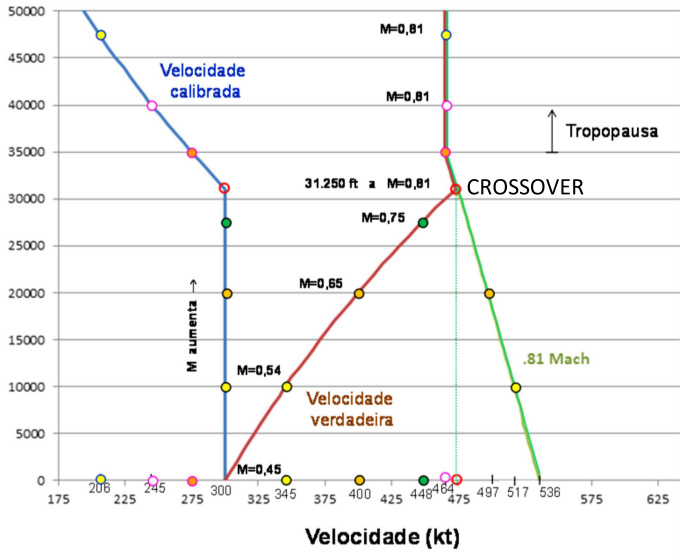



**Figura 18-** Relação entre velocidades e Mach. Altitudes de CROSSOVER e Tropopausa.
**Fonte:** o Autor.

O aumento do Mach acima de 0,8 dá o alerta para efeitos de buffeting e "Shock Stall" que poderão surgir, caso continue aumentando. Assim (no caso considerado) a aeronave persegue o voo a um Mach seguro. Na Figura 99 observa-se o aumento do mach até que atinge o valor constante de 0,81 e daí não passará, evitando os efeito perigosos da compressibilidade do ar sobre a estrutura da aeronave.

É uma situação verdadeiramente perigosa, pois enquanto a aeronave ganha altitude à CAS constante, a temperatura diminui e traz rapidamente o Mach crítico, a aparição da onda de choque, o MMO e mach de divergência de arrasto ($M_{DD}$) e... o perigoso buffet transônico. O MMO será apresentado posteriormente.

Por isso, faz-se necessário reduzir o Mach de cruzeiro e controlá-lo.

No caso das Figura 18 e 19, nota-se que ao atingir M=0,81 a velocidade não será mais a CAS, pois ela passa a diminuir. Agora, o **mandatório** será o **Mach**!

A TAS permanece fixa quando a aeronave encontra-se na tropopausa (T = cte) e o Mach em 0,81.

A altitude que isto ocorre denomina-se "CROSSOVER ALTITUDE". Esta altitude é determinada pela interseção da curva isoCAS (ou isoIAS) com a isoMach - (AIRBUS, 2016).

Na Figura 100, mais simplificada, observa-se que em uma subida com CAS constante de 300 knots, o nível de voo (FL) vai aumentando, mas também a TAS e o Mach. Ao atingir o Mach (0,78), a aeronave continua a subir para alcançar sua altitude de cruzeiro. Porém, a fim de conservar o Mach a aeronave terá que reduzir sua TAS, pois a velocidade do som diminui. O CAS deixa de ser utilizado, pois – em função da redução da pressão dinâmica e atmosférica - ela passa a diminuir.

Enfim... resta o Mach !

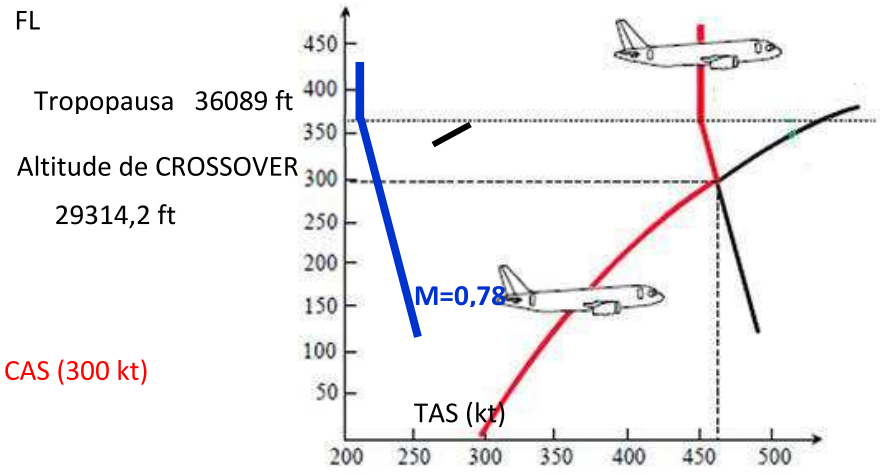



**Figura 19-** Evolução da velocidade (TAS) para um perfil de subida 300 KCAS e M=0,78. Altitude de CROSSOVER.
**Fonte:** AIRBUS, 2002; IATA, 2013.

A partir da altitude ("CROSSOVER") na qual o mach de referência é atingido a subida passa a ser com Mach constante e que tem como consequência diminuir a velocidade convencional.

Na Figura 20 é apresentado o **PFD ("Primary Flight Display")**. Nela – à direita – o altímetro com a marcação STD ("Standard ISA") e à esquerda o "Speed Strip" e o Mach.

O "Speed Tape" apresenta marcações listradas em vermelho e preto que surgem apenas em determinadas condições de voo.

A listra superior delimita a região de buffeting de alta velocidade (descolamentos devidos à onda de choque) e a inferior buffeting de baixa velocidade (descolamentos devidos à velocidade de estol). Estar nela significa voar acima do MMO.

Devido à familiaridade do piloto com a velocidade convencional (ou calibrada) e pelo fato dela ser empregada "confiavelmente" abaixo da CROSSOVER, a "Speed Tape" (STape) apresenta indicações em termos de velocidade convencional. Cálculos são realizados pelo ADC ("Air Data Computer") considerando as equações de "Saint Venant" e delimitando as regiões perigosas com listras pretas e vermelhas.

Nesta mesma figura, no STape, observam-se dois semicolchetes (verticais) amarelos. Eles servem de alerta ao piloto da aproximação das regiões limítrofes do envelope de voo operacional. Quando na região de baixa velocidade, além do semicolchete há um alarme aural com as palavras "Low Speed" e a STape muda de cor.

**Figura 20-** Potências versus Mach e altitude. $W$ = cte.

## 9 COFFIN CORNER

Existem duas limitações relativas à velocidade de voo em condição nivelada (n=1). Permanecendo entre estas velocidades (as quais variam com a altitude e peso) o voo é seguro. Porém, extrapolá-las pode levar a graves consequências.

Como descrito em parágrafos precedentes, manter a aeronave nivelada à baixa velocidade implicará na elevação do ângulo de ataque, podendo induzir o estol. Ao aumentar a velocidade (TAS), não há necessidade de aumento no ângulo de ataque, mas o Mach se eleva rapidamente (já que a velocidade de propagação do som é baixa em altitudes elevadas) fortalecendo o choque normal e induzindo descolamentos graves no extradorso da asa. O Mach nesta situação denomina-se MMO ("Maximum Operating Mach number) ou Mach Máximo Operacional.

O MMO é o máximo Mach no qual a aeronave pode voar sem que ocorram danos estruturais (permanentes) provenientes de cargas aerodinâmicas (estáticas e dinâmicas). Após o MMO, também podem ocorrer descolamentos de camada limite ocasionando buffeting transônico e perda de eficiência dos ailerons e empenagem horizontal.

Ele (MMO) é utilizado a fim de manter o Mach baixo evitando que a onda de choque sobre a asa torne-se forte o suficiente para causar descolamentos intensos, reduzindo a sustentação e lançando a aeronave em estol de alta velocidade ("SHOCK STALL").

O MMO é considerado em altitudes acima da "CROSSOVER ALTITUDE".

A baixa altitude, o Mach ainda não é tão relevante e, por isso mesmo, os efeitos danosos não são provenientes de efeitos de compressibilidade, mas sim das cargas estruturais resultantes da pressão dinâmica (aumento da "velocidade"), "flutter" e fator de carga. Assim, para aeronaves de grande porte, a baixa altitude, denomina-se esta velocidade de VMO ("Maximum Operating Velocity") Velocidade Máxima de Operação.

Ambas – VMO e MMO – são definidas pelo fabricante e levam em conta uma margem de segurança (30%) (delimitada pelo semicolchete amarelo na Figura...) para que não sejam ultrapassadas de maneira inadvertida em qualquer fase do voo evitando comprometer a integridade da aeronave.

Existe então um limite superior de velocidade e Mach. Mas sabe-se também que a aeronave só se mantém em voo se sua velocidade for superior à velocidade de estol. Ou seja, existe um limite inferior para a velocidade. A região onde ocorre a interseção destas limitações em termos de VMO/MMO e $V_{STALL}$ é denominada "Coffin Corner".

O vértice do "Coffin Corner" é o teto absoluto, ou seja, é binômio atitude/Mach no qual a aeronave não consegue mais subir nem alterar sua velocidade.

O perfil de subida, em muitos casos, é uma sucessão de degraus nos quais a aeronave sobe à velocidade (CAS) constante, acelera e assim, sucessivamente até atingir a altitude de cruzeiro. Entretanto, ao superar a altitude de "CROSSOVER" o Mach (proveniente da TAS) será o "velocímetro" do voo.

Como a temperatura e a massa específica do ar diminuem, o Mach e a velocidade de estol aumentam inserindo a aeronave perigosamente entre os limites de estol e buffeting transônico que se aproximam mais e mais, à medida que a aeronave sobe. Vide Figura 21.

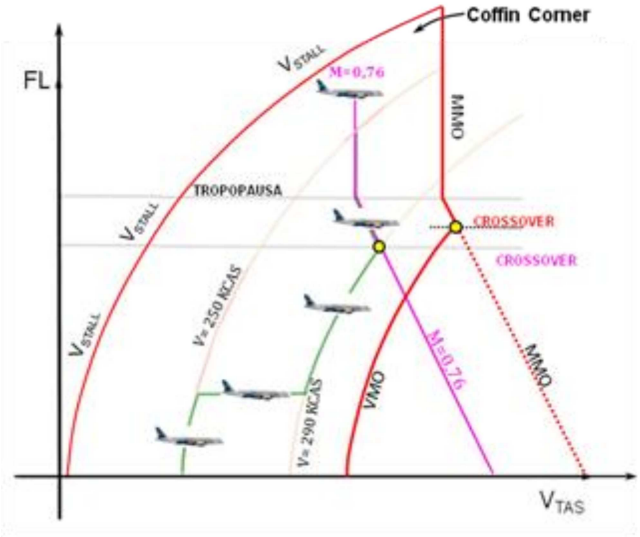



**Figura 21-** Perfil – simplificado - de subida, velocidades características e o Coffin Corner. Peso constante e n=1.
**Fonte:** o Autor

Relativamente ao "Buffet" transônico já tratado anteriormente, observa-se na Figura 22 a relação entre a capacidade de manobra da aeronave e o "Coffin Corner" (CCor).

Para a mesma massa de 105.000 lb, p.ex.:

- quanto maior o fator de carga, menor a altitude que encontrará o CCor; e
- quanto menor o fator de carga, maior será a altitude na qual o CCor está presente.

Note-se que o Mach é pouco afetado. A 41.000 ft, observa-se que a aeronave pode voar a $0,70 \leq M \leq 0,82$ sem problema. Porém, este será o "teto absoluto" se o peso for 116.000 lb e voo nivelado a $M \approx 0,78$!

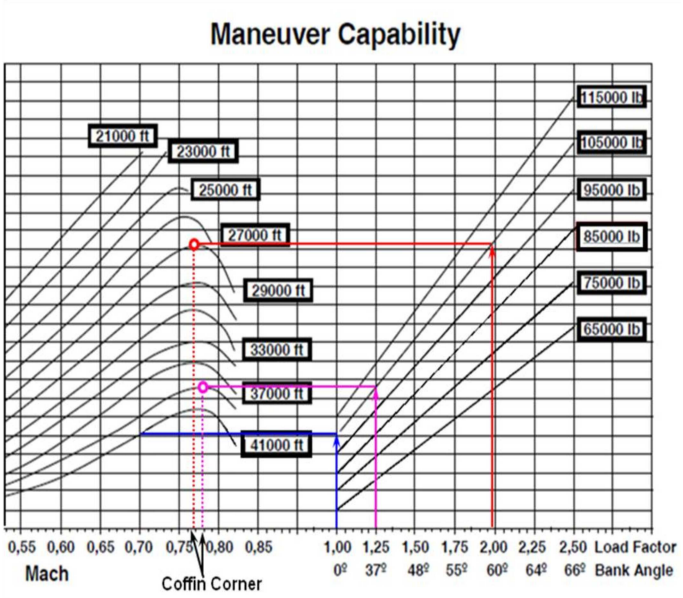



**Figura 22-** Capacidade de Manobra, Coffin Corner e Fator de Carga.
**Fonte:** AIR FRANCE, 2014.

O evento do "Coffin Corner" é culpabilizado por alguns acidentes aéreos, dentre os quais:

- "West Caribean MD-82. Venezuela 2005 – high altitude stall («coffin corner») – climbed rapidly from 31,000 ft to 33,000 ft to avoid TS – altitude could not be sustained – on autopilot which gradually lifted the nose to hold altitude until AP disengaged and A/C entered a stall.";

-" Air France A330. South Atlantic 2009 - high altitude stall after loss of IAS (coffin corner) – A/C held with aft stick in a controllable deep stall with engine climb power until it crashed in the sea.".

E, claro, a falta de treinamento adequado da equipe de pilotagem para enfrentar evento singular e altamente perigoso. A melhor saída quanto a estar "emparedado" no Coffin Corner seria reduzir a altitude à velocidade constante (contrabalançar empuxo com arrasto ("spoiler")).

Algumas vezes o fator de carga entra em cena, curva ou subida, e, em outros, apenas a subida – ambas para transpor uma tormenta na rota da aeronave.

O voo próximo ao Coffin Corner não é economicamente vantajoso para as aeronaves comerciais. A tração exigida dos motores para manter a aeronave nessa região crítica eleva demasiadamente o consumo de combustível.

Entretanto, em situações onde haja restrições para manter o nível ótimo de cruzeiro - devido a tráfego aéreo, formações meteorológicas ou turbulência - o piloto tende a optar por níveis de cruzeiro mais altos. Essa decisão precisa ser criteriosa, pois eventuais desvios de formações meteorológicas aumentarão o fator de carga "g" em curva, ocasionando "buffeting" (decorrente de descolamento da camada limite). Caso a decisão seja sobrevoar uma célula de trovoada **("Cumulus Nimbus" CB)**, deve-se levar em conta o possível encontro de correntes ascendentes, mesmo acima das nuvens, o que também aumentará instantaneamente o fator de carga (***n***), além é claro, da capacidade da aeronave em ascender à níveis superiores com a tração disponível dos motores.

O fenômeno conhecido como Turbulência de Céu Claro também deve ser levado em conta. É um tipo perigoso de turbulência não associada a nuvens de tempestade e, portanto, não detectável pelo radar meteorológico das aeronaves. A turbulência de céu claro é comumente associada às correntes de jato ou *Jet Streams* (fortes correntes de ar que circulam nos níveis superiores da atmosfera, podendo atingir até 200 Km/h). Além de produzir forte turbulência, a Corrente de Jato pode promover a "quebra da Tropopausa" (Fig. 23), fazendo a aeronave transicionar para uma região de temperaturas muito distintas no mesmo nível de voo. Caso a aeronave transicione para uma região de temperaturas mais quentes (desvio ISA positivos) a perda de "performance" devido à redução da massa específica do ar pode ocasionar o estol, caso a aeronave se encontre próximo ao teto absoluto. Isto pode ser observado na Figura 23.

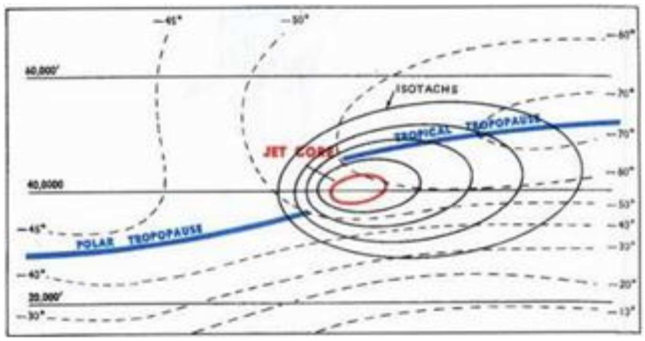



**Figura 23-** (Isótacas são linhas que unem pontos de mesma velocidade do vento).

## 10 CONCLUSÃO

O voo em cruzeiro a altas altitudes pode impor, simultaneamente, uma restrição controversa: não voar muito rápido nem muito devagar.

O Coffin Corner pode afetar grandes aeronaves comerciais em altas altitudes em voo transônico e conduzir a graves consequências como sua queda e perda da vida de seus ocupantes.

Apesar da engenharia muito ter evoluído na compreensão dos fenômenos (onda de choque, estol, "buffeting transônico", "flutter" etc.), bem como na atenuação destes (perfis supercríticos e otimizações estruturais) e nos alertas visuais e aurais o risco está muito presente e evitá-lo passa pelo treinamento da tripulação.

Em alguns casos, problemas distintos (congelamento dos tubos de Pitot no AF447) ocorrem dificultando a interpretação dos fatos e ações corretivas - mesmo por uma tripulação experimentada.

Assim, na atualidade, investir em pesquisa em engenharia aeronáutica, procedimentos e treinamento de pilotagem é a melhor maneira de garantir um voo rápido e seguro.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as discussões técnicas com os engenheiros aeronáuticos:
Maj. Bruno Giordano Oliveira;
Cap. João Vitor Zanette; e
Ten. Leonardo Martire Umburana.

## REFERÊNCIAS

AIRBUS – **FAST Airbus Technical Digest #5** – May 1985.

AIRBUS – **Getting to Grips with Aircraft Performance**, Customer Services, Jan. 2002.

AIRBUS – **The Airbus Safety Magazine Safety First #20** – July 2015.

AIRBUS – **The Airbus Safety Magazine Safety First #21** – Jan. 2016.

AIR FRANCE – **MAC Vol en Haute Altitude** – original 1997, ver. 2014, Disponivel em: <http://docplayer.fr/5155158-Mac-vol-haute-altitude.html> Acesso em Maio/2018.

ANDERSON Jr., J. – **Fundamentals of the Airplane** – McGraw-Hill, 1986.

BARROS NETO, P. – **Teoria do Voo do Avião** – Revisado 2018. Disponível em:< https://pt.slideshare.net/PedroBarrosNeto1/teoria-do-voo-94402918 >. Visualizado em maio 2018.

BOUSQUET J. – **Conception Aerodynamique des Avions de Transport Subsoniques** – ENSAE (SUP'AERO), 1990.

FAA – **High Altitude Operations** – Rev.2, Nov. 2008, Airplane Upset Recovery Training Aid Team - Disponivel em: <https://www.faa.gov/other_visit/aviation_industry/airline_operators/training/media/Appendix_3-E_HighAltOperations.pdf > Acesso em maio 2018.

FAA - **Airplane Flying Handbook FAA-H-8083-3B** – Chapt 15 Transition to Jet Powered Airplanes, Disponivel em:< https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/airplane_handbook/ > . Acesso em Maio/2018.

FAA - **Aircraft Operations at Altitudes Above 25,000 Feet Mean Sea Level or Mach** – Advisoy Circular AC 61-107B, 2013, Disponível em:< https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_61-107B.pdf >. Acesso em: maio 2018.

HURT Jr., H. – **Aerodynamics for Naval Aviators** – NAVWEPS 00-80T-80, USNAVY, 1960.

IATA – **Noções de Desempenho de Aeronaves para ATC** – 2013, Disponibilizado em: < https://pt.slideshare.net/JosAlexandreTGFregnani/desempenho-de-aeronaves-atc >. Acesso em Maio 2018.

PEYRAT-ARMANDY, A. – **Les Avions de Transport Modernes et Futurs**. Teknea, 1997.

SCHLICHTING, H., Truckenbrodt, E. – **Aerodynamics of the Airplane** – McGraw-Hill, 1979.

VOS, R. FAROKHI, S. – Introduction **to Transonic Aerodynamics** – Fluid Mechanics and Its Applications Vol 110, Springer, 2015.

WHITEHEAD, H. – V. High Speed Aerodynamics – 2009, Disponível em: <https://www.slideshare.net/lccmechanics/high-speed-aerodynamics>, Acesso em maio 2018.

....

# Ciências Aeronáuticas: Novas Competências e Habilidades

*Wadson Hayner dos Santos Lima [1], Tammyse Araújo da Silva [1]*

1 Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás

**BIOGRAFIA:**

**Wadson Hayner dos Santos Lima**

Concluinte do curso de Ciências Aeronáuticas da Escola de Gestão e Negócios da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Foi monitor de Regulamentos de Tráfego Aéreo, Voo Simulado e Teoria de Voo. Atuou como aluno de Iniciação Científica de 2013 a 2016 pela mesma instituição. É piloto privado de aeronaves de Asa Fixa. Qualificado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) para o Transporte Aéreo de Artigos Perigos e para o Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO). Foi Presidente na gestão 2015/2016 do Centro Acadêmico Santos Dumont da PUC Goiás. Realizou intercâmbio como bolsista do Programa TOP España do Santander Universidades. Atualmente atua como auxiliar de Despacho Operacional de Voo na Brasil Vida Táxi Aéreo.

**Tammyse Araújo da Silva**

Especialista em Docência Universitária. Professora da Escola de Gestão e Negócios no curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Membro do Núcleo Docente Estruturante desde 2010 e do Conselho da Escola desde 2017. Cursou a disciplina de Climatologia, pela PUC Goiás, em 2017 e Meteorologia por Satélite Aplicada à Aviação, EAD, em 2011 pelo INPE. Elemento Credenciado pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Credenciada no Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional pela Agência Nacional de Aviação Civil. Possui curso de Piloto Comercial/IFR. Lecionou na Escola de Aviação Civil, AHV, entre 1997 e 2000, para Piloto Privado de Avião, Piloto Comercial/IFR de avião e Comissário de Voo. Desde 2001 é professora do ensino superior em aviação.

**RESUMO:** A dinâmica do segmento aéreo tem exigido profissionais cada vez mais preparados às mudanças do mercado de trabalho. Os recursos humanos captados para o setor são oriundos de escolas homologadas, de nível técnico, e faculdades, de grau superior. Contudo, existem especificidades relacionadas a cada tipo de formação. O ensino superior se volta para aquisição de conhecimentos mais complexos e, por isso, tem maior carga horária, enquanto, as de nível técnico, permitem a rapidez do processo, sem, entretanto, aprofundamentos de conteúdo. No Brasil, as faculdades e universidades adotaram a nomenclatura de Ciências Aeronáuticas para os cursos que formam, principalmente, pilotos destinados à aviação civil. Como a fundamental diferença perpassa pela qualidade e complexidade dos conteúdos lecionados, faz-se necessário buscar a excelência da graduação. Isto está promovido na reflexão contínua do perfil do egresso que se deseja formar, ancorado às futuras Diretrizes Curriculares Nacionais das Ciências Aeronáuticas. Neste sentido, as Instituições de Ensino Superior (IES) procuram revisitar e reformular, periodicamente, seus Projetos Pedagógicos de Cursos, sobretudo, em função de acompanhar o nível do profissional que o mundo laboral exige. Na revisão de suas matrizes curriculares, é imperativo que as IES atentem para as mudanças de paradigmas da formação de pilotos do século XXI. Este artigo tem por escopo apresentar as habilidades e competências recomendadas pelos órgãos de regulação da aviação civil e avaliar as matrizes curriculares de alguns cursos brasileiros quanto à carga horária destinada à mitigação de fatores contribuintes para acidentes e incidentes aeronáuticos, com o apoio de um estudo de caso de verificação do percentual curricular. Com a evidente transformação dos modelos de cursos para aviadores, as IES exercem papel fundamental, visto sua competência para o desenvolvimento das habilidades cognitivas, senso crítico e humanístico.

**Palavras Chave:** Educação Superior; Ciências Aeronáuticas; Segurança de Voo; Prevenção de Acidentes.

# Aeronautical Sciences: News Skills and Competences

**ABSTRACT**: The dynamics of the aviation sector has been demanding for professionals capable of responding to the ever-changing labor market. The human resources collected come from both approved technical schools and colleges. However, there are specifics related to each type of formation. College education aims at the acquisition of more complex knowledge requiring a higher academic load, whereas technical-level schools allow expediting the process of formation by not dealing with the course content in depth. In Brazil, colleges and universities have adopted the designation of Aeronautical Sciences for courses mainly aimed at forming civil aviation pilots. Since the primary difference pervades the quality and complexity of the contents taught to the students, pursuit of excellence becomes a necessity. This is promoted by the continuous reflection on the profile of the professional the school intends to form, based on the future National Curriculum-Directives of Aeronautical Sciences. In this respect, Superior-Education Institutions seek to periodically revisit and reformulate the Pedagogical Projects of their courses, primarily aiming at monitoring the level of the professional required by the market today. In the revision of their curriculum matrices, it is imperative that the Superior-Education Institutions pay due attention to the change of paradigms in the formation of pilots in the 21st century. This article has the scope of presenting the skills and competences recommended by the civil aviation regulatory agencies, besides evaluating the curriculum matrices of a number of Brazilian courses in terms of academic load dedicated to the mitigation of factors that contribute to accidents and incidents. With the obvious transformation of the models pilot courses, Superior-Education Institutions play a fundamental role on account of their competence for the development of cognitive, analytical, and humanistic skills.

**Keywords:** Superior Education; Aeronautical Sciences; Flight Safety; Accident Prevention.

**Citação:** Lima, WHS, Silva, TA. (2018) Ciências Aeronáuticas: Novas Competências e Habilidades. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 21-32

## 1 INTRODUÇÃO

A aviação se tornou um modal de transporte indispensável para o progresso da humanidade. Seu crescimento é exponencial e com ele caminha a implementação da alta tecnologia embarcada nas aeronaves. Os pilotos de poucas décadas atrás já não são os mesmos de hoje em dia. Novas habilidades e competências estão sendo esperadas destes profissionais e as instituições de ensino precisam acompanhar esta transformação de paradigma no ensino aeronáutico.

Esta pesquisa tem por objetivo geral analisar se o atual modelo de formação superior em Ciências Aeronáuticas é eficaz no desenvolvimento das competências e habilidades recomendadas pelos órgãos reguladores de segurança de voo. E neste sentido, foi feita uma apresentação do cenário de segurança do voo, analisando a evolução dos fatores contribuintes de acidentes e incidentes aeronáuticos ao decorrer dos anos. Expôs as competências e habilidades específicas do aviador e novas formas de treinamento utilizadas atualmente. Fez uma análise de matrizes curriculares de curso do segmento no Brasil e avaliou a sua destinação de carga horária à mitigação dos principais fatores que contribuem aos acidentes e incidentes aeronáuticos.

A metodologia utilizada na abordagem geral foi a indutiva. Este método, conforme explicam Marconi e Lakatos (2010), busca uma veracidade universal, acornada em dados particulares que foram satisfatoriamente verificados. Severino (2007) complementa que na indução, se estabelece uma conclusão válida para todos os fatos da mesma espécie, a partir da repetição constatada de regularidades em vários casos particulares. Por outro lado, há de se observar que neste artigo, foram investigados apenas 4 cursos nacionais, dentre os 14 disponíveis, de bacharelado em Ciências Aeronáuticas. Isso repercute no caráter provável do argumento indutivo utilizado nesta pesquisa, sobretudo, porque Marconi e Lakatos (2010) estabelecem que a conclusão, neste caso, é provavelmente verdadeira, mas não necessariamente verdadeira. De fato, as considerações finais obtidas por este estudo, devem indicar ou sugerir uma ou mais ocorrências, todavia, seria necessário analisar as outras matrizes curriculares dos demais cursos não contemplados por esta pesquisa.

Nos métodos secundários, ou de procedimento, foram utilizados o histórico, o bibliográfico, o estatístico e o comparativo. O estudo foi dividido em duas partes. Na primeira foi feito um levantamento histórico da formação em ciências aeronáuticas no intuito de apresentação e entendimento do desenvolvimento das primeiras formações aos dias atuais. Em seguida, foi feita uma análise das bibliografias existentes que tratam da definição dos conceitos de competência e habilidades de um bom profissional, levando-se em consideração sua atuação em prol da segurança de voo. Também, foi feita uma análise estatística com a finalidade de caracterizar o cenário de segurança de voo no Brasil. E por fim, um levantamento das competências e habilidades recomendadas pelos órgãos reguladores por meio do estudo bibliográfico dos materiais já produzidos. Na segunda parte foi feita uma análise comparativa dos currículos nacionais pelo modelo de Matriz Referência recomendado por Basilio (2012) com a percentagem de carga horária para a mitigação de fatores contribuintes.

As principais referências utilizadas foram a dissertação de Gustavo Borges Basilio (2012), sobre a necessidade de formação superior específica para o exercício da profissão de aviador, e os estudos da European Cockpit Association (2013), voltados para a necessidade de mudanças no paradigma da formação de pilotos. Ambos apresentam um novo cenário que o profissional de pilotagem de aviões irá encontrar em sua profissão, e apontam a emergente necessidade de reconhecimento do novo profissional esperado e a reformulação de normas e ensino aeronáutico.

A formação superior em Ciências Aeronáuticas no Brasil é recente. Por muitos anos o nível médio foi o esperado para a profissão de piloto. Na complexidade, com a implementação de novas máquinas no mercado, o recurso humano passou a ser mais exigido, e seu nível de conhecimento e habilidade precisou evoluir. E assim, novos mecanismos para oferecer um profissional mais completo foram sendo buscado. Nesta dinamicidade muitos cursos de nível superior foram surgindo. No entanto, cabe analisar a qualidade do ensino que está sendo oferecido por estas instituições.

## 2 SEGURANÇA DE VOO

De acordo com o Manual de Gerenciamento da Segurança Operacional, documento 9859 da OACI (2009), o conceito de Segurança de Voo é "o estado no qual o risco de danos a pessoas e propriedades é reduzido a um nível aceitável, ou abaixo, por meio de um processo contínuo de identificação de ameaças e de gerenciamento de risco".

No Brasil se tem o Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER) que é um agregador de todos os órgãos envolvidos na busca da Segurança de Voo. Ele é destinado a estudar e programar as políticas para o bom andamento das atividades aéreas e conscientizar os seus membros da importância de uma aviação madura, responsável e sem prospecção a danos as coisas e pessoas envolvidas. Assim, atuando diretamente nas medidas para a mitigação dos fatores que contribuem para o aumento do risco operacional da aviação (CENIPA, 2016).

### 2.1 Fatores Contribuintes para acidentes e incidentes aeronáuticos

Para tratar dos fatores contribuintes é importante ter claro os conceitos de acidente e incidentes aeronáuticos. De acordo com Bianchini (2014), a diferença entre os dois conceitos é que o acidente aeronáutico é toda ocorrência relacionada com a operação da aeronave que ocorrer entre o embarque da primeira pessoa com a intenção de realizar um voo e desembarque da última pessoa e que aconteça pelos menos um dos seguintes itens: qualquer pessoa sofrer uma lesão ou morrer, a aeronave sofrer um dano ou falha estrutural, e quando a aeronave é considerada desaparecida ou o local onde a aeronave se encontra seja inacessível para o resgate. Já o incidente aeronáutico é toda ocorrência anormal associada à operação da aeronave, que não se enquadre no acidente aeronáutico, havendo intenção de voo, e que afete ou possa afetar a segurança de pessoas e/ou propriedades.

Os fatores contribuintes são definidos como condição, fato, ato ou uma combinação destes, que aliado a outras, em consequência ou como consequência, conduz a um acidente ou incidente aeronáutico, ou que contribui de alguma forma para seu agravamento. Levando-se em consideração toda a experiência adquirida por instituições internacionais de segurança de voo, atrelada com toda sua experiência em investigação, o SIPAER definiu o pilar da sua filosofia moderna em três campos de pesquisas, o trinômio "O Homem, o Meio e a Máquina", que orienta suas atividades de prevenção e investigação nos aspectos de fator humano, operacional e material (CASTRO, 2009).

O fator humano trata-se de uma abordagem da segurança operacional em que trabalha com o complexo biológico do ser humano, nos seus aspectos psicológico, fisiológico e operacional. No fator operacional, hoje definido como uma subdivisão do fator humano (CENIPA, 2011), engloba a atuação e desempenho do indivíduo nas atividades diretamente relacionadas ao seu trabalho, neste caso o voo, que pode ser incluído os fenômenos naturais e a infraestrutura. No fator material compreende a aeronave e seu complexo de engenharia. Nestas definições se percebe claramente que uma há uma evidente dualidade dos fatores contribuintes: o ser humano e a máquina (BASILIO, 2012).

Nos primórdios da aviação os acidentes aeronáuticos eram extremamente frequentes. Visto que se tratava de uma atividade desportiva e as construções das aeronaves se davam pelo meio artesanal. Técnicos da época eram rodeados por uma tecnologia rudimentar e as tentativas de voo eram realizadas de forma empírica. Neste cenário, muitos dos aviões foram destruídos e com eles vidas foram interrompidas nas tentativas de voar (CASTRO, 2009).

Na década de 1960, tinha-se um índice elevadíssimo de acidentes aeronáuticos, chegando a 50 acidentes por milhão de decolagens. O fator material correspondia a 28% dos casos e o fator humano e operacional representavam 72% do total. Na busca de elevação do grau de segurança e confiabilidade da atividade aérea, as construções das aeronaves passaram por um processo de aprimoramento e sofisticação em um prazo relativamente curto. Já na década de 1970, o número de acidentes por milhão de decolagens havia reduzido para um (CASTRO, 2009).

De acordo com o Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira (2016), no decênio de 2006 a 2015 foram publicados 766 relatórios finais de acidentes aeronáuticos, e destes, três fatores contribuintes dos 66 possíveis, representam 31,7% do total. São eles julgamento de pilotagem (448 relatórios), supervisão gerencial (329 relatórios) e o planejamento de voo (300 relatórios). Na análise do Panorama de 2009 feita por Castro (2009), os fatores humanos e operacionais correspondem a 96% da totalidade dos fatores contribuintes. O fator material representa 2%, e fatores indeterminados e outros a 2%. Não foi feita uma análise quanto ao fator material no Panorama de 2016, visto que este não os consta e que podem ser subentendidos dentro da categoria Outros, que por definição é a contribuição de algum aspecto não identificado com qualquer fator contribuinte conhecido.

Diante do cenário exposto acima, pode-se observar que o fator material teve uma diminuição de grande significância nos acidentes aeronáuticos. Onde na década de 60 era observada uma frequência de 28%, nos dias atuais se tem apenas 2%. Por outro lado, os demais fatores, humano e operacional, tiveram um grande aumento no decorrer dos anos, visto a diminuição da participação do fator material. Sendo assim, cabe uma atenção especial ao processo de formação dos recursos humanos da aviação.

Neste trabalho, será focada a formação do piloto, uma vez que sua falha, ou deficiência, permitirá que esses dados estatísticos continuem alarmantes. Um piloto bem formado é necessário para que, na necessidade de tomada de decisão em condições anormais, este possa ter as competências e habilidades necessárias para sobressair a esta situação da melhor forma.

## 3 COMPETÊNCIAS: DEFINIÇÕES E PARTICULARIDADES

O ambiente aeronáutico se caracteriza como um sistema complexo, em que múltiplos fatores estão associados à sua operação. Esta complexidade faz do indivíduo participante, como membro gerenciador deste sistema, uma adequada interação dos diversos elementos que o envolvem. São exemplos desta interação o homem e a máquina, a empresa aérea e o piloto, controladores de voo e o piloto, infraestrutura aérea e sistemas de controle aéreo, dentre outros (RONDON, 2012).

O sistema aéreo se mostra em grande desequilíbrio, visto a complexidade de seus sistemas, dificuldade de interação do piloto com a máquina frente a sua incapacidade de absorção aos avanços desenfreados da tecnologia. Este desequilíbrio é o que se configura como ambiente complexo e é advindo da dinamicidade do setor. O processo ensino-aprendizagem deve se atentar a esta complexidade e buscar desenvolver em seus aprendizes as competências necessárias para lidar com tal desequilíbrio (RONDON, 2012).

O termo competência foi inicialmente trabalhado na década de 1970 por David C. McClelland em seu artigo que buscava confrontar as visões de psicólogos e gestores dos Estados Unidos, pois os pesquisadores tinham dificuldades de apresentarem conclusões quanto à relação das notas obtidas no ensino médio e o alcance dos objetivos profissionais. Concluiu-se que as notas escolares não refletem o resultado profissional e que há a necessidade de individualizar as competências necessárias a cada pessoa e cargo, não apenas tecnicamente, mas nos aspectos comportamentais.

Para Rondon (2012, p. 47) competência "é uma combinação de recursos a fim de se atingir bons resultados em um estado futuro desejado. É importante o saber-fazer, as aptidões e experiências. " E para a atuação competente de um piloto é necessário que este adquira habilidades essenciais à pilotagem que o direcione a um estado permanente de consciência situacional. As formas de realização das competências é o que define habilidades.

De acordo com a *Research Integrations Inc*. (2003 apud Rondon., 2013), as habilidades podem ser divididas em três classes: as habilidades perceptuais, as motoras e as cognitivas. As habilidades perceptuais estão ligadas a capacidade do indivíduo em detectar e identificar estímulos; discriminar formas e figuras; reconhecer algo previamente apresentado; localizar pelo uso da memória determinado item solicitado. As habilidades motoras estão ligadas à capacidade de desempenho do movimento do corpo humano ou coordenação física, adequando-se o corpo aos estímulos e demandas do ambiente. As habilidades cognitivas tratam da capacidade de processo mental da pessoa para a realização de maneira eficaz, eficiente e segura de determinada atividade, pode ser entendida como a tradução das habilidades anteriormente citadas por meio de decisões apropriadas.

Levando-se em consideração o conceito de habilidades cognitivas e o objetivo deste trabalho, fica evidente que o papel ensino-aprendizado proporcionado pelas IES objetiva o aperfeiçoamento destas a seus acadêmicos. Fica ainda mais perceptível quando apresentado a definição de Bailey (1996 apud Research Integrations Inc., 2003), como sendo uma habilidade intelectual, e que inclui dois pontos importantes para um melhor uso da cognição, a resolução de problemas e o processo decisório. A diferença entre os dois pontos é que o primeiro se trata da criação de possíveis alternativas para enfrentar panes e/ou dificuldades, enquanto o segundo está no processo de escolha da melhor alternativa levando em consideração o seu contexto.

As competências exigidas do piloto profissional foram adaptadas no decorrer dos anos, visto as alterações do meio em que estes atuam. Até o final da década de 1970, esperavam-se três competências básicas: voar, colocar em prática as habilidades motoras aprendidas; navegar, a capacidade de se localizar no espaço; e comunicar, habilidade de comunicar com clareza e correção com demais aeronaves e órgãos de controle de voo. O monitoramento sistemático, gerencial, era realizado pelos, em extinção, engenheiros de voo (BASILIO, 2012).

Na aviação moderna, com o incremento de tecnologias e sistemas informatizados na aviação, e também com a ausência dos engenheiros de voo, passou a ser exigida mais uma competência do piloto profissional: a capacidade de gerenciamento dos diversos sistemas das aeronaves modernas. E as habilidades manuais que antes eram exigidas com muito rigor, hoje estão sendo minimizadas pela automatização das cabines e passando a exigir igual proporção das habilidades mentais (BASILIO, 2012).

Para Farias (2014), a ICAO recomenda que o piloto-aluno precisa ser analisado em nove requisitos de competências específicas para sua atuação em cabine de voo. São elas:

1. Aplicação de procedimentos;
2. Comunicação;
3. Gerenciamento da Rota de Voo da Aeronave – automatização;
4. Gerenciamento de Rota de Voo da Aeronave – controle manual;
5. Liderança e Trabalho em Equipe;
6. Solução de Problemas e Tomada de Decisão;
7. Consciência Situacional;
8. Gerenciamento de Carga de Trabalho;
9. Gerenciamento de Ameaças e Erros.

Nota-se que essas competências estão diretamente relacionadas às habilidades não técnicas do piloto, ou seja, prevalecem a sua capacidade de interação com o meio em que se encontra. É necessário que o aviador tenha uma habilidade gerencial de sua atividade profissional, agregando todos os recursos necessários para resolução de problemas e tomadas de decisões em uma consciência situacional acurada sendo líder de um grupo no qual concluirão o melhor procedimento a ser adotado. A esta técnica de interação de tripulantes é dado o nome de *Crew Resource Management* (CRM).

O exercício da profissão do piloto é de natureza processual. O tripulante dentro da cabine se depara com uma rotina de processos previamente estabelecidos, no entanto, há a necessidade de moldar este profissional a uma inesperada e indefinida mudança de cenário que em muitas vezes não condiz com a prática isolada da pilotagem. Segundo a European Cockpit Association (ECA, 2013), o aeronauta precisa ser capaz de desenvolver as habilidades tanto de pilotagem como de gerenciamento da cabine de voo, e saber desempenhar sua função se articulando em ambas. Ser um piloto profissional, agora e no futuro, requer conjuntos de habilidades e competências muito específicas. Sendo algumas com a possibilidade de ser treinadas, outras não. Neste sentido, a ECA (2013) defende a necessidade de uma avaliação pré-treinamento, e assim, poder obter o candidato mais promissor.

O novo paradigma de formação apresentado pela ECA (2013) prevê uma inversão de cenário para os pilotos. No princípio eram enfatizados os treinamentos nas habilidades motoras do aprendiz, e assim perpetuou por muitos anos, no entanto o profissional de hoje requer mais de suas habilidades de gerenciamento motivados pela complexidade das aeronaves utilizadas e o meio em que se encontra. E para sobressair a este novo paradigma, a mesma defende a necessidade de desenvolvimentos de habilidades específicas, muito semelhantes a recomendada pela ICAO (2014), expostas acima. E acrescenta a necessidade de compreensão da interação cultural e a relação com passageiros com este novo profissional.

Um bom programa de treinamento de pilotos precisa ter como filosofia a definição de proficiência e fluência. A proficiência (capacidade demonstrada) pode ser atingida após várias repetições. A fluência só é atingida após uma manobra ser devidamente completada após inúmeras repetições, sem erros, ao longo do tempo. Portanto, se uma manobra não poder ser feita corretamente após o passar do tempo, esse piloto por definição não é fluente, embora ele possa ser proficiente após uma ou mais repetições (ECA, 2013).

O aviador é a barreira final de um processo desencadeador de um acidente ou incidente aeronáutico. Sua capacidade de avaliação e resolução de problemas precisa ser fluente, e para isto, este requer um grau de recursos a sua disposição para melhor sobressair as situações inesperadas. O seu conhecimento técnico e o desempenho de suas habilidades não técnicas o fará um piloto profissional e responsável (ECA, 2013).

O método atual de avaliação de aprendizado dos pilotos-alunos fragiliza a sua real capacidade de absorção do aprendizado. A atribuição de notas mínimas admite que o aprendiz prossiga sua formação com deficiências na competência trabalhada. Os novos modelos sugeridos pelos órgãos reguladores admitem que a capacidade de absorção da competência deve ser de elevado grau satisfatório, ou seja, o aprendiz deve repetir a missão quantas vezes forem necessárias até sua fiel capacidade de entendimento do objeto trabalhado (ABREU JR., 2013).

### 3.1 Novas formas de treinamento na aviação

Diante da necessidade de aprimoramento do treinamento e avaliação de aprendizagem mais eficazes dos pilotos comerciais, os organismos internacionais, OACI e a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), criaram grupos voltados a pesquisas de novas alternativas, os Working Groups: o Next Generation of Aviation Professionals (NGAP), ligado a ICAO, e a IATA Training and Qualifications Initiative (ITQI), ligado a IATA. Os dois grupos trabalham em conjunto e por meio de resultados técnicos comprometeram-se a sedimentar novas metodologias de treinamento conhecidas como Competence Based Training (CBT) e Evidence Based Training (EBT) (ABREU JR., 2013).

O CBT é um conjunto de treinamento voltado para a avaliação, fortemente voltado para o aperfeiçoamento do desempenho, com o foco na qualidade do conhecimento adquirido e desenvolvimento das habilidades e atitudes dos pilotos no intuito de adquirir o resultado de uma performance previamente definida. Sendo assim, mais vale a qualidade do treinamento em detrimento da quantidade. Já o EBT é um treinamento operacional baseado em dados coletados em ambientes de voo por operadores aéreos com o intuito de desenvolver conhecimentos específicos, habilidades e atitudes obtendo um resultado esperado para a execução eficaz de suas atividades operacionais. Requer atualização qualificação apropriada dos avaliadores e instrutores da tripulação do qual terá que ensinar e avaliar as habilidades técnicas e não técnicas em um ambiente específico (ABREU JR., 2013).

É observável uma grande tendência de desenvolvimentos de modelos de treinamentos voltados para o desenvolvimento das habilidades cognitivas, comportamentais, dos tripulantes, defendo que as habilidades não técnicas devem ser melhor desenvolvidas, visto que estas interferem diretamente no desempenho técnico dentro da cabine de voo. É o caso do modelo Non Technical Skills (NOTECHS) que tem em seu escopo o objetivo principal de colaborar na identificação de necessidades de treinamento em CRM. Este modelo é composto por quatro categorias: duas com ênfase social, cooperação e liderança e habilidades sociais; duas outras com ênfase cognitiva, consciência situacional e tomada de decisão (ESCUDEIRO, 2012).

Diante desses novos cenários de avaliação e treinamento, e com toda a análise da evolução dos fatores contribuintes de acidentes e incidentes aeronáuticos, é observável uma grande tendência da formação voltada para a mitigação dos fatores humanos e operacionais por meio do desenvolvimento de competências e habilidades não técnicas para o exercício e interação das tripulações. Pois estas estão diretamente relacionadas com a capacidade de aplicação de seu conhecimento de forma eficaz. Sendo assim, é necessária uma estrutura de ensino de pilotos eficiente.

## 4 A FORMAÇÃO DE PILOTOS PARA A AVIAÇÃO BRASILEIRA

O primeiro curso de formação de pilotos no Brasil se teve em 1914 pelo Aero Clube Brasileiro. Este teve como Presidente honorário Alberto Santos-Dumont e Presidente efetivo o Almirante José Carlos de Carvalho na sua criação em 1911. Suas

operações se concentravam em Campo dos Afonsos, no Rio de Janeiro. Era de sua responsabilidade a emissão das licenças de voo, os brevês, uma iniciativa da França onde a presença de escolas de aviação já se mostrava bem consolidada. Sua criação foi motivada por entusiastas da aviação que, pós-experiência no exterior, viam a necessidade do Brasil em investir neste novo modal de transporte (INCAER, 1988).

O avião foi muito utilizado na Primeira e Segunda Guerra Mundial, se tornando uma arma indispensável para qualquer exército em batalha. Um grande avanço tecnológico foi presenciado nestas guerras para o setor da aviação. Foi um verdadeiro laboratório para a engenharia aeronáutica e treinamento de pilotos. Pós Segunda Guerra, as aeronaves excedentes já não se mostravam tão úteis às Forças e com o advento da aviação mercante, estas aeronaves eram vendidas por preços irrisórios às empresas de aviação. Sendo assim, a demanda de pilotos aumentou de forma descontrolada e os Governos lançavam cada vez mais programas de incentivos a formação de aeronautas e técnicos aeroviários em seus países. É o caso do Brasil que por meio de uma Campanha Nacional de Aviação proliferou o número de aeroclubes com incentivos fiscais e concessão de subvenções (INCAER, 1991).

Os aeroclubes brasileiros, no decorrer dos anos, foram os principais formadores de pilotos da aviação civil. Em suas escolas concentravam as instruções teóricas e práticas. Com o advento das companhias aéreas brasileiras, diante de sua emergência em ter em seus profissionais moldados as suas necessidades, também surgiram as escolas de aviação administradas por estas empresas. Uma prática que foi sendo pouco recorrente com a falência destas companhias diante dos cenários desfavoráveis da economia e política nacional (INCAER, 1990).

Atualmente é de responsabilidade da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) o trato de assuntos acerca de formação, aperfeiçoamento e especialização do pessoal de aeronavegabilidade civil. É ela, em consonância com o que é preconizado pela ICAO, que estabelece os requisitos à formação, qualificação e habilitação das categorias de pilotos no Brasil. Tais categorias são divididas em Piloto Privado (PP), Piloto Comercial (PC) e Piloto de Linha Aérea (PLA) (ANAC, 2012).

Os requisitos para a obtenção destas licenças estão previstos no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 61 (RBAC 61) em que estabelece que o candidato a piloto deve ser submetido a avaliações médicas e psicológicas, testes teóricos de conhecimentos específicos e avaliações práticas de suas habilidades de pilotagem. Para a obtenção de PP, dentre outras exigências, é necessário que tenha aprovação na prova teórica da ANAC e um mínimo de 35 horas de voo em escola homologada pela mesma Agência. Para a de PC também é necessária aprovação no exame teórico e um mínimo de 150 horas de voo em escola homologada, dentre outros requisitos. Já a licença de PLA, é necessária a aprovação no exame teórico e, no mínimo, 1500 horas de voo, e não necessariamente em escolas homologadas, e também outros requisitos.

Por muito tempo a formação técnica de nível médio de pilotos foi suficiente para suprir a demanda da aviação brasileira. No entanto, a tecnologia foi avançando a bordo das aeronaves e novos conhecimentos e habilidades foram sendo exigidas desses profissionais. Diante desta necessidade surgiram os cursos de nível superior que visam uma formação integral de seus acadêmicos tanto humanística quanto tecnicamente.

### 4.1 A formação superior em Ciências Aeronáuticas no Brasil

A formação superior de pilotos no Brasil só tornou realidade em 1994. Fruto de uma parceria entre a Viação Aérea Rio-Grandense (VARIG) e a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC RS), o curso de Bacharelado em Ciências Aeronáuticas visava suprir a demanda presente no mercado brasileiro de profissionais melhores preparados para lidar com os avanços tecnológicos e as novas concepções empresariais presentes na aviação civil (RIBEIRO, 2008).

No Seminário Nacional de Formação e Capacitação de Recursos Humanos da Aviação Civil realizado em dezembro de 2004 a professora M. Sc. Maria Regina de Moraes Xausa, como presidente do Conselho Consultivo em Ciências Aeronáuticas (CCCA), na defesa da formação superior em ciências aeronáuticas disse que ao participar do grupo de estruturação do primeiro curso universitário doía muito em saber que a indústria aeronáutica não disponibilizava toda a tecnologia existente nas aeronaves por falta de condições de conhecimentos dos recursos humanos para poder assimilá-los e operá-los.

Atualmente há diversos cursos empenhados na formação superior de pilotos no Brasil. As companhias aéreas não têm como requisito obrigatório a formação superior em Ciências Aeronáuticas para ingresso de pessoal. Devido à concorrência do mercado de trabalho esta qualificação torna o profissional um diferencial dos demais no processo seletivo. A formação deste acadêmico está voltada não somente a aquisição do conhecimento técnico, mas o aprimoramento de uma visão crítica de aplicação de seus conhecimentos, superando a fragilidade da mera recepção/transmissão isoladas das informações. Ou seja, busca um profissional que consiga fazer (pilotar), que saiba ver a realidade (aeronáutica e social) e refletir sobre a mesma, passando a conhecer o mundo em que vive e a se conhecer, identificando o seu papel social e deixando de ser somente expectador, aprendiz e passa a ser sujeito partícipe da construção da história (RIBEIRO, 2008).

Segundo Vieira (2010), é fundamental a importância da participação das IES na consolidação da mudança de paradigmas na formação do aviador:

Fica patente, então, a necessidade de mudança do paradigma de formação de aviadores civis vigente, focado apenas na apreensão da técnica de pilotagem e escassos conhecimentos básicos, para uma formação de caráter acadêmico, executada em instituições de ensino superior, e inserida no contexto da ciência e da tecnologia contemporâneas (VIEIRA, 2010, p.19).

Os cursos atuais têm uma duração média de três anos e possuem uma matriz curricular multidisciplinar que objetiva satisfazer as exigências tanto da ANAC, quanto do Ministério da Educação (MEC). Grande parte das universidades exigem de seus acadêmicos que, além de terem cursadas e serem aprovados nas disciplinas que constam em suas matrizes curriculares, estes precisam apresentar carteiras concedidas pela ANAC que o configura como piloto profissional: licença de Piloto Comercial e Certificado de Habilitações Técnicas de Voo por Instrumento. E é neste requisito que muitos universitários se veem na dificuldade de conclusão de seus cursos, pois grande parte das Instituições de Ensino Superior (IES) não proporcionam a formação prática para a emissão destas carteiras e estes precisam adquirir a responsabilidade financeira de formação externa para garantir sua formação (PUC GOIÁS, 2013).

Atualmente os cursos de Ciências Aeronáuticas obedecem ao que consta nos manuais de formação para PP, PC e PLA emitidos pela ANAC, e em relação ao MEC o que é recomendado nos Referenciais Curriculares Nacionais dos Cursos de Bacharelado e Licenciatura. No entanto, não há uma Diretriz Curricular Nacional (DCN) para os cursos de graduação, bacharelado. O que deixa as IES livres para administrarem o conhecimento que será repassado aos seus futuros profissionais (RONDON, 2012). Há em tramitação, aguardando homologação desde 2012, um parecer de aprovação da Câmara de Educação Superior para a fixação das DCN do curso em questão (CNE, 2012). Nesse sentido, há necessidade constante de avaliação da formação superior para que o resultado que se espera desses profissionais possa ser eficaz e satisfatório.

## 5 AVALIAÇÃO DAS MATRIZES CURRICULARES SEGUNDO O MODELO DE BASILIO

Com o intuito de uma educação mais abrangente e consistente de forma a desenvolver as competências, habilidades e atitudes de um piloto de forma segura, Basilio (2012) sugere uma matriz curricular de modelo, mas não limitando, as áreas de conhecimentos necessárias para os cursos de Ciências Aeronáuticas. Esta matriz tem por objetivo sugerir um padrão qualitativo e quantitativo mínimo onde possam atender as expectativas de competências esperadas de um aviador para sua atuação vista a segurança de voo, uma vez que as disciplinas são voltadas a mitigação dos fatores contribuintes aos acidentes e incidentes aeronáuticos.

A metodologia utilizada por Basilio (2012) foi a não experimental, visto a aparente impossibilidade de manipulação de dados. Ou seja, o relacionamento das áreas de conhecimentos com os fatores contribuintes mitigados foi baseado na experiência dos especialistas envolvidos na pesquisa. Neste trabalho, a quantidade de horas/aulas destinadas a cada fator contribuinte foram convertidas em porcentagem. Assim, se uma matriz, de três mil e quatrocentos e sete (3407) horas/aulas, contém trezentos e quarenta e quatro (344) horas/aulas para a mitigação da falha de julgamento, isto quer dizer que terá um valor aproximado de 10,1% da carga horária destinada a este fator contribuinte.

Na tabela 1 é ilustrada de forma prática a aplicação da metodologia para o estudo das disciplinas de Regulamentos de Tráfego Aéreo Nacional, Física e Sistemas de Aeronaves. Como exemplo, para estas disciplinas são destinados sessenta (60), noventa (90) e setenta e cinco (75) horas/aulas, respectivamente, para uma grade curricular X de um total de três mil e sessenta (3060) horas/aulas totais. Após avaliação dos pesquisadores envolvidos na investigação de Basilio (2009), os fatores mitigados foram relacionados na terceira coluna. Na última coluna é apresentada a carga horária destinada a cada fator. Na tabela 2, são somadas as horas/aulas de cada fator mitigado e gerado a porcentagem correspondente dentro da grade X.

**Tabela 1.** Relação das disciplinas, fatores contribuintes mitigados e carga horária da Grade X.

| Disciplina | Carga horária | Fatores mitigados | Carga horária/ Fator mitigado |
|---|---|---|---|
| **Controle de Tráfego Aéreo Nacional** | 60 | Planejamento, Indisciplina de Voo, Supervisão e Controle de Tráfego Aéreo | 15 |
| **Física** | 90 | Planejamento, Julgamento e Aplicação dos Comandos | 30 |
| **Sistemas de Aeronaves** | 75 | Projeto, Fabricação, Manuseio de Material, Manutenção e Pessoal de Apoio | 15 |

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 2.** Relação de carga horária, em porcentagem, destinados a mitigação de fatores contribuintes da Grade X.

| Fator Contribuinte | Somatória das horas/aulas | Porcentagem em relação à grade X (3060 horas/aulas totais) |
|---|---|---|
| **Planejamento** | 45 | 1,47% |
| **Indisciplina de Voo** | 15 | 0,49% |
| **Supervisão** | 15 | 0,49% |
| **Controle de Tráfego Aéreo** | 15 | 0,49% |
| **Julgamento** | 30 | 0,98% |
| **Aplicação dos Comandos** | 30 | 0,98% |
| **Projeto** | 15 | 0,49% |
| **Fabricação** | 15 | 0,49% |
| **Manuseio de Material** | 15 | 0,49% |
| **Manutenção** | 15 | 0,49% |
| **Pessoal de Apoio** | 15 | 0,49% |

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Na escolha das matrizes curriculares foi levado em consideração o tempo de atuação da IES na formação desses profissionais e a quantidade de egressos já formados e em formação a cada ano. A Matriz Curricular A é a de referência sugerida por Basilio (2012). As demais Matrizes Curriculares (B, C, D e E) são de cursos de Bacharelado em Ciências Aeronáuticas de regiões diversas do país. Na soma total poderá ser encontrado resultados diferentes de cem por cento (100%), isto é motivado pelo arredondamento dos valores com o intuito de facilitação da visualização dos números.

**Tabela 3.** Relação de carga horária, em porcentagem, destinados a mitigação de fatores contribuintes.

| Fator Contribuinte | Matriz A | Matriz B | Matriz C | Matriz D | Matriz E |
|---|---|---|---|---|---|
| **Julgamento de Pilotagem** | 10,10 | 12,73 | 9,50 | 8,00 | 9.60 |
| **Supervisão Gerencial** | 10,00 | 2,74 | 6,50 | 7,70 | 7.60 |
| **Planejamento** | 7,00 | 7,74 | 9,50 | 9,80 | 10.90 |
| **Aspecto Psicológico** | 11,00 | 30,60 | 21,50 | 30,00 | 27.80 |
| **Indisciplina de Voo** | 7,20 | 5,60 | 4,00 | 4,20 | 2,00 |
| **Aplicação de Comandos** | 6,30 | 5,50 | 6,00 | 2,50 | 5.80 |
| **Manutenção** | 4,10 | 0,44 | 4,00 | 1,60 | 1.70 |
| **Pouca Experiência de Voo** | 4,00 | 5,76 | 4,00 | 3,50 | 2.60 |
| **Instrução** | 5,00 | 4,61 | 2,50 | 1,60 | 4.80 |
| **Condições Meteorológicas Adversas** | 4,40 | 3,20 | 3,00 | 2,30 | 1.50 |
| **Coordenação de Cabine** | 4,00 | 1,90 | 2,00 | 2,10 | 3.40 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Infraestrutura** | 2,50 | 2,20 | 3,00 | 4,30 | 2,00 |
| **Influência do Meio Ambiente** | 0,70 | 2,20 | 1,50 | 1,80 | 0.50 |
| **Aspecto Fisiológico** | 1,70 | 2,20 | 3,00 | 1,90 | 1.90 |
| **Esquecimento** | 2,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| **Projeto** | 2,30 | 1,50 | 4,50 | 1,60 | 2.20 |
| **Pessoal de Apoio** | 2,30 | 0,00 | 3,60 | 3,50 | 2.10 |
| **Fabricação** | 1,80 | 1,50 | 4,00 | 1,60 | 1.90 |
| **Manuseio do Material** | 1,80 | 0,44 | 4,00 | 2,10 | 1.50 |
| **Outros** | 5,50 | 3,07 | 2,10 | 2,80 | 4.60 |
| **Aspecto Operacional** | 1,00 | 0,22 | 0,10 | 0,00 | 0.70 |
| **Controle de Tráfego Aéreo** | 4,02 | 5,90 | 5,50 | 6,60 | 5.20 |
| **Total (%)** | 99,12 | 100,05 | 98,30 | 99,50 | 100.30 |

**Fonte**: Elaborado pelo autor.

Na Matriz B se pode observar uma baixa consideração para os fatores Manutenção, Manuseio de Material, Aspecto Operacional e Supervisão Gerencial. Não apresenta carga horária destinada ao Esquecimento e Pessoal de Apoio. A Coordenação de Cabine apresenta metade do recomendado. O Aspecto Psicológico mostra uma desproporcionalidade acentuada da Matriz modelo.

Na Matriz C, Aspecto Operacional, Coordenação de Cabine, Instrução e Indisciplina de Voo foram subestimados da Matriz modelo. Esta também apresenta uma ausência de dedicação ao fator Esquecimento e uma desproporcionalidade para Aspecto Psicológico.

Na Matriz D é observado uma baixa porcentagem para Indisciplina de Voo, Aplicação dos Comandos, Manutenção, Instrução, Condições Meteorológicas Adversas, Coordenação de Cabine. E ausência para Esquecimento e Aspecto Operacional. Aspecto Psicológico apresenta um valor acima do esperado, isto não é indesejável, porém pode ser melhor distribuído aos fatores com aparente deficiência.

Na Matriz E é verificada também uma ausência de dedicação à Esquecimento, e um valor abaixo do esperado para Indisciplina de Voo, Manutenção, Pouca Experiência de Voo, Condições Meteorológicas Adversas. O Aspecto Psicológico leva a mesma tendência das demais Matrizes com um valor acima do esperado.

O fator Esquecimento foi o mais preocupante nesta análise, visto sua desconsideração em todas as Matrizes analisadas. Este é a omissão involuntária de procedimentos ou parte de dele, pelo piloto, em decorrência da falha de memória de algo previamente conhecido. Basilio (2012) recomenda a disciplina de "Prática de Voo em Simulador – Situações Incomuns (resiliência)" como uma forma de exercitar e, como consequência, mitigar este fator.

Abreu Jr (2012), aponta em seu estudo aprofundado dos relatórios finais de acidentes e incidentes aeronáuticos emitidos pelas autoridades investigadoras a falta de resiliência e deficiência de *airmanship* como fatores de grandes relevâncias. A resiliência é uma combinação de fatores que propiciam ao ser humano condições para enfrentar e superar problemas e adversidades. O *airmanship* é a capacidade de um piloto de exercitar, de modo eficiente, bons julgamentos e decisões, demonstrando controle eficaz na prática das habilidades básicas de pilotagem com vistas à realização dos objetivos de um voo. E nesse caso, a prática da resiliência em conjunto com o exercício de *airmanship* aumentaria a capacidade de memorização dos procedimentos durante o voo e aumentaria sua capacidade de utilização eficaz dos recursos disponíveis.

Segundo Basilio (2012), as universidades apresentam os procedimentos de familiarização de práticas de voo em simulador, no entanto, para um trabalho eficaz na mitigação do esquecimento é necessário o trabalho com o acadêmico posterior a esta etapa, num estágio onde já consolidou seu conhecimento de procedimentos e é preciso redundância em práticas de situações não comuns em ambientes de voo.

O fator indisciplina de voo, que é a violação (intencional) por parte do piloto, de normas operacionais, regulamentos, ou regras de tráfego aéreo, sem que haja justificado motivo para tal, foi um dos quais merece atenção na análise das matrizes curriculares (CENIPA, 2011). O trabalho da mitigação deste fator pode ser feito adotando um estudo mais intensivo dos regulamentos de tráfego aéreo e da profissão do aeronauta. É complementar também um estudo de psicologia aplicada ao voo e gerenciamento de *cockpit*. A prática de procedimentos operacionais de cabine se tornar uma disciplina fundamental para a prática de consciência do intencional indesejável (BASILIO, 2012).

O fator manutenção apresentou um resultado que merece atenção. O CENIPA (2011) define este fator como participação de pessoal de manutenção de aeronaves por inadequação de práticas de prevenção e/ou correção, e também do trato ou má interpretação de relatórios, boletins, ordens técnicas e similares. Neste sentido, a universidade pode trabalhar como prevenção proporcionando ao seu acadêmico um amplo conhecimento de engenharia aeronáutica e conhecimentos básicos de sua aplicação no voo. É importante também o conhecimento em gestão de manutenção de aeronaves, das etapas e estrutura de manutenção e interpretação de documentos afins (BASILIO, 2012).

O fator pessoal de apoio se mostra ausente na análise da Matriz B. Este fator é definido como a participação de pessoal na realização dos serviços de preparação e recebimento de aeronaves, reabastecimento, tratoramento, apoio de rampa e outros envolvidos na operação da aeronave (CENIPA, 2011). Assim, pode-se trabalhar com disciplinas que abordam a organização, planejamento, filosofia e estrutura do transporte aéreo. É importante enfatizar que muitos dos fatores não estão diretamente relacionados com a prática de pilotagem, indo além do que se espera dentro de um *cockpit.* O profissional formado em Ciências Aeronáuticas deve ser capaz de interferir no cenário quando julgar necessário, e para isso, é preciso que possua conhecimento suficiente para gerenciar os diversos setores do segmento do transporte aéreo (BASILIO, 2012).

O fator coordenação de cabine é definido como a ineficiência no aproveitamento dos recursos humanos disponíveis para operação da aeronave, em virtude do gerenciamento inadequado das tarefas afetas a cada tripulante, falha ou confusão na comunicação ou no relacionamento interpessoal, ou a inobservância de normas operacionais (CENIPA, 2011). Disciplinas como Psicologia Aplicada à Aviação, Comunicação, procedimentos operacionais de CRM e *Line Oriented Flight Training* (LOFT) são opções fundamentais para o desenvolvimento do relacionamento e coordenação de atividades dentro de uma cabine de voo (BASILIO, 2012). O LOFT é um treinamento prático da filosofia de CRM, onde é possível a aprendizagem com relação a situações de comunicação, gerenciamento e coordenação, sendo possível sua realização em um simulador, considerando uma missão completa de situações possíveis em um voo de rota (CARVALHO *et al.,* 2009).

Também um fator de atenção na análise das matrizes é o aspecto operacional. Este pode ser referido como o desempenho do ser humano nas atividades diretamente relacionadas com o voo. Sendo uma subdivisão do grupo fatores humanos, este engloba todo o relacionamento de piloto com sua execução de atividades (CENIPA, 2011). É o aspecto que apresenta uma grande concentração dos fatores contribuintes em acidentes e incidentes aeronáuticos. Sua mitigação pelas IES pode ser trabalhada pela prática de simulação em voo, onde o acadêmico colocará em prática seu conhecimento teórico e se deparará com situações cotidianas dos procedimentos operacionais da profissão pretendida (BASILIO, 2012).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou as competências e habilidades recomendadas para os pilotos profissionais da atualidade. Pode-se perceber que a necessidade de mudanças, visto a transformação do paradigma de formação dos aviadores, é emergente. Hoje se espera um profissional completo, além de sua habilidade motora de pilotagem, e sim uma grande capacidade de gerenciamento.

Os fatores contribuintes para acidentes e incidentes aeronáuticos se modificaram ao decorrer dos anos. No início o fator material dominava as estatísticas em razão do amadorismo da engenharia da época. Os anos se passaram e a tecnologia evoluiu a ponto de fazer com que este fator, hoje, se torne quase que desprezível nos números finais. Por outro lado, os aspectos humanos e, principalmente, os operacionais mostram dados preocupantes.

O trabalho agora é na capacitação eficiente de recursos humanos de cabine, que nesta pesquisa foi focado o piloto. As IES se mostram num papel crucial para o resultado eficaz na formação desses aviadores, visto sua capacidade de desenvolver as habilidades cognitivas, senso crítico e humanístico.

Há que se preocupar no desenvolvimento de um treinamento específico a cada acadêmico. Um processo de aprendizado por competência e evidência, buscando sempre a proficiência, e quando possível, a fluência da atividade trabalhada. E neste sentido, é reconhecida a dificuldade de implementação de tal medida sabido a complexidade administrativa dessas IES.

Na análise das matrizes curriculares, mesmo não sendo uma matriz de referência rígida para o seu seguimento, foi verificado um cenário preocupante do ensino específico proporcionado pelas IES. O fator esquecimento, detectada sua ausência em todas as matrizes analisadas, apresentou-se em um contexto inquietante. Apesar das estatísticas de acidentes e incidentes aeronáuticos demonstrarem que este é coparticipante em inúmeros casos, os cursos analisados não apresentam disciplinas voltadas para sua mitigação. Cenário diferente perpassa pelo fator aspectos psicológicos que mostra uma porcentagem maior que a referência em todas as matrizes estudadas, o que não vem a ser ruim, porém, oferece uma desproporcionalidade não recomendada.

A partir dos resultados, é possível perceber a necessidade dos cursos de Ciências Aeronáuticas em atualizar suas matrizes curriculares agregando disciplinas ou matérias específicas que corroboram no processo de ensino-aprendizagem voltadas para a segurança de voo, como no tocante "esquecimento". Além disso, a pesquisa sugere que os órgãos de regulação de ensino aeronáutico do Brasil, ANAC e MEC, também reconheçam a emergente precisão de atualização de seus documentos, de tomadas de medidas de intervenção e orientação específica para os casos concretos.

Conclui-se que há, dentro das matrizes curriculares analisadas, uma tendência de aplicação desproporcional da carga horária para a mitigação dos fatores contribuintes. Uma sugestão para novos trabalhos é a análise e investigação das demais matrizes curriculares das faculdades brasileiras a fim de definir ações a serem tomadas para a eficiência da formação profissional do setor.

## REFERÊNCIAS


ABREU JÚNIOR, Célio Eugenio de. **Os Desafios do Treinamento e da Qualificação de pilotos no Século XXI**. Conexão Sipaer, Brasília, v. 4, n. 2, p.129-148, abr. 2013. Disponível em: <http://inseer.ibict.br/sipaer/index.php/sipaer/article/viewFile/231/257>. Acesso em: 01 nov. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (BRASIL). Resolução N. 237, de 5 de junho de 2012. **RBAC 61: licença, habilitações e certificados para pilotos**. Diário Oficial da União. Brasília, 22 de junho de 2012, seção 1, p. 3.

BASILIO, Gustavo Borges. **O curso superior em ciências aeronáuticas como requisito para a obtenção de licenças de pilotagem: uma medida proativa na prevenção de acidentes.** 2012. 83f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos - SP.

BIANCHINI, Denis. **Regulamentos de Tráfego Aéreo:** VFR e IFR. 5. ed. São Paulo: Bianch, 2014. 378 p

BRASIL. Ministério da Defesa. **Panorama estatístico da aviação civil brasileira.** Brasília, DF, 2015.

_____. Agência Nacional de Aviação Civil. Resolução N. 237, de 5 de junho de 2012. RBAC 61: licença, habilitações e certificados para pilotos. **Diário Oficial da União.** Brasília, 22 de junho de 2012, seção 1, p. 3.

_____. Ministério da Defesa. **Anais do seminário nacional de formação e capacitação de recursos humanos da aviação civil**. Brasília, 2004.

_____. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Parecer nº. 225 de 05 de junho de 2012.** Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de graduação em Ciências Aeronáuticas bacharelado, e dá outras providências.

CASTRO, Anderson Belchior Zuchetto de. **A Presença da Filosofia SIPAER e dos Fundamentos da Prevenção de Acidentes Aeronáuticos na Formação dos Pilotos Militares Brasileiros.** 2009. 129f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos - SP.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. **Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.** Disponível em:<http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/index.php> Acesso em: 13 set. 16.

EUROPEAN COCKPIT ASSOCIATION. **Pilot Training Compass:** Back to the future. 2013. Disponível em: <https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/eca_pilot_training_compass_back_to_the_future_13_0228.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2013.

INSTITUTO HISTÓRICO-CULTURAL DA AERONÁUTICA BRASILEIRA INCAER. **História geral da aeronáutica brasileira**: da criação do Ministério da Aeronáutica ao final da Segunda Guerra Mundial. Rio de Janeiro: INCAER, 1991. v. 3.

_____. **História geral da aeronáutica brasileira:** De 1921 às vésperas da criação do Ministério da Aeronáutica. Belo Horizonte: Itatiaia; Rio de Janeiro: INCAER, 1990. v. 2.

_____. **História geral da aeronáutica brasileira:** dos primórdios até 1920. Belo Horizonte: Itatiaia; Rio de Janeiro: INCAER, 1988. v.1.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **DOC 9859 – ANP/474**: Manual de gestión de la seguridade operacional. Quebec – Montreal, 2009.

FARIAS, Flávio Lion Nogara. **Parâmetros para a avaliação de competências subjetivas na formação do piloto comercial:** Avião. 2014. 39f. Monografia de MBA em Inteligência de Negócios – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS. **Resumo do projeto pedagógico do curso de graduação em Ciências Aeronáuticas para site PUC Goiás.** Goiânia – GO. 2013. Disponível em: < http://sites.pucgoias.edu.br/home/wp-content/uploads/2013/10/PPCCAER2013.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2016.

RESEARCH INTEGRATIONS, INC. **Literature review of automation skills**. jun. 2003. Disponível em: < http://iceskatingresources.org/AutoskillsLitReview.pdf> Acesso em: 20 abr. 2016.

RIBEIRO, Elones Fernando. **A formação do piloto de linha aérea:** Caso VARIG – O ensino aeronáutico acompanhando a evolução tecnológica. 2008. 386f. Tese de Doutorado em História – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.

RONDON, Mario Henrique Dorileo de Freitas**. A formação e o exercício profissional de piloto da aviação civil:** uma política em questão. 2012. 207f. Dissertação de Mestrado em Educação – Universidade Católica de Brasília, Brasília – DF.

RONDON, Mario Henrique Dorileo de Freitas. **Próxima geração da aviação profissional:** competências essenciais para o aprimoramento da profissão do piloto no Brasil. Conexão SIPAER, v. 4, n. 2, dez. 2013. Disponível em: < http://inseer.ibict.br/sipaer/index.php/sipaer/article/view/242/274>. Acesso em: 01 set. 2016.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23 ed. São Paulo: Cortez, 2007.

....

# Discriminação e Descrição de Eventos Privados no Contexto da Aviação

*Leonardo Murilo Leão [1], Thaissa Neves Rezende Pontes [1], Andre de Souza Rocha [1], Bruna Nery Rosa [1], João Paulo de Sousa Silva [1], Kesley da Cruz Oliveira Gracia Assis [1], Lucas Souza Mendes [1], Matheus Alves Ribeiro [1], Nathália Ganassini [1], Nathália Manso Cintra [2], Victor Hugo Lazaro Simão [1]*

1 Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás
2 Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

**BIOGRAFIA:**

**Leonardo Murilo Leão**
Graduando em Psicologia (PUC-GO), monitor da disciplina Psicologia Geral Experimental 1.

**Thaissa Neves Rezende Pontes**
Graduação em Psicologia pela PUC-GO (2008), mestrado em Ciências do Comportamento pela UnB (2010), doutorado sanduíche pelo Wofford College (2012/2) e doutorado em Ciências do Comportamento pela UnB (2014). Participou da elaboração do Projeto Político Pedagógico do Curso de Psicologia da Faculdade Alfredo Nasser (Unifan) em 2016, como membro do Núcleo Docente Estruturante. Foi membro do Comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos (2015/1 à 2016/2) da PUC-GO e atualmente é professora efetiva do Curso de Psicologia (PUC-GO/Unifan) e coordenadora do grupo de pesquisa sobre Psicologia da Aviação (PUC-GO).

**Andre de Souza Rocha**
Bacharel em Ciências Aeronáuticas pela PUC-GO em 2017/2. Habilitado Piloto Comercial/MULTI/IFR pela EJ Escola de Aeronáutica em maio de 2018.

**Bruna Nery Rosa**
Graduanda em Psicologia pela PUC-GO e bolsista de iniciação científica. Monitora das disciplinas de Psicologia Geral e Experimental I e II e Personalidade I desde 2015/1 e fez estágio voluntário em projeto de inclusão social.

**João Paulo de Sousa Silva**
É discente do Curso de Ciências Aeronáuticas da Escola de Gestão e Negócios Pontifícia Universidade Católica de Goiás, foi monitor de Regulamento de Tráfego Aéreo pela PUC-GO, no ano de 2017, e aluno de Iniciação Científica dessa mesma universidade. É qualificado como piloto privado de aeronaves de asa fixa. Participou dos Workshops referentes à Gestão dos riscos de emissão do raio laser e do Curso de Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional – SGSO realizado pela INFRAERO, em 2016. Participou do I e II Seminário de Segurança Operacional realizado pela escola de aviação SKYTECH Brasil. Trabalha atualmente como auxiliar de despacho operacional de voo na empresa Brasil Vida Táxi Aéreo.

**Kesley da Cruz Oliveira Gracia Assis**
Graduando em Ciências Aeronáuticas (PUC-GO). Realiza trabalhos extra curriculares como: prestação de serviços ao Centro Acadêmico Santos Dumont, realização de eventos, simpósios de segurança de voo, recepção de novos alunos e divulgação do curso em feiras e em eventos na própria Universidade.

**Lucas Souza Mendes**
Graduando em Psicologia (PUC-GO). É monitor da disciplina de Psicologia Geral Experimental l desde 2017/1 e bolsista do CNPq.

**Matheus Alves Ribeiro**
Graduado em Ciências Aeronáuticas pela PUC-GO. Durante a trajetória acadêmica foi monitor de Navegação Aérea II (2016) e participou da Comissão Organizadora do Simpósio de Ciências Aeronáuticas (2017).

**Nathália Ganassini**
Graduanda em Psicologia (PUC-GO). É monitora da disciplina de Psicologia Geral Experimental l desde 2017/1.

**Nathália Manso Cintra**
Piloto Comercial de avião; mestranda em segurança de aviação e aeronavegabilidade continuada pelo ITA; graduada em Ciências Aeronáuticas pela PUC-GO e Técnica em informática pelo IFG. Atua como monitora voluntária no desenvolvimento de simulador de voo na PUC GO desde 2013 e trabalha na construção de outros simuladores como A320, B737 e Caravan.

**Victor Hugo Lazaro Simão**
Graduado em Ciências Aeronáuticas (PUC-GO). Piloto Privado de Avião pela ANAC.

**RESUMO:** Devido ao número acentuado de acidentes e incidentes aéreos envolvendo fatores humanos, o presente trabalho consistiu em propor uma nova forma de compreender conceitos típicos da aviação à luz dos princípios da Análise do Comportamento, uma das abordagens da Psicologia. Os conceitos escolhidos estão relacionados com a desorientação espacial e alguns dos fatores ligados a ela, tais como: percepção e consciência. Uma revisão da literatura foi feita objetivando esclarecer

como os conceitos citados são definidos no contexto da aviação para, em seguida, propor uma releitura de cada um deles tendo como base discussões conceituais e resultados de pesquisas empíricas, já realizadas e publicadas da Análise do Comportamento. Essa releitura ampliará a compreensão dos conceitos citados acima, uma vez que a abordagem em questão rejeita qualquer tipo de explicação mentalista e internalista, enfatizando os fatores ambientais na explicação do comportamento. Adicionalmente, o presente trabalho é também voltado para a promoção da segurança de voo, pois ao propor uma nova forma de interpretar determinados conceitos, abre margem para novas intervenções e modificações de comportamentos comumente emitidos por aeronavegantes.

**Palavras Chave:** Análise do Comportamento, Desorientação Espacial, Psicologia, Segurança de voo.

# Discrimination and Description of events in the contexto of aviation

**ABSTRACT**: Due to the large number of aeronautical accidents and incidents involving human factors, the objective of this work is to propose a new manner of understanding typical concepts of aviation in the light of principles of Behavior Analysis, one of the Psychology approaches. The concepts chosen are related with spatial disorientation and some of the its Factors, such as perception and conscience. A review of the literature has been made in order to clarify how the aforementioned concepts are defined in the context of aviation. Then a rereading of each one of the concepts is proposed, based on conceptual discussions of empirical research of Behavior Analysis already done and published. Such rereading will expand the comprehension of the aforementioned concepts, since the approach in question rejects any type of mentalist and internalist explanation, emphasizing environmental factors in the explanation of the behavior. In addition, the present also focuses on promoting flight safety, since in promoting a new way of interpreting certain concepts, it opens the door to new interventions and modifications of behavior commonly adopted by aviation professionals.

**Keywords:** Behavior Analysis. Spatial Disorientation. Psychology. Flight Safety.

**Citação:** Leão, LM, Pontes, TNR, Rocha, AS, Rosa, BN, Silva, JPS, Assis, KCOG, Mendes, LS, Ribeiro, MA, Ganassini, N, Cintra, NM, Simão, VHL. (2018) Discriminação e Descrição de Eventos Privados no Contexto da Aviação. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 33-40

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre as diversas abordagens que compõem a Psicologia, uma delas é a Análise do Comportamento (AC) que, para sua definição, compreende três braços distintos denominados de Behaviorismo Radical (BR), Análise Experimental do Comportamento (AEC) e Análise Aplicada do Comportamento (AAC). De acordo com Neto (2002), estes braços se retroalimentam no sentido de que os conhecimentos advindos de um braço, acabam por exercer influência nos demais.

O BR trata de questões teóricas e conceituais, históricas e filosóficas. Somado à AEC, voltada para investigações empíricas e à AAC, voltada para intervenções sociais práticas, compõe os aspectos que definem a ciência da Análise do Comportamento, conforme apontam STARLING (2004) e TOURINHO (1999). Baseado nos pressupostos teóricos do BR, a explicação acerca do comportamento humano não é desenvolvida a partir de termos relacionados à autonomia, como homúnculos, o próprio cérebro por si mesmo ou agentes internos, como a mente e a consciência descritos como causadores do comportamento (LAURENTI, 2009). O objeto de estudo da AC é a interação do organismo com o ambiente que estabelece a posição do homem como parte da natureza e evidencia uma relação em que o homem modifica seu ambiente e é modificado por suas consequências (TODOROV, 2007). Sendo assim, essa abordagem enfatiza a relação entre o organismo e o ambiente, para a compreensão e intervenção do comportamento humano como sendo eventos naturais[1].

Hübner, Borloti, Almeida e Cruvinel (2012) enfatizam três pontos que sustentam o BR: 1) o monismo: concepção que defende uma só natureza para todos os comportamentos; 2) o contextualismo: considera interações históricas e atuais na compreensão do comportamento; e 3) a análise funcional: uma ferramenta utilizada para identificar relações entre eventos ambientais e comportamentais. Ao enfatizar o papel do ambiente na determinação do comportamento humano, há também a possibilidade de intervenção e modificação do comportamento, pois as variáveis que exercem controle sobre o responder são passíveis de manipulação. A previsão e o controle do comportamento, que são duas propostas dessa ciência, permitem a partir do conhecimento das variáveis, um maior entendimento sobre o comportamento conforme Skinner aponta em Ciência e Comportamento Humano (2003).

A influência que o ambiente exerce sobre o responder do organismo, pode ser definida a partir de três níveis de variação e seleção. Para Skinner (1981), o primeiro deles advém de uma história filogenética, que diz respeito à interação ao longo do desenvolvimento da espécie, ou seja, algumas características foram selecionadas no decorrer dessa história de interação tornando os organismos mais suscetíveis a certas condições ambientais do que em outras. Um estímulo como um estrondo alto e repentino,

[1] Conforme Starling (2004), eventos naturais são condições ou uma condição que tenha a capacidade de estimular órgãos sensoriais humanos. Carrara (2004) faz uso do termo realidade natural, em que o mesmo define como sendo possível acessá-la através de instrumentos usados em ciências empíricas, pois possuem um estofo físico. Para discussões mais sistematizadas sobre o tema, consultar SMITH (2007).

por exemplo, elicia respostas de aumento dos batimentos cardíacos em seres humanos. Dessa forma, a sensibilidade de responder diante de determinado estímulo, advém de uma história de interação da espécie humana com seu meio ambiente no decorrer de milhares de anos, permitindo aprendizagem e a adaptação ao ambiente, o que se mostra diretamente relacionada a filogenia (NETO e TOURINHO, 2012).

O segundo nível de seleção e variação, o ontogenético, explica a história de interação de cada indivíduo com seu ambiente, ou seja, as experiências vivenciadas por cada um (SKINNER, 1981). O comportamento de dirigir, por exemplo, é um comportamento que demanda treino e, ao ser aprendido, passará a fazer parte do repertório comportamental de um sujeito.

O terceiro nível de seleção e variação, o cultural, desempenha função no arranjo de contingências, sendo esse terceiro nível caracterizado pela seleção de práticas culturais, como por exemplo, a linguagem - ferramenta para a transmissão de práticas e costumes dos quais orientam diversos comportamentos (SKINNER, 1981).

A interação do organismo com o ambiente, diz respeito a qualquer dimensão da resposta, seja ela pública ou privada. Respostas privadas são assim definidas por ser acessível só a quem as emite. Por exemplo, pensar algo ruim de um palestrante é acessível só a quem emite essa resposta naquele momento. Por outro lado, as respostas públicas, são acessíveis àqueles que se comportam e aos demais, como por exemplo, a resposta de franzir a sobrancelha em uma situação de resolução de problemas, pois, outras pessoas, além daquele que franze a sobrancelha, podem ter acesso a esse comportamento. Com isso, como aponta Skinner (2006), para a distinção de um evento privado, não se recorre a uma estrutura distinta dos demais comportamentos, mas sim ao que tange a acessibilidade.

Na aviação, muitos comportamentos privados são estudados e explicados de uma forma diferente dos comportamentos públicos. A desorientação espacial, por exemplo, é definida como a perda ou imprecisão da percepção acerca de elementos do ambiente, tais como velocidade, movimento ou altitude, tendo como referência o eixo da terra e a gravidade vertical. Quadros de desorientação espacial têm sido descritos como decorrentes da inadaptabilidade fisiológica que se têm em relação ao ambiente aéreo, levando a conflitos em termos de orientação e equilíbrio. Por isso, é sugerido que os pilotos sigam o que os instrumentos indicam (RODRIGUES, 2016).

Os tipos de desorientação espacial decorrem de perdas na capacidade de perceber e compreender objetos e situações do ambiente, somada a incapacidade de arquitetar possíveis soluções para o problema. Esse fenômeno é classificado em três tipos: 1) Não reconhecida; 2) Reconhecida; e 3) Incapacitante. O primeiro tipo, a não reconhecida, ocorre quando o piloto continua operando a aeronave sem perceber a discrepância entre informações advindas dos instrumentos e as sensações. A Reconhecida, tipo dois, ocorre quando o piloto tem consciência de que existe algum tipo de incoerência entre o que ele sente e o que os instrumentos apontam, porém, não a percebe como sendo um quadro de desorientação espacial suspeitando, então, que tal incoerência decorre de falha no instrumento. O terceiro tipo de desorientação espacial, a Incapacitante, ocorre quando o piloto percebe que algo está errado, porém em decorrência de fatores como o conflito sensorial ou a sobrecarga de emoções e até mesmo o forte estresse frente a esse contexto o inibem de se comportar diante da situação (SANTI, 2009).

A desorientação espacial é mais agravante ainda em operações *single pilot*. Para aumentar a segurança em operações desse tipo, é usado o denominado *single-pilot resource managemente* (SRM) que é semelhante ao *Crew Resourse Manegment* **(**CRM**),** instrumento que, através de treinamento, almeja tornar os pilotos e aeronavegantes mais aptos a lidarem com situações de voo e com a prevenção de acidentes e incidentes aéreos como foco (CUNHA; CONCEIÇÃO, 2013). Portanto, o SRM tem como objetivo tornar o piloto capaz de gerenciar o trabalho no qual se engaja, diminuir a probabilidade de cometer erros e aumentar a eficácia de tomada de decisões (LEVY, 2017).

O SRM se baseia em cinco pilares: piloto, planejamento, aeronave, passageiros e programação. O primeiro pilar, o piloto, enquanto responsável por todo planejamento pré-voo deve ficar atento em termos de possíveis mudanças no que fora previamente arquitetado. O segundo pilar, o planejamento, diz respeito a toda elaboração pré-voo que o piloto deve fazer, incluindo a coleta de informações sobre condições de voo. Já o terceiro, aeronave, se define por toda a estrutura, equipamentos e sistemas, enquanto os passageiros se constituem como o quarto pilar, pois, no decorrer do voo, podem apresentar respostas de cunho emocional como medo ou ansiedade devido a algum elemento interveniente, como por exemplo, uma turbulência. Por fim, o quinto pilar, a programação, trata-se tanto de equipamentos de mão, quanto aqueles presentes no painel, que podem diminuir a carga de trabalho do piloto e aumentar sua consciência situacional (FAA, 2015).

Diante do contexto acima, ou seja, de situações que envolvam operações *single pilot* e desorientação espacial, o presente artigo tem como objetivo discutir alguns termos comumente presentes nesse contexto. Para tanto, a AC será utilizada como embasamento teórico.

## 2 MÉTODO

O presente artigo visou integrar duas áreas distintas de conhecimento, a Psicologia, mais especificamente uma de suas abordagens, a AC e a Aviação. Textos de cunho conceitual e empírico da AC e da aviação foram utilizados a fim de fazer uma releitura de termos comumente encontrados na literatura da aviação. Além disso, o presente artigo visa promover a segurança de voo, visto que uma nova forma de compreender termos como consciência e percepção será exposta aqui.

## 2.1 Comportamentos Privados

Os eventos privados, conforme aponta Skinner (2006), são eventos acessíveis só a quem os emite. São assim definidos, pois, tem como fronteira a própria pele, mas isso não os impede de ser campo de estudo em uma ciência do comportamento. Como os eventos privados não se distinguem de eventos públicos em relação a sua natureza, então é possível afirmar que os comportamentos privados são sensíveis às contingências da mesma forma que os comportamentos públicos. Em outras palavras, comportamentos privados são funções de variáveis do ambiente com que o organismo interage. Uma situação que pode ilustrar esse tipo de comportamento seria, quando um aluno em sala de aula sabe a resposta de uma questão da qual o professor faz diante de toda a turma. Contudo, por receio de comentários jocosos, como pode já ter acontecido com ele em situações anteriores, o aluno não a responde em voz alta, permanecendo acessível apenas a ele, sendo, portanto, uma resposta privada. A resposta privada do exemplo acima, para tornar-se pública, demanda uma mudança nas contingências em vigor. A seguir serão apresentadas quatro maneiras distintas de descrição de eventos privados.

Rico, Golfeto e Hamasaki (2012) apontam como a comunidade verbal, na qual o sujeito está inserido, o ensina a descrever seus estados internos de quatro maneiras distintas: 1) Modelagem do relato a partir de uma estimulação privada, com base em comportamentos públicos. Por exemplo, massagear a região das têmporas enquanto se emite alguma expressão de dor, indica um desconforto na região da cabeça. Caso outra pessoa tenha acesso a esse evento, pode sugerir um remédio para sanar tal incomodo. Em situações semelhantes futuras, a probabilidade de tomar o mesmo remédio é alta em função da consequência que ele proporcionou (alívio da dor) no passado; 2) Por meio de um evento público como, por exemplo, cortar o dedo. Tal evento pode causar sangramento e/ou vermelhidão no dedo abrindo margem para comentários relacionados à possibilidade de dor por conta desse machucado e algum tipo de desconforto advindo do corte; 3) Por meio de metáforas como, “Meu estômago está embrulhado!”, ou “Minha cabeça está a ponto de explodir!”. Nos exemplos anteriores, características físicas públicas são utilizadas para descrever possíveis estados internos; e 4) Descrever os eventos privados sem recorrer aos sentimentos ou a agentes causadores internos. Por exemplo, alguém que se encontra com raiva, pode descrever quais fatores o levaram a se sentir dessa forma. Se por um acaso, tendo pouco tempo até o inicio do horário de aula você se encontrar em um engarrafamento, isso pode fazer você se sentir da forma com que se comumente se descreve como raiva. Descrever comportamentos privados conforme as maneiras citadas acima implicam em estar “consciente” das variáveis envolvidas no comportamento do sujeito em relação a um ambiente específico. Adicionalmente, além de aprender a descrever as variáveis, esses repertórios são passíveis de refinamento conforme maior sistematização e abrangência do treino.

Muitos comportamentos estudados na aviação são considerados pela AC como privados, tais como: memória, atenção, inteligência, consciência, percepção, entre outros. Contudo, apenas os dois últimos comportamentos foram selecionados para discussão por estarem diretamente relacionados à desorientação espacial.

## 2.2 Comportamento Cônscio

O comportamento cônscio, equivalente ao que é descrito como sendo a consciência, diz respeito à descrição do próprio comportamento e das condições das quais ele é função, desta maneira, o termo é adotado para descrever essa relação de forma a enfatizar a interação organismo-ambiente e, consequentemente, a possibilidade de intervenção (SIMONASSI, 1999). O comportamento cônsio pode ser entendido por meio do seguinte exemplo: pode ser que alguém que dependa de pontos para ser aprovado em uma matéria descreva quais comportamentos são propícios para a sua aprovação tais como ler os textos, assistir as aulas com maior atenção e revisar os conteúdos ministrados em sala de aula com uma frequência maior. Em outras palavras, quando o indivíduo consegue descrever os fatores que exercem controle sobre a ocorrência do seu comportamento, pode-se dizer que ele tem consciência ou, alternativamente, emitiu um comportamento cônscio em relação a uma dada situação.

Um experimento realizado por Simonassi, Oliveira, Gosch, Silva e Souza (1997) teve como objetivo investigar o efeito de diferentes tipos de instruções sobre o comportamento de solucionar e descrever a solução de problemas. Foram utilizados 30 estudantes universitários de ambos os sexos que deveriam tocar em figuras específicas. Eram apresentados três estímulos (letra ou número) na tela do computador e duas caixas que diferiam quanto à cor (verde e vermelha). A tarefa do participante consistiu em apontar primeiro para o estímulo na tela e depois para uma das caixas. Contudo, para receber o feedback de acerto, os participantes deveriam relacionar determinados estímulos (números pares e letras minúsculas) com a caixa verde e outros estímulos (números ímpares e letras maíusculas) com a caixa vermelha. Após um determinado número de tentativas, os participantes deveriam relatar o que precisavam fazer para ganhar pontos. Os resultados mostraram que, ao longo de várias tentativas, os participantes aprenderam a resolver e descrever o problema corretamente sugerindo que os participantes apresentaram comportamento cônscio.

Simonassi, Oliveira, Gosch, Silva e Souza (1997) demonstram de modo experimental, como o que até então é descrito como uma ação direta da consciência, ou um produto da mesma, pode ser analisado em termos de comportamento, de exposição e de descrição das contingências, de um modo mais parcimonioso. A descrição sendo realizada desse modo – ou seja, destacando as variáveis que o sujeito foi exposto - implica em maior clareza das condições que exercem controle sobre o responder, enfatizando uma história de interação prévia. Assim o uso da consciência como algo autônomo, independente ou sem possibilidade de entendimento, não se faz necessária, já que fenômenos humanos podem ser estudados a partir de interação. Por

exemplo, em quadros de desorientação espacial, mudanças nas variáveis do ambiente, como aceleração angular, aceleração linear e gravidade, tem efeitos sobre o responder humano, sendo assim, a consciência pode ser entendida a partir dessa exposição às contingências e a maneira como são descritas, tendo como base uma perspectiva interacionista.

## 2.3 Comportamento Perceptivo

A percepção tem sido descrita por teorias mentalistas como sendo o ponto de contato entre o mundo físico e o mental assim como uma instância com relativa independência, ou seja, algo autônomo (LOPES; ABIB, 2002). Entretanto, a percepção, dentro do campo de estudo da AC, faz referência ao que é chamado de comportamento perceptivo, sendo necessário ao estudo desse comportamento, atentar-se para a relação entre organismo e ambiente como qualquer outro comportamento.

Evidenciando a relação de controle entre estímulos e respostas, assim destacando quais estímulos específicos controlam respostas específicas, o comportamento perceptivo dependerá dessa relação para ser compreendido (LOPES; ABIB, 2002). O comportamento em questão implica em um procedimento de condicionamento de cunho discriminativo. Em outras palavras, em certo contexto, ou estímulo específico do ambiente, adquire a função de sinalizar que alguma resposta sendo emitida em sua presença, aumenta a probabilidade da mesma ser seguida por uma consequência reforçadora.

No que tange a discriminação, é imprescindível entender o conceito quando se discute percepção. Baseado em uma história de interação prévia na qual determinada consequência do comportamento é mais provável frente a uma condição ambiental, ela adquire função de controlar uma resposta. Por exemplo, o sinal verde no semáforo funciona como estímulo discriminativo para uma resposta de começar a dirigir o carro em uma avenida. Essa função do estímulo é baseada em uma história prévia de exposição a instruções (de que na cor verde é permitida a passagem de veículos ou vendo outras pessoas dirigirem na presença da cor verde e parando diante de um sinal vermelho) e a determinadas situações (o próprio ato de dirigir).

Um estudo empírico realizado por Endermann (2008 apud RICO, GOULART, HAMASAKI e TOMANARI, 2012) ilustra a influência dos estímulos sobre o comportamento. Nesta atividade, os estudantes universitários tinham seus movimentos oculares monitorados de acordo com as imagens que eram apresentadas na tela do computador. As imagens eram iguais, no entanto, uma delas apresentava uma pequena lacuna em uma parte específica da imagem. Em um primeiro momento, a resposta de olhar as imagens era distribuída de modo randômico diante de toda a imagem até que o participante identificasse a lacuna. Posteriormente, as respostas de olhar para a imagem passaram a ser dirigidas para a lacuna da imagem e, quando uma nova imagem era apresentada, a resposta de olhar a lacuna ocorria rapidamente. Assim, os resultados sugerem que os participantes perceberam e ficaram sob controle do que era diferente entre as imagens. Ou seja, a lacuna de cada imagem passou a controlar a resposta de olhar dos participantes ou, em outras palavras, os participantes responderam de maneira discriminada às imagens.

Ao se usar o termo discriminação, a relação de controle dos estímulos em relação ao responder, se faz de modo mais claro. Já que discriminação diz respeito a um procedimento do qual um estímulo adquire função, a partir de uma história de reforçamento. Discriminar alguma condição do ambiente ou propriedade do estímulo traz inúmeras implicações para a segurança em voo.

Apesar dos dados citados e a discussão já apresentada sobre o tema da percepção ter início no campo da psicologia, eles também se fazem presentes no âmbito da aviação. Desta forma, o uso do termo discriminação ao invés de percepção se mostra pertinente. Um dos maiores acidentes aéreos do país, por exemplo, o voo Varig 254, traz a falha dos pilotos em notar que o rumo a ser seguido em rota para chegar ao destino seria o 027 e não 270 uma alteração realizada no formato do rumo magnético que era encaminhado aos pilotos por meio da ficha de voo, na qual apesar do treino, eles não perceberam de modo correto, culminou em um acidente (KALAZANS, 2011 apud DE OLIVEIRA SILVA e PONTES, 2016). Ao se interpretar o acidente a partir de uma perspectiva interacionista, é possível relacionar as respostas do piloto com as variáveis do ambiente, nesse caso respostas imprecisas que podem advir da falta de um treino prévio mais preciso frente a esse novo modelo, ou instruções mais acuradas em relação a esse modelo de aeronave e a ficha de voo.

## 2.4 Discriminação e Descrição da desorientação espacial

Usando como base a proposta de Gilbert Ryle, (apud BAUM, 2006), é necessário fazer uso de alguns termos como, por exemplo, a inteligência, de maneira distinta do que convencionalmente é usada. É fundamental tratar determinados termos como sendo rótulos de categoria. O termo inteligência, por exemplo, deve ser utilizado para nomear uma categoria que envolva comportamentos como: resolver problemas, cometer muitos acertos e poucos erros, baixa latência para solucionar o problema etc.

Essa discussão também está presente na obra de Staats e Staats (1973) que discutem como esses rótulos podem soar perigosos a quem se propõe a usá-los como causas de comportamento. Se, por exemplo, alguém se diz “ansioso”, é provável que um pesquisador analise a ansiedade como algo interno deixando de lado comportamentos tais como roer unhas, suar, tremer e falar sobre um assunto em específico de um modo pessimista, bem como as condições ambientais que o levaram a se portar assim. Destarte, o termo desorientação espacial pode ser tratado como o termo “ansiedade”, ou seja, como comportamento e não como um evento mental e autônomo. Em outras palavras, a desorientação espacial deve ser entendida como rótulo de categoria, ou seja, envolvendo a apresentação de diversos comportamentos englobados sob um mesmo rótulo. Alguns dos comportamentos

presentes na desorientação espacial como o cônscio e o perceptivo permitem comprendê-la em função do ambiente, aumentando assim a eficácia na descrição das condições que pilotos são expostos e, portanto, diminui o número de erros que causam acidentes ou incidentes graves.

A compreensão da desorientação espacial, baseado no conceito de rótulo de categoria, pode ser descrita a partir das condições ambientais, por exemplo, a falta de contraste no ambiente durante procedimentos de aproximação causados pela baixa visibilidade e predominância de uma cor, ou ainda devido a dificuldade em se estabelecer referências visuais em voos noturnos, que pode ocorrer sobre os oceanos ou nas regiões sem iluminação próximo a pista de pouso. Além das variáveis comportamentais como respostas de cunho emocional, que variam conforme o tipo de desorientação espacial (ALVES, 2008).

Ter clareza ao se definir algum conceito usado em alguma área da aviação aumenta as chances de maior segurança no ambiente aéreo, já que esse fenômeno é entendido como função de variáveis ambientais, como velociade angular e linear e a gravidade, e não como algo além dessas condições ambientais. Apesar de ser o comportamento uma das variáveis relevantes em aviação, esse não pode ser tomado como independente do contexto do qual faz parte. Assim o reconhecimento da desorientação espacial como algo análogo ao que é discutido como rótulo de categoria, destacando comportamentos na sua definição, ameniza o uso de outros constructos como percepção e consciência em sua definição, levando a maior clareza das variáveis de controle.

Rico, Golfeto e Hamasaki (2012) apontam o quarto modo de descrever eventos privados como sendo relatar às condições ambientais prévias a resposta. Skinner (2006) aponta que a descrição de estados privados sendo realizada de modo impreciso, não significa ausência de algum tipo de estimulação interna, mas que a comunidade da qual o sujeito faz parte não o ensinou de modo correto como descrever esse estado. Tendo como base os argumentos citados acima, é possível promover uma orientação que pode ser sitematizada no contexto da aviação, ou seja, entender e enfatizar as condições prévias além de reconhecer que o relato mais acurado demanda um treino mais enfático.

Ter clareza em relação a conceitos relacionados a fatores humanos, e entende-los como sendo conceitos, que cumprem uma função didática de agrupar uma série de comportamentos sob o mesmo rótulo, e reconhecer que esses conceitos são definidos a partir de interação, pode ter impactos positivos na descrição de situações em voo.

Rodrigues (2016) define desorientação espacial como sendo a perda ou imprecisão na percepção dos elementos do ambiente. Levando em conta o termo percepção, citado na própria definição dos quadros de desorientação espacial, o que até então é chamado de percepção pode ser definido como discriminação que implica em interação entre organismo e ambiente de acordo com a AC. Essa definição envolve uma perspectiva interacionista permitindo, portanto, a identificação de variáveis das quais o comportamento perceptivo é função, ou seja, quais são os estímulos que exercem controle sobre o responder de aeronavegantes.

O instrumento de voo conhecido como horizonte artificial, permite ao piloto ter acesso a certas condições, ou variáveis do ambiente, que sem ele seria impossível, tais como, atitude do avião e inclinação. Da mesma forma, a descrição de comportamentos sendo realizadas de modo funcional, ou seja, descrevendo quais variáveis o comportamento do piloto é função, implica em maior segurança em voo. Por exemplo, uma situação fictícia, mas ilustrativa seria, em ambiente aéreo, dentro do *cockpit,* uma luz vermelha pisca quando existe determinada falha operacional, em um voo essa luz acaba sendo acionada, mas o piloto e o copiloto não respondem a ela, culminando em um acidente aéreo. As explicações podem ser feitas partindo de duas perspecticas: a) Uma explicação que enfatiza o piloto, apontando que ele não notou a luz vermelha; b) Uma explicação em termos de variáveis de controle tal como: a intensidade da luz é imperceptível a olho humano, ou o treinamento é insuficiente para esse tipo de operação.

A mesma discussão acima, voltada à percepção, pode ser aplicada ao termo consciência, definido como o comportamento de descrever as variáveis que exercem controle sobre o responder (SIMONASSI, 1999). Falar acerca de descrição de variáveis torna mais parcimoniosa a compreensão e explicação de situações em voo, uma vez que a consciência em AC não é vista como causadora de comportamentos. Emitir comportamento cônscio, então, envolve descrever o ambiente da cabine, os parâmetros e instrumentos, a atitude de voo, etc.

Quanto às operações *single-pilot*, todos os pilares descritos no SRM são formas de induzi-los a ficarem sob controle de determinados estímulos presentes em tal tipo de operação. O argumento de Simonassi (1999) de que consciência é a descrição do comportamento e as variáveis que o controlam é visto de um modo mais claro frente a um contexto específico como o do SRM. Aumentar a probabilidade de o comportamento do piloto ficar sob controle da situação é mais seguro do que simplesmente esperar que as situações sejam internalizadas pelo piloto para garantir a segurança de voo.

Por fim, a proposta do estudo de fenômenos presentes na aviação através da perspectiva Analítico Comportamental implica em tratar fenômenos como sendo sensíveis ao contexto que fazem parte. Logo, possibilidades de manipulações de variáveis ambientais culminam em maior controle e previsão de fenômenos que estejam, eles, presentes na aviação ou em qualquer outro contexto.

As variáveis ambientais que podem ser melhores descritas em prol de maior segurança em voo, são aspectos do ambiente, dos mais diversos que exercem o controle sobre o comportamento. Uma situação ilustrativa pode ser a de um copiloto que muitas vezes não se impõem, não contradiz ou contra argumenta o comandante da aeronave, o que é um risco considerável no ambiente da aviação. A postura passiva desse copiloto no ambiente de cabine pode ser definida em termos de personalidade. O copiloto

age dessa forma devido a sua personalidade, e a sua personalidade é assim definida a partir do modo como ele se comporta. Essa forma de descrever comportamentos é definida por Baum (2006), como modo de explicação circular, no qual o comportamento é a justificativa para a existencia da personalidade e o próprio comportamento é resultado da personalidade, o que não aponta as reais causas desse comportamento. Outra maneira de entender o comportamento do copiloto é avaliar quais as variáveis que exercem controle sob ele. Por não se impor frente ao comandante, pode ser que, em uma situação passada na qual ele tentou contra argumentar, essa resposta foi seguida de punição por parte do comandante, provocando assim uma repressão. Esse episódio pode ser entendido pela literatura da AC quando se discute a punição, sendo assim definida por Moreira e Medeiros (2007) pela diminuição da frequência de uma resposta, nesse caso se impor diante de alguma situação.

O exemplo descrito acima é ilustrativo, porém a relação que ele descreve é passível de variadas generalizações no contexto da aviação, e no que tange a fenômenos humanos. O modo de descrever eventos baseados em variáveis ambientais, entendendo a relação entre elas como determinantes no comportamento humano, pode levar ao esclarecimento e identificação de novas variáveis no ambiente aéreo. Assim como aponta o experimento conduzido por Simonassi e col. (1997) e a forma como seus dados podem ser discutidos, "consciência", ou de modo mais parcimonioso, comportamento cônscio, implica em exposição às contingências, e a descrição das variáveis que controlam seu comportamento. Com isso é essencial que a aviação adote uma perspectiva interacionista, em prol de maior segurança em voo.

## 3 CONCLUSÃO

Baseado no que foi descrito no decorrer do artigo, é possível afirmar que os dados e a proposta de releitura dos conceitos usados em contexto da aviação, baseada nas propostas filosóficas da AC podem contribuir para uma melhor compreensão de determinados fenômenos vivenciados pelos pilotos. O quadro de desorientação espacial é um exemplo de um possível campo de intervenção, no entanto, mais estudos teóricos devem ser realizados com o intuito de aplicar a AC em outros fenômenos comumente presentes na aviação que podem colocar a segurança de voo em risco. A sistematização de discussões como essa, envolvendo comportamento e suas causas, deve ser incluída no treino de pessoas engajadas no âmbito da aviação, visando ao desenvolvimento de uma cultura que valorize e entenda o valor e as implicações de perspectivas de cunho funcionais.

## REFERÊNCIAS


Alves, C. V. **Desenvolvimento de um sistema para quantificação da desorientação espacial**. 2008. 244 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

BAUM, William M. **Compreender o behaviorismo**. Artmed Editora, 2006.

CARRARA, Kester. Causalidade, relações funcionais e contextualismo: algumas indagações a partir do behaviorismo radical. **Interações**, v. 9, n. 17, 2004.

CARVALHO NETO, Marcus Bentes. Análise do comportamento: behaviorismo radical, análise experimental do comportamento e análise aplicada do comportamento. **Interação (Curitiba)**, p. 13-18, 2002.

CUNHA, L. F. e Conceição F. C. (2013). Habilidades Sociais em militares de um esquadrão de Helicópteros da Marinha do Brasil.

DE CARVALHO NETO, Marcus Bentes; TOURINHO, Emmanuel Zagury. Skinner e o lugar das variáveis biológicas em uma explicação comportamental. **Psicologia: teoria e pesquisa**, v. 15, n. 1, p. 045-053, 2012.

DE OLIVEIRA SILVA, Gustavo Rodrigues; PONTES, Thaissa Neves R. **Comunicação no Contexto da Aviação**: **Contribuições da Psicologia**. Revista Conexão SIPAER, v. 8, n. 2, p. 33-40, 2017.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Single PilotCrewResource Management 2015. Disponível em :<https://www.faa.gov/news/safety_briefing/2015/media/SE_Topic_15_03.pdf>.

HÜBNER, Maria Martha Costa; MOREIRA, Márcio Borges. **Temas clássicos da psicologia sob a ótica da análise do comportamento**. Grupo Gen-Guanabara Koogan, 2000.

KELLER, Fred S.; SCHOENFELD, Willian N. Princípios de psicologia. **Tradução de Carolina Bori e Rodolpho Azzi. São Paulo. EPU–Editora Pedagógica Universitária. Trabalho publicado originalmente em**, 1950.

LOPES, Carlos Eduardo; ABIB, José Antônio Damásio. Teoria da percepção no behaviorismo radical. **Psicologia: teoria e pesquisa**, v. 18, n. 2, p. 129-137, 2002.

LAURENTI, Carolina. Criatividade, liberdade e dignidade: impactos do darwinismo no behaviorismo radical Carolina Laurenti. **Scientiae Studia**, v. 7, n. 2, p. 251-269, 2009.

LEVY, Thales. Proposta de Aplicação do SRM (Single-pilot Resource Management) e Padronização do Segmento Privado da Aviação no Brasil. **Revista Conexão SIPAER**, v. 8, n. 2, p. 108-120, 2017.

MOREIRA, Márcio Borges e MEDEIROS Carlos Augusto. **Princípios básicos da análise do comportamento.** Artmed Editora, 2007

RODRIGUES, Ana Martins. Desorientação espacial de causa vestibular na aviação. 2016 Tese (Mestrado Integrado em Medicina)- Faculdade de Medicina, Universidade de Lisboa.

SANTI, Stefan. *Fatores humanos como causas contribuintes para acidentes e incidentes aeronáuticos na aviação geral*. 2009. Monografia – Universidade de Brasilia, 2011.

STAATS, Arthur W.; STAATS, Carolyn K. Comportamento humano complexo. **São Paulo: EPU**, 1973.

STARLING**,** Roosevelt. R. (2004). Produção de Conhecimento e ciência natural- tudo que é sólido pode se desmanchar no ar. In Brandão, M. Z. & Cols. (orgs.). Sobre Comportamento e Cognição. Vol. 14, (84-119). Santo André: Esetec.

**S**KINNER, Burrhus Frederic. Seleção por conseqüências. **Revista Brasileira de Terapia Comportamental e Cognitiva**, v. 9, n. 1, p. 129-137, 2007.

SKINNER, Burrhus Frederic. Sobre o behaviorismo. Tradução de Maria da Penha Villalobos. São Paulo: Cultrix, 2006.

**S**KINNER, Burrhus Frederic. **Ciência e comportamento humano**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

SMITH, N. W. (2007). Events and constructs. *The Psychological Record*, *57*(2), 169-186. Tradução disponíve em http://puclaec.wixsite.com/puclaec/arquivo

SIMONASSI, Lorismario Ernesto et al. Instruções: efeito sobre solução de problema e formulação de regras. **Temas em Psicologia**, v. 5, n. 1, p. 79-92, 1997.

SIMONASSI, Lorismário Ernesto. Cognição: Contato com contingências e regras. **Revista Brasileira de Terapia Comportamental e Cognitiva**, v. 1, n. 1, p. 83-93, 1999.

**S**KINNER, Burrhus Frederic. Sobre o behaviorismo. Tradução de Maria da Penha Villalobos. 10 ed. São Paulo, Cultrix, 2006

**T**ODOROV, João Cláudio. A Psicologia como o estudo de interações. **Psicol. teor. pesqui**, v. 23, n. esp, p. 57-61, 2007.

TOURINHO, Emmanuel Zagury. Estudos conceituais na análise do comportamento. **Temas em Psicologia**, v. 7, n. 3, p. 213-222, 1999.

....

# Análise da Compreensão de Pilotos: Uma Ferramenta de Prevenção de Acidentes

*Pedro Nolasco Duarte* [1]

1 Segundo Serviço Regional de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – SERIPA II

**BIOGRAFIA:**

O Capitão Aviador Pedro Nolasco Duarte é especialista em Gestão Pública e Emprego da Força Aérea pela Universidade da Força Aérea. Concluiu o Curso de Formação de Oficiais Aviadores em 2006, na Academia da Força Aérea. Serviu entre os anos de 2008 e 2016 no Primeiro Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação (1º/6º GAV). Possui os Cursos de Prevenção e Investigação de Acidentes Aeronáuticos pelo CENIPA e, atualmente, é o Chefe da Seção de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos do SERIPA II.

**RESUMO:** Existe uma tendência de se associar a atividade aérea ao domínio psicomotor, entretanto, o domínio cognitivo, quando relegado, pode desencadear uma ocorrência aeronáutica. Por tal motivo, o presente artigo expõe o estudo que propôs o uso de ferramentas de gerenciamento de risco para analisar a compreensão (segundo os conceitos de Mica Endsley sobre consciência situacional) dos pilotos do 1º/6º GAV acerca dos fatores de risco na decolagem do Learjet 35A (R-35A). Para atingir tal objetivo, inicialmente foi necessário identificar, por meio de uma pesquisa documental, os fatores de risco da decolagem do R-35A. Depois de identificados, os fatores de risco foram submetidos ao arranjo de matrizes proposto por Brasiliano e Gava com o intuito de classificá-los pelo grau de motricidade (grau de influência). Feita a classificação, foi realizado um levantamento com os pilotos da Unidade Aérea para identificar a sua compreensão acerca dos fatores de risco na decolagem. Com os dados em mãos, foi possível fazer uma comparação e concluir que os pilotos possuem uma boa compreensão acerca do grau de motricidade da "altitude-densidade", do "comprimento de pista" e da "temperatura do ar atmosférico"; uma compreensão adequada do "peso de decolagem" e uma compreensão inadequada da "posição dos flapes"

**Palavras Chave:** Análise de Risco. Consciência Situacional. Decolagem.

# Pilot Understanding Analysis: A Tool to Prevent Accidents

**ABSTRACT**: There is a tendency to associate air activity with the psychomotor domain; however, the cognitive domain, when neglected, may trigger an aeronautical occurrence. For this reason, the present article presents a study proposing the utilization of risk management tools to analyze (in accordance with the concepts of Mica Endsley on Situational Awareness) the understanding of the 1º/6º GAV pilots on the risks associated with the takeoff of the Learjet 35A (R-35A). In order to achieve this objective, it was initially necessary to identify, through documentary research, the risk factors for the take-off of the R-35A. Once identified, the risk factors were submitted to the array of matrices proposed by Brasiliano and Gava aiming to classify them by their degree of motricity (degree of influence). Once the classification was made, a survey was conducted with the pilots of the Air Unit to identify their understanding of the risk factors at takeoff. With the data at hand, it was possible to make a comparison, and conclude that the pilots have a good understanding of the degree of motricity of "density-altitude", "runway length" and "atmospheric air temperature"; an adequate understanding of "takeoff weight"; and an inadequate understanding of "flap position".

**Keywords:** Risk Analysis. Situational Awareness. Takeoff.

**Citação:** Duarte, PN. (2018) Análise da Compreensão de Pilotos: Uma Ferramenta de Prevenção de Acidentes. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 41-49

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No período em que serviu no 1º/6º GAV, o autor exerceu, entre outras, a função de Oficial de Doutrina e instrutor da aula de "Performance" no Curso Teórico da Aeronave R-35A.

Durante os cursos teóricos, foi notada certa dificuldade dos alunos em entender a influência dos fatores de planejamento para a execução de uma decolagem. Tal observação gerou inquietação, pois, a compreensão inadequada desses fatores pode degradar o nível de segurança de voo na execução da manobra.

Importante ressaltar que no período de 1996 a 2015, a decolagem foi a fase do voo na qual ocorreu o maior número de acidentes na aviação brasileira, correspondendo a 19,09% do total (ALMEIDA et al., 2016).

Uma decisão correta é baseada na compreensão adequada dos riscos que permeiam a fase do voo na qual a aeronave se encontra. Entretanto, em uma atividade caracterizada por múltiplas ações, como a operação de uma aeronave a jato, os riscos são sistêmicos e apresentam determinado grau de motricidade. O grau de motricidade é definido por Brasiliano (2008) como a influência de um fator de risco sobre o contexto. Portanto, infere-se que se o piloto compreende o quanto os fatores de risco

influenciam o ambiente em que se encontra, maiores são as chances de formar o modelo mental correto (ENDSLEY, 1995) e, consequentemente, maior a possibilidade de se obter sucesso na execução da manobra.

Isto posto, o presente trabalho se propôs a elucidar o seguinte problema de pesquisa: como é a compreensão dos pilotos do 1º/6º GAV acerca do grau de motricidade dos fatores de risco da decolagem do R-35A?

Assim sendo, esta obra tem como objetivo geral analisar a compreensão dos pilotos do 1º/6º GAV acerca do grau de motricidade dos fatores de risco na decolagem do R-35A.

Para atingir o objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos: Identificar os fatores de risco na decolagem do R-35A; Identificar o grau de motricidade dos fatores de risco na decolagem do R-35A; Identificar a compreensão dos pilotos do 1º/6º GAV acerca dos fatores de risco da decolagem do R-35A.

Esta pesquisa revestiu-se de grande importância para a Doutrina de Emprego da Força Aérea, uma vez que possibilitou identificar fatores de risco na operação da aeronave Learjet 35A do 1º/6º GAV, tornando-a mais segura e evitando perdas de vidas humanas e de recursos materiais de alto valor.

## 2 BASE TEÓRICA

Existe uma tendência de se associar a atividade aérea ao domínio psicomotor, entretanto, o domínio cognitivo do piloto pode ter grande influência no desencadeamento dos fatos que levam a uma ocorrência aeronáutica (BERTO, 2009). Por tal motivo, a cognição do piloto merece atenção dos elos do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER) para a realização das atividades de prevenção.

Com base nas leituras realizadas, inferiu-se que o voo de uma aeronave possui diversos riscos inerentes. Por conseguinte, a capacidade do piloto de corretamente identificar tais riscos e gerenciá-los (domínio cognitivo), serve como subsídio para um correto processo de tomada de decisão e aumenta consideravelmente o nível de segurança de voo.

Tal capacidade de identificar e gerenciar os riscos é uma característica desejável no piloto de R-35A, pois, trata-se de uma aeronave com motor a reação que demanda reações oportunas frente aos riscos que permeiam sua operação.

Entende-se por risco como a condição que aumenta ou diminui o potencial de perdas, ou seja, o risco é a condição existente. Com base nesta condição de segurança ou de insegurança é que há maior ou menor chance de o perigo se concretizar (BRASILIANO, 2008).

Uma ferramenta de prevenção já consagrada no âmbito do SIPAER é o Gerenciamento do Risco (BRASIL, 2013). Fazendo-se a correta identificação dos fatores de risco, tal ferramenta é perfeitamente aplicável à operação do R-35A.

Ainda sobre domínio cognitivo, deve-se despender especial importância ao estudo de performance e aerodinâmica. Com esses conhecimentos bem sedimentados, o piloto será capaz de entender a influência de fatores como o peso, condições atmosféricas, condições da pista e as leis da física sobre a aeronave (FAA, 2016).

Neste contexto, os pilotos de R-35A devem dar atenção para o estudo dos fatores de planejamento da decolagem, pois a manobra exige um planejamento preciso, dada a sua pequena margem de tolerância ao erro.

Esse entendimento dos fatores de risco vai ao encontro da descrição de Endsley (1995) para a Consciência Situacional (CS). A autora descreve o fenômeno como a percepção dos elementos do ambiente dentro de um volume de espaço e tempo, a compreensão de seus significados e a projeção do seu estado em um futuro próximo. A teórica, ainda, divide o fenômeno em três níveis: Percepção, Compreensão e Projeção.

No primeiro nível, a percepção, Endsley (1995) postula que o piloto deve perceber o estado, atributos e a dinâmica dos elementos relevantes do ambiente. Nesse nível, o principal aspecto a ser considerado é a correta identificação dos elementos relevantes para o contexto.

O segundo nível, a compreensão, segundo a teórica, envolve o entendimento do piloto de como elementos identificados no nível 1 influenciam para a consecução dos objetivos definidos.

Já no terceiro nível, a projeção, a estudiosa define que é a habilidade do piloto em projetar as ações futuras dos elementos no ambiente, pelo menos, em um futuro próximo.

O presente trabalho analisou somente o nível 2 do modelo de CS proposto por Endsley (1995) visto que o escopo do trabalho foi verificar, por meio de uma ferramenta de gerenciamento de risco, se os pilotos do 1º/6º GAV eram capazes de montar corretamente o modelo mental recomendado pela autora, diante de um cenário proposto (no caso, a decolagem), fazendo uso do domínio cognitivo, conforme postulado por Berto (2009).

## 3 METODOLOGIA

Brasiliano (2008, 2009) propõe em seus estudos diversos métodos de identificação, análise, avaliação e monitoramento de riscos que são aplicáveis nos mais diversos cenários.

Para a realização deste trabalho, os fatores de risco foram submetidos ao seguinte arranjo de matrizes proposto por Gava (2011, p. 51):

> Este arranjo [...] Matriz de Impactos Cruzados e Matriz de Vulnerabilidade para classificação - apresenta-se como um método efetivo de análise avançada de fatores de risco à atividade aérea, pois deixa claro quais fatores são os mais influenciadores dos demais e, dessa forma, torna possível priorizar as medidas mitigadoras a fim de economizar tempo e recursos.

A Matriz de Impactos Cruzados (MIC) é a técnica empregada por Brasiliano (2009) para a construção de cenários, adaptada para avaliar a influência de um fator de risco sobre outros fatores de risco.

A MIC (Figura 1) é confeccionada com base na lista de pertinência *versus* probabilidade dos fatores de riscos. Estes são dispostos em uma configuração matricial, com o eixo horizontal significando as forças motrizes e o vertical as dependências. A diagonal principal da matriz é inutilizada. Os dados entram sempre na vertical, ou seja, de cima para baixo, onde é colocado um peso (valor numérico em uma escala ajustada) que representa a influência de cada evento coluna sobre a probabilidade incondicional do evento linha. A matriz de Impactos Cruzados deve ser preenchida, utilizando-se uma tabela, que permite que se atribuam valores de 0 a 3, para quantificar o efeito (impacto) que a ocorrência do evento destacado poderá causar sobre as probabilidades de ocorrência dos demais eventos (BRASILIANO, 2009).

| | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| x2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 4 |
| x3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| x4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| x5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| x6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| M | 1 | 4 | 3 | 2 | 5 | 4 | |

**D = Dependência M = Motricidade**

| Influência | Nota |
|---|---|
| ALTA | 3 |
| MÉDIA | 2 |
| BAIXA | 1 |
| NÃO INTERFERE | 0 |

**Figura 1** – Matriz de Impactos Cruzados e Quadro de Valores
**Fonte:** Brasiliano (2009, p.34)

A Matriz de Vulnerabilidade (MVul) é a técnica empregada para, a partir dos dados obtidos na MIC, elaborar a disposição gráfica da motricidade versus dependência. Para tanto, basta calcular os pontos médios de motricidade e de dependência, aplicando as fórmulas a seguir, e construir o gráfico onde o eixo das abcissas corresponde aos valores de dependência e o eixo das ordenadas aos de motricidade (BRASILIANO, 2009).

$$PM = \frac{VM + vM}{2} \quad \text{e} \quad PD = \frac{VD + vD}{2}$$

*Onde:*

*PM – Ponto médio da Motricidade*

*PD – Ponto médio da Dependência*

*VM – Valor mais alto da Motricidade*

*VD – Valor mais alto da Dependência*

*vM – Valor mais baixo da Motricidade*

*vD – Valor mais baixo da Dependência*

Para analisar a MVul (Figura 2), o autor preconiza que devem ser observados os quadrantes da representação gráfica da motricidade versus dependência.

As variáveis motrizes (quadrante II) são as que condicionam o restante do sistema. Ou seja, uma mudança nessas variáveis acarreta em mudanças nas demais variáveis do sistema. Entretanto, as mudanças das demais variáveis não influenciam no comportamento das variáveis motrizes (BRASILIANO, 2009)

Já as variáveis de ligação (quadrante I) são muito motrizes, mas têm grande dependência das demais. Se diferem das variáveis motrizes por apresentarem variação em caso de mudança das demais variáveis. São as que fazem a ligação entre as variáveis motrizes e as dependentes (quadrante III) (BRASILIANO, 2009).

As variáveis dependentes (quadrante III) são pouco motrizes e muito dependentes, seu comportamento é explicado pela mudança das variáveis motrizes e de ligação (BRASILIANO, 2009).

Já as variáveis independentes (quadrante IV) são aquelas pouco motrizes e pouco dependentes, ou seja, não influenciam nem são muito influenciadas pela mudança das demais variáveis (BRASILIANO, 2009).

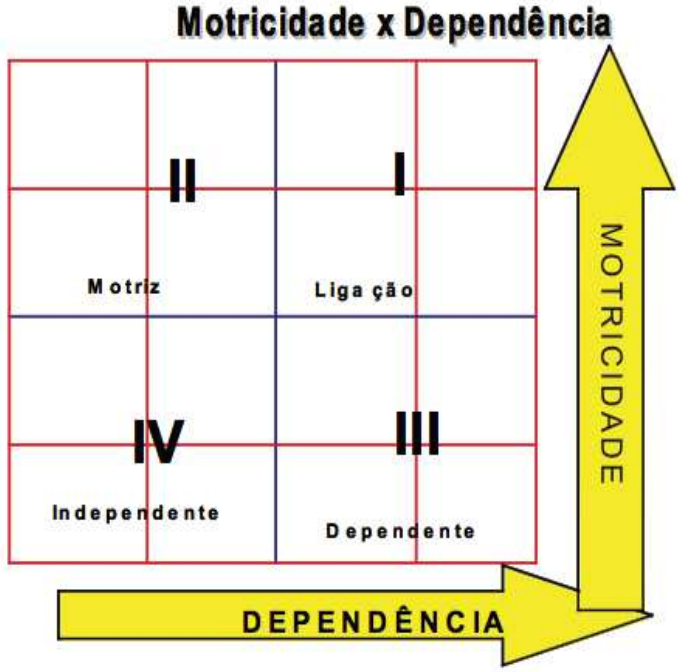



**Figura 2** – Matriz de Vulnerabilidade (Motricidade versus Dependência)
**Fonte:** Brasiliano (2009, p.35)

Para identificação e análise dos riscos, Brasiliano (2009) recomenda que tais atividades devem ser realizadas por equipes multidisciplinares por meio da técnica do *brainstorming*[1].

Conforme anteriormente citado, a identificação dos riscos foi realizada por meio de uma pesquisa documental. Entretanto, para a quantificação e análise dos riscos, foi formada uma equipe de especialistas composta pelo autor e dois ex-pilotos com larga experiência na aeronave.

O autor e os especialistas consideraram os fatores de risco e os submeteram ao arranjo de matrizes proposto, chegando a uma matriz de referência que foi utilizada como parâmetro para análise da compreensão dos pilotos do 1º/6º GAV.

Com o objetivo de identificar a compreensão dos pilotos acerca dos fatores de risco na decolagem e, assim, cumprir o terceiro objetivo específico, foi realizado um levantamento (GIL, 2002) por meio de um questionário com os 12 pilotos do quadro de tripulantes (QT) do 1º/6º GAV.

Antes de ser submetido ao QT, foi realizado um pré-teste do questionário com os especialistas e mais um ex-integrante do 1º/6º GAV que não havia participado do estudo. Após a realização de ajustes para o melhor entendimento das perguntas, o questionário foi enviado aos pilotos do QT.

O questionário foi respondido de forma simultânea e sem consulta por todos os pilotos do QT. Desta forma, evitou-se distorções nos resultados pela comunicação entre os pilotos ou pela consulta aos manuais.

As respostas dos pilotos foram submetidas ao mesmo arranjo de matrizes (MIC e MVul) do estudo realizado pelo autor em conjunto com os especialistas, no intuito de se obter uma representação gráfica semelhante.

Ao término, foi realizada uma análise qualitativa dos dados por meio de uma comparação da MVul, montada a partir das respostas dos especialistas, com a MVul montada com base nas respostas dos pilotos do 1º/6º GAV.

Na comparação, quanto aos fatores que permaneceram na mesma posição na representação gráfica, pôde-se afirmar que os pilotos possuíam uma boa compreensão. Já quanto aos fatores que mudaram de posição, pôde-se dizer que os pilotos possuíam uma compreensão adequada ou inadequada, de acordo com a análise feita caso a caso.

Uma limitação da pesquisa é o pequeno universo em que foi realizada (somente os pilotos do 1º/6º GAV). Tal limitação foi necessária pelo fato de a Unidade Aérea ser a única operadora na FAB do Learjet 35A em versão de Reconhecimento Aéreo. Entretanto, tal limitação não diminui a importância da pesquisa, pois toda atividade de prevenção que evite um único acidente é valida, de acordo com o princípio do SIPAER de que "todo acidente pode e deve ser evitado" (BRASIL, 2013).

[1] Atividade desenvolvida para explorar a potencialidade criativa de um indivíduo ou de um grupo colocando-a a serviço de objetivos pré-determinados.

Outra limitação é quanto à falta da análise do nível 3 (Projeção) dos pilotos. Esta se deu pelo fato do escopo do presente trabalho se resumir a, com o uso de uma eficiente ferramenta de prospecção de cenários, verificar a capacidade de compreensão dos pilotos.

## 4 ANÁLISE DOS DADOS

### 4.1 Identificação dos Fatores de Risco na Decolagem do R-35ª

O primeiro passo para a resolução do problema de pesquisa foi identificar quais são os fatores de risco na decolagem do R-35A do 1º/6º GAV. Para tal, foi realizada uma pesquisa documental nas principais publicações técnicas da aeronave: o *Airplane Flight Manual* (*AFM*) e o *Pilot`s Manual*.

Na seção de performance do *AFM*, o fabricante descreve os fatores de planejamento da decolagem da seguinte forma:

> As cartas neste manual são apresentadas para os ajustes de 8º ou 20º de flapes em termos de altitude, temperatura, peso, vento, gradiente de pista, *anti-skid* ligado ou desligado e sistemas de *anti-ice* ligados ou desligados. (BOMBARDIER, 1984, pag. 5-33, tradução nossa)

Os fatores elencados pelo fabricante podem ser considerados como fatores de risco (BRASILIANO, 2008) para todos os cenários possíveis de operação da aeronave. Entretanto, considerando a realidade do tipo de operação do 1º/6º GAV, alguns desses fatores podem ser desconsiderados.

Para identificar quais desses fatores elencados pelo fabricante devem ser observados pelos pilotos do 1º/6º GAV, ressaltada a realidade da operação rotineira da aeronave, foi realizada uma consulta ao Manual do Piloto do 1º/6º GAV, onde havia o "Cartão de Decolagem" (Figura 3).

No "Cartão de Decolagem", entre outras informações importantes, foi possível identificar quais dos fatores de planejamento elencados pelo fabricante, a Subseção de Doutrina, responsável pelas padronizações operacionais da Unidade, selecionou como indispensáveis para a operação segura da aeronave.

Os fatores de planejamento identificados como reais fatores de risco para a operação foram: **Altitude-Densidade** (Altit.), **Temperatura do Ar Atmosférico** (Temp. ºC), **Peso** (TOGW), **Pista** (Rwy+7%/Rwy+300ft e Rwy ACTUAL) e **Posição dos Flapes** (FLAPS).

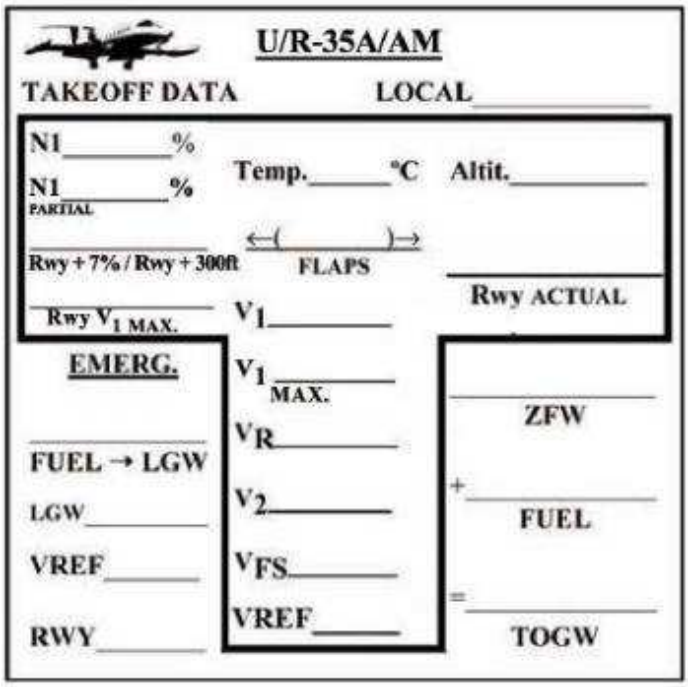



**Figura 3** – Cartão de Decolagem do 1º/6º GAV
**Fonte**: Brasil (2016a, p.22)

Desta maneira, foram identificados os fatores de risco na decolagem do R-35A do 1º/6º GAV, atingindo o primeiro objetivo específico da pesquisa que, segundo Brasiliano (2008), é a primeira fase de uma análise de riscos.

### 4.2 Identificação do Grau de Motricidade dos Fatores de Risco na Decolagem do R-35ª

Identificados os fatores de risco na decolagem do R-35A, o passo seguinte foi identificar o seu grau de motricidade. Brasiliano (2009) preconiza que a identificação e análise dos riscos deve ser, preferencialmente, realizada por uma equipe

multidisciplinar. No presente estudo, a identificação dos fatores foi realizada por meio de pesquisa documental. Entretanto, para realizar a análise, foi formada uma equipe de especialistas com dois ex-pilotos experientes na plataforma e o autor.

Os fatores identificados foram submetidos ao arranjo de matrizes proposto por Gava (2011) e após discussão e análise chegou-se aos resultados explicitados no Quadro 4 e na Figura 5. A partir da MVul dos fatores de risco, aplicando o Método Brasiliano de Análise, foi possível chegar a algumas conclusões.

| | Altitude-Densidade | Temperatura do Ar Atmosférico | Peso | Pista | Posição dos Flapes | Dependência |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Altitude-Densidade | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temperatura do Ar Atmosférico | 2 | | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Peso | 3 | 2 | | 2 | 3 | 10 |
| Pista | 3 | 3 | 2 | | 2 | 10 |
| Posição dos Flapes | 1 | 1 | 1 | 2 | | 5 |
| Motricidade | 9 | 6 | 3 | 4 | 5 | PM=6 PD=5,5 |

**Quadro 4** – MIC dos Fatores de Risco da Decolagem do *Learjet* 35ª
**Fonte:** O autor

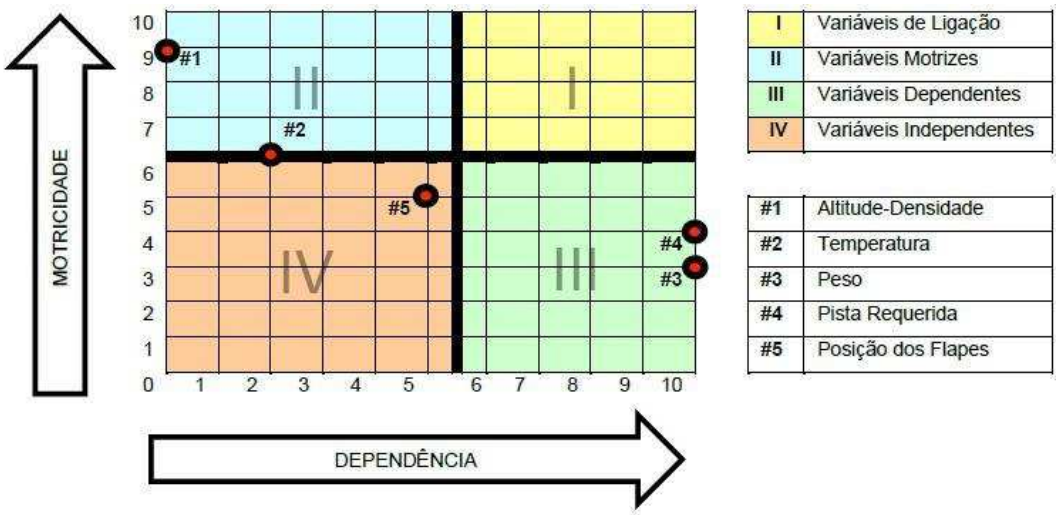



**Figura 5** – MVul dos Fatores de Risco da Decolagem do R-35ª
**Fonte:** O autor.

A "altitude-densidade" se encontra no quadrante das variáveis motrizes. Pela sua posição no gráfico, concluiu-se que é uma variável totalmente motriz e não sofre nenhuma influência das demais.

A "temperatura do ar atmosférico" se encontra sobre o eixo motriz e sofre influência somente da altitude-densidade. Concluiu-se que a temperatura também é uma variável que gera grande influência sobre o sistema.

As variáveis "peso" e "pista" estão no quadrante das variáveis dependentes. Concluiu-se que são variáveis que sofrem grande influência das demais.

No quadrante das variáveis independentes, porém próximo ao eixo de dependência e ao eixo motriz, encontra-se a "posição dos flapes". Concluiu-se que é uma variável que sofre influência das demais, contudo também exerce considerável influência sobre o sistema.

A análise dos especialistas representou com fidedignidade o planejamento da decolagem do Learjet 35A, pois segundo o fabricante, diante de dados de altitude e temperatura, o piloto deve fazer o julgamento da posição dos flapes e calcular o peso de decolagem e a pista requerida nas tabelas e gráficos de acordo com as necessidades (BOMBARDIER, 1984).

Notou-se que das decisões que o piloto deve tomar, uma das mais importantes é a posição dos flapes, pois sua deflexão aumenta tanto a sustentação como o arrasto induzido influenciando as características de performance da aeronave (FAA, 2016). Especialmente em condições marginais de operação como pistas curtas em altas altitudes sob elevada temperatura, o entendimento de como os flapes influenciam na performance pode ser a diferença entre uma manobra bem-sucedida ou um grave acidente aeronáutico.

Desta forma, foi identificado o grau de motricidade dos fatores de risco da decolagem do R-35A sob a luz do Método Brasiliano de Análise de Riscos. Atingiu-se, assim, o segundo objetivo específico cujo cerne foi analisar a influência dos fatores

no sistema, montando um cenário que serviu de padrão para averiguar a capacidade dos pilotos do 1º/6º GAV em montar o modelo mental correto segundo a teoria de Endsley (1995) de Consciência Situacional.

### 4.3 Identificação da Compreensão dos Pilotos dos Fatores de Risco na Decolagem do R-35ª

Apontado o grau de motricidade dos fatores de risco da decolagem do R-35A, o passo seguinte da pesquisa foi identificar a compreensão dos pilotos do 1º/6º GAV acerca desses fatores.

Para atingir tal objetivo, foi aplicado um questionário nos doze pilotos do QT do 1º/6º GAV de forma simultânea e sem consulta. A partir das respostas, foi possível montar uma MIC (Quadro 6) e uma MVul (Figura 7) cumprindo o OE3.

A partir da comparação da MVul dos pilotos com a MVul dos especialistas, sob a luz do Método Brasiliano (2009), foi possível fazer inferências e chegar a resolução do problema de pesquisa.

| | Altitude-Densidade | Temperatura do Ar Atmosférico | Peso | Pista | Posição dos Flapes | Dependência |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Altitude-Densidade | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temperatura do Ar Atmosférico | 2 | | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Peso | 2 | 2 | | 2 | 2 | 8 |
| Pista | 2 | 3 | 3 | | 2 | 10 |
| Posição dos Flapes | 2 | 1 | 2 | 2 | | 7 |
| Motricidade | 8 | 6 | 5 | 4 | 4 | PM=6<br>PD=5,5 |

**Quadro 6** – MIC preenchida pelos Pilotos do 1º/6º GAV
**Fonte:** O autor.

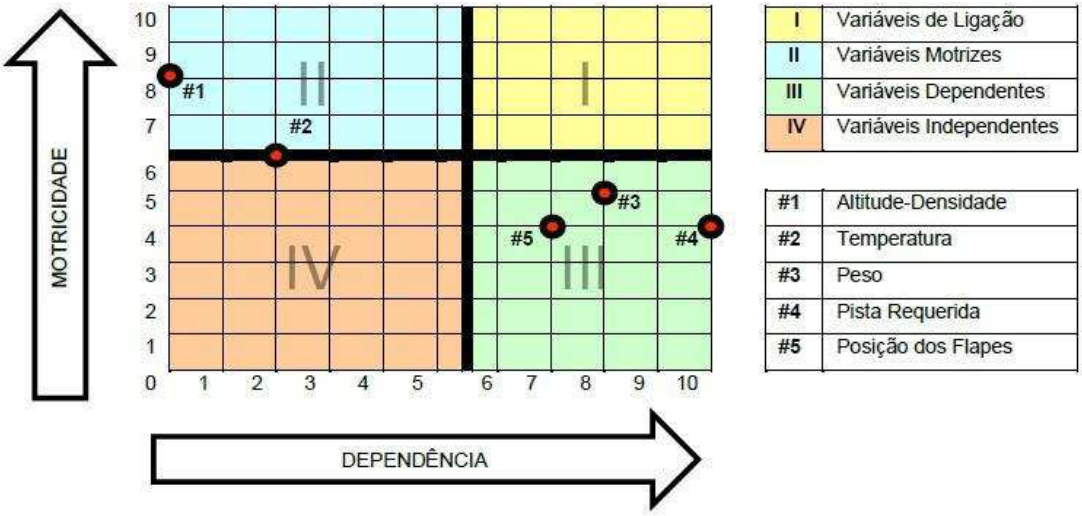



**Figura 7** – MVul do preenchimento dos Pilotos do 1º/6º GAV
**Fonte:** O autor.

### 4.4 Análise da Compreensão dos Pilotos acerca do grau de motricidade dos Fatores de Risco na Decolagem do R-35ª

Brasiliano (2009) preconiza que, inicialmente, deve-se observar se as variáveis mantiveram seus respectivos quadrantes e, após, deve-se observar a posição das variáveis na representação gráfica.

Diante das observações, foi possível inferir que os pilotos possuem uma boa compreensão da influência da "temperatura" e "comprimento de pista" para o cenário, pois estas se mantiveram na mesma posição do gráfico.

Quanto à "altitude", uma variável motriz, observou-se um ponto a menos de motricidade. Tal variação é aceitável, visto que não houve inversão de como a variável se comporta no sistema. Dessa maneira, inferiu-se que os pilotos também possuem uma boa compreensão da influência dessa variável para o cenário.

No tocante ao "peso", notou-se que a variável aumentou sua motricidade e diminuiu sua dependência. Tal mudança demonstra uma superestimação da influência da variável para o sistema. A superestimação denota uma maior preocupação com a influência da variável para o cenário o que levou a crer que os pilotos têm um cuidado maior que o necessário para definir o

peso da aeronave para a decolagem. Apesar de não ser a compreensão ideal de acordo com os especialistas, a compreensão dos pilotos é adequada por ser mais conservadora.

Analisando a "posição dos flapes", observou-se que a variável mudou de quadrante, diminuiu sua motricidade e aumentou sua dependência. Tal observação é preocupante porque houve a subestimação da variável para o sistema e, como anteriormente dito, o julgamento dos flapes é uma das decisões mais importante que o piloto deve fazer, especialmente quando operando em condições marginais.

Deste modo, concluiu-se que a compreensão dos pilotos do 1º/6º GAV acerca do grau de motricidade dos fatores de risco está adequada, com exceção da "posição dos flapes". Entretanto, tal deficiência pode ser resolvida com a realização de aulas de performance e aerodinâmica, ressaltando a influência dos flapes na decolagem, no intuito de elevar o nível de segurança na execução da manobra.

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho de Berto (2009) o qual constatou que em 50% dos acidentes envolvendo aviões multimotores da FAB, a falta de conhecimento acerca de aerodinâmica e performance foi um fator contribuinte, associada às frequentes dúvidas no curso teórico dos pilotos de Learjet 35A do 1º/6º GAV acerca do tema, geraram inquietação no autor objetivando saber como é a compreensão desses pilotos acerca do grau de motricidade dos fatores de risco na decolagem.

Para solucionar tal inquietação, foram delineados três objetivos específicos. Inicialmente, foi necessário identificar os fatores de risco na decolagem do Learjet 35A. Para tal, foi realizada uma pesquisa documental nos manuais da aeronave e da Unidade que identificou a "altitude-densidade", a "temperatura do ar atmosférico", o "peso de decolagem", o "comprimento da pista" e a "posição dos flapes", cumprindo o primeiro objetivo específico.

Após, foi necessário identificar o grau de motricidade desses fatores de risco. Para o cumprimento do segundo objetivo específico, foi realizado um estudo em conjunto com ex-pilotos do 1º/6º GAV no qual foi utilizado o Método Brasiliano de Análise de Riscos. A matriz resultante desse estudo de caso serviu de cenário padrão para confrontar a capacidade dos pilotos em formar o modelo mental correto de acordo com as teorias de Endsley (1995) a respeito de consciência situacional.

Em seguida, foi exigido identificar a compreensão dos pilotos do 1º/6º GAV acerca dos fatores de risco na decolagem. Para atingir o terceiro objetivo específico, foi executado um levantamento por meio de um questionário. As respostas ao questionário foram submetidas ao mesmo método do estudo dos especialistas, possibilitando uma comparação.

Por fim, a presente pesquisa logrou êxito em seu objetivo de aprimorar a Doutrina de Emprego ao identificar fatores de risco na operação do R-35A do 1º/6º GAV e seus resultados servem para direcionar ações de prevenção. Como sugestão para futuros estudos, pode-se analisar o nível 3 da CS a partir dos resultados apresentados, bem como realizar análises de compreensão de pilotos em outros cenários de operação.

Entretanto, mais importante do que seus resultados pontuais na Unidade Aérea, a pesquisa mostrou a importância de se investir no domínio cognitivo dos pilotos. Hoje, em um contexto de aquisição e desenvolvimento de novas tecnologias pela FAB, é necessário que o piloto também evolua e este processo deve ser acompanhado pelos elos do SIPAER na busca incessante da única meta aceitável: **zero acidente**.

## AGRADECIMENTOS

À Força Aérea Brasileira, Segundo Serviço Regional de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos e Escola de Aperfeiçoamentos de Oficiais da Aeronáutica por proverem toda a estrutura necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos integrantes do Primeiro Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação, pelo pronto atendimento e boa vontade em participar da pesquisa.

Ao Major Miguel, meu orientador, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

Ao Major Gava, cuja tese serviu de inspiração para a realização deste estudo.

Aos meus amigos de turma e de EAOAR, em especial, Capitães Joyce, Figueiredo, Lacerda, Collichio e Major Alves, pelo apoio e auxílio nas revisões do conteúdo do presente artigo.

Aos meus pais, José e Efigenia, que, mesmo em momentos difíceis, nunca mediram esforços para me prover a melhor educação e sempre me apoiaram incondicionalmente.

E, por fim, à minha esposa Patricia, por ser forte e, ao mesmo tempo, doce. Obrigado por cuidar de nosso filho Henrique, na minha ausência. Te amo muito.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A. et al. **Ocorrências Aeronáuticas: Panorama Estatístico da Aviação Brasileira - Aviação Civil 2006-2015**. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA). Brasília. 2016.

BERTO, M. C. **Conhecimento Cognitivo de Pilotos: Fator de aumento na segurança de voo**. 2009. 24 f. Monografia (Curso de Comando e Estado-Maior)-Escola de Comando e Estado Maior da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2009.

BOMBARDIER. **Gates Learjet 35A/36A with FC-530 Autopilot FAA Aproved Airplane Flight Manual**. Wichita: Gates Learjet Corporation, 1984.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Portaria CENIPA Nº 1/DAM, de 03 de dezembro de 2012. Aprova a edição do MCA 3-3 que dispõe sobre o Manual da Prevenção (MCA 3-3). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 072, f. 2796, 16 abr. 2013.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Primeiro Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação. **Manual do Piloto de U/R-35A/AM**. Recife, 2016a.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **ROTAER**. Rio de Janeiro, 31 mar. 2016b.

BRASILIANO, A. C. R. **Método Brasiliano de Análise de Risco (Método Básico)**. São Paulo: Brasiliano & Associados, 2008.

BRASILIANO, A. C. R. **Método Avançado de Análise de Riscos: Resposta aos Riscos Corporativos**. São Paulo: Brasiliano & Associados. 2009.

ENDSLEY, M. R. **Toward a theory of situation awareness in dynamic systems**. Human Factors, v. 1, n. 37, p. 32-64, 1995. ENDSLEY, M. R. et al. Situation awareness information requirements for commercial airline pilots. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1998.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge**. Oklahoma City, 2016.

GAVA, W. E. **Análise da percepção dos pilotos de VH-35 sobre os fatores de planejamento da decolagem CAT A em helipontos elevados**. 2013. 18 f. Artigo Científico (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais)-Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2013.

GAVA, W. E. **Análise de Risco da Operação de Helicópteros na Região Amazônica**. 2011. 136f. Dissertação (Mestrado em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada)–Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

....

# Panorama das Pesquisas sobre Inglês Aeronáutico no Brasil - Contribuições para a Segurança de Voo

*Patrícia Tosqui-Lucks [1], Sílvia Matravolgyi Damião [2], Matilde Virginia Ricardi Scaramucci [2]*

1 Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) e Universidade de São Paulo (USP)
2 Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e Universidade de Taubaté (Unitau)
3 Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

**BIOGRAFIA:**

**Patrícia Tosqui-Lucks** é Mestre e Doutora em Linguística pela Universidade Estadual Paulista (Unesp). Tem experiência em ensino de língua inglesa para fins específicos em contextos diversos. Desde 2009, é Supervisora do Setor de Capacitação em Língua Inglesa do ICEA, onde atua com ensino de inglês aeronáutico, elaboração de material didático para cursos presenciais e a distância, formação de professores e avaliação de proficiência. É professora colaboradora do Mestrado em Linguística Aplicada da Unitau e do Mestrado Profissional em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade do ITA. É líder do Grupo de Pesquisa "Estudos em Inglês Aeronáutico" (GEIA). Atualmente realiza estágio de Pós-doutoramento na USP.

**Sílvia Matravolgyi Damião** tem Mestrado e Doutorado em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). É professora aposentada do Departamento de Humanidades do ITA, onde ministrou aulas de inglês para fins específicos nos cursos de graduação em Engenharia, e, também, as disciplinas Tecnologia e Sociedade; Tecnologia Social, Educação e Cidadania; e Educação e Tecnologia. Tem experiência nas áreas de formação de professores; ensino-aprendizagem de línguas; desenho de curso; e tecnologia e educação. Também colabora com o programa de pós-graduação em Linguística Aplicada da Unitau, orientando alunos do curso de mestrado daquela instituição, inclusive pesquisas de diversas professoras de inglês da Escola de Especialistas da Aeronáutica (EEAR). É vice-líder do GEIA.

**Matilde Virginia Ricardi Scaramucci** tem Mestrado pela San Jose State University, Califórnia, Doutorado em Linguística pela UNICAMP e Pós-doutorado pela University of Melbourne, Austrália. Atualmente é professora titular do Departamento de Linguística Aplicada da UNICAMP. Colaboradora do Ministério da Educação de 1993-2006 e 2012-atual. É uma das responsáveis pelo desenvolvimento do exame para a obtenção do Certificado de Língua Portuguesa para Estrangeiros (Celpe-Bras). Sua área principal de pesquisa é avaliação em contexto de línguas. Foi Diretora do Instituto de Estudos da Linguagem no quadriênio 2011-2014 e editora-chefe da revista Trabalhos em Linguística Aplicada de 2006 a 2014. É membro do GEIA e coordenou o projeto de validação inicial do Exame de Proficiência em Inglês Aeronáutico do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (EPLIS) no período de 2009-10.

**RESUMO:** A proficiência em língua inglesa é um importante requisito de segurança, exigido pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), para as comunicações que ocorrem entre pilotos e controladores de tráfego aéreo em ambiente internacional. A expressão "inglês aeronáutico" (em inglês, *Aviation English*) é a denominação para essa linguagem, que compreende a fraseologia padrão e o domínio do *plain English*, ou seja, o uso da língua inglesa para lidar com situações não rotineiras ou de emergência, que extrapolam o previsto na fraseologia. Em que pese a relevância social dos estudos nessa área, são ainda escassas as publicações de pesquisas sobre o assunto, sobretudo em língua portuguesa. Neste artigo, será apresentado um panorama das pesquisas sobre este tema realizadas pelos membros do grupo de pesquisa GEIA (Grupo de Estudos em Inglês Aeronáutico), credenciado no CNPq desde 2013. O grupo é sediado no Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) e tem composição interinstitucional, com membros oriundos de diversas universidades e de diferentes organizações ligadas a ensino de inglês para controladores e aviadores da Força Aérea Brasileira, como o ICEA, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), a Escola de Especialistas da Aeronáutica (EEAR) e a Academia da Força Aérea (AFA). O panorama aqui apresentado inclui uma breve descrição de pesquisas já defendidas ou em fase de elaboração, que cobrem as três linhas de pesquisa do grupo: descrição e análise da linguagem no âmbito do Inglês Aeronáutico; ensino e aprendizagem de inglês no(s) contexto(s) aeronáuticos e avaliação de proficiência em inglês aeronáutico. Os estudos realizados envolvem análise e descrição do inglês aeronáutico usando procedimentos teóricos e metodológicos da Linguística de *Corpus*; reflexões sobre ensino-aprendizagem e avaliação de materiais didáticos, tomando por base conceitos de Ensino de Inglês para Fins Específicos; e estudos sobre Avaliação de Proficiência, trazendo diferentes perspectivas sobre o mesmo tema.

**Palavras Chave:** Avaliação de proficiência em língua inglesa, Comunicação piloto-controlador de tráfego aéreo, Ensino de inglês para fins específicos, Inglês aeronáutico.

# Overview of Aviation English Surveys in Brazil – Contribution to Flight Safety

**ABSTRACT**: English proficiency is an important safety requirement made by the International Civil Aviation Organization (ICAO) for communications between pilots and air traffic controllers in an international environment. The expression "Aviation English" designates this type of language, which comprises both the standard phraseology and mastering of plain English, i.e., the use of English to deal with non-routine or emergency situations that are not covered by the phraseology. Despite the social relevance of the studies in this area, there are still few publications of studies on the subject, mainly in the Portuguese Language.

This article presents an overview of the surveys on this theme done by members of the GEIA (Aviation English Study Group) accredited by the CNPq since 2013. The Group headquarters is located at the Airspace Control Institute (ICEA). The group has an interinstitutional composition, with members from a number of universities and other organizations connected with English teaching to air traffic controllers and pilots of the Brazilian Air Force, such as ICEA, DECEA (Department of Airspace Control), EEAR (Aeronautics' School of Specialists), and AFA (Brazilian Air Force Academy). The overview presented herein includes a brief description of studies which have been already defended or are being elaborated, which encompass the three lines of investigation by the group: description and analysis of the language within the Aviation English domain; English teaching and learning within aviation contexts; and Aviation English Proficiency assessment. The studies involved analysis and description of Aviation English by using theoretical and methodological procedures from Corpus Linguistics; reflections on the teaching-learning phenomenon, and evaluation of the teaching materials based on the concepts of the Teaching of English for Specific Purposes; and studies on Proficiency Assessment, bringing forward different perspectives on the same theme.

**Keywords:** English Language Proficiency Assessment. Pilot - Air Traffic Controller Communication. English Teaching for Specific Purposes. Aviation English.

**Citação:** Lucks, PT, Damião, SM, Scaramucci, MVR. (2018) Panorama das Pesquisas sobre Inglês Aeronáutico no Brasil - Contribuições para a Segurança de Voo. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 50-64

## 1 INTRODUÇÃO

A proficiência em língua inglesa é fundamental para a segurança das comunicações aeronáuticas no tráfego aéreo internacional. A OACI define "comunicação aeronáutica via radiotelefonia" como sendo o conjunto de interações trocadas por controladores de tráfego aéreo e pilotos, caracterizada pelo uso da fraseologia padrão combinado com o uso de uma linguagem comum (*plain language*), que extrapola a fraseologia, nos momentos em que ela não é suficiente, mas que continua restrita ao contexto aeronáutico e submetida às mesmas normas que a orientam.

A fraseologia padrão é um conjunto de frases e expressões preestabelecidas, formada por um vocabulário bastante reduzido, com cerca de apenas 400 palavras, do contexto da aviação, no qual palavras funcionais – como pronomes, verbos de ligação, verbos auxiliares e algumas preposições – tendem a ser excluídas ou evitadas. As frases, frequentemente, contêm nominalizações (verbos são transformados em substantivos) e cerca de 50% delas estão no imperativo ou na voz passiva. O objetivo da fraseologia é permitir a troca de informações de forma clara, concisa e segura, em situações normais de voo (OACI, 2010).

As frases abaixo são exemplos da fraseologia recomendada pelo Manual do Comando da Aeronáutica (MCA 100-16, 2016):

**3.1.2** INFORMAÇÕES METEOROLÓGICAS

| | |
|---|---|
| FAB 4515, área intensa de mau tempo entre os azimutes 300 e 030, a 50 milhas, deslocamento Leste, com 10 nós, topo FL 250. | FAB 4515, intensive weather area between azimuth 300 and 030, 50 miles, moving east at 10 knots, top FL 250. |
| UAL 861, área intensa de mau tempo, 30 milhas à frente. | UAL 861, intensive weather area, 30 miles ahead. |
| AAL 7201, formações pesadas reportadas sobre Confins, topo acima do nível 300, reporte se for necessário desvio. | AAL 7201, heavy weather area reported over Confins, top above flight level 300, advise if deviation will be necessary. |
| TAM 3506, formação de gelo reportada a este de São Paulo, entre os FL 150 e FL 250. | TAM 3506, icing reported East of São Paulo, between FL 150 and FL 250. |

**3.1.7.7**Fogo e fumaça a bordo

| | |
|---|---|
| *Pan, Pan; Pan, Pan; Pan, Pan; PT ROB fumaça na cabine, estamos tentando localizar a fonte. | *Pan, Pan; Pan, Pan; Pan, Pan; PT ROB smoke in the cabin, we are attempting to locate the source. |

**3.1.7.8**Solicitação de auxílio médico

| | |
|---|---|
| *Pan, Pan; Pan, Pan; Pan, Pan; GLO 1256 solicita atendimento médico para passageiro imediatamente após o pouso. | *Pan, Pan; Pan, Pan; Pan, Pan; GLO 1256 request medical assistence for passenger immediately after landing. |
| GLO 1256, confirme dados e a situação do passageiro. | GLO 1256, confirm data and situation of the passenger. |
| *Passageiro do sexo masculino, 62 anos, apresentando problemas cardíacos. | *Male passenger, age 62, presenting heart problems. |

**Quadro 1** - Exemplos de usos da fraseologia em português e sua tradução para o inglês, de acordo com o MCA 100-16 (2016)

O uso da fraseologia padrão é suficiente para lidar com a maioria das situações encontradas na prática diária no controle de tráfego aéreo. Porém, em situações inesperadas ou não usuais, que podem envolver desde problemas médicos com passageiros a uma pane da aeronave, essa linguagem pode se mostrar limitada para a comunicação. Nesses casos, é necessário recorrer à *plain language.* Essa comunicação radiotelefônica em língua inglesa, que ocorre entre os dois profissionais durante um voo internacional, e que combina fraseologia e *plain English,* denominamos "inglês aeronáutico".

Porém, o uso inadequado do inglês aeronáutico, aliado à baixa proficiência no idioma, podem ocasionar falhas de comunicação e colocar em risco a segurança do voo, especialmente em situações de urgência e emergência, em que o nível de estresse costuma estar elevado (TOSQUI-LUCKS *et al*, 2017).

Após estudos e análises, a OACI publicou, em 2004, o Doc 9835 - Manual de Implementação dos Requisitos de Proficiência Linguística*,* no qual foram estabelecidos requisitos para a capacitação e a avaliação de pilotos e controladores que atuam com tráfego aéreo internacional, de forma a garantir que esses profissionais tenham competência para se comunicar em língua inglesa com segurança.

## 2 O INGLÊS NA SEGURANÇA DE VOO

Diversas pesquisas sobre os problemas nas comunicações radiotelefônicas identificaram a falta de proficiência linguística como fator contribuinte de acidentes e incidentes (cf. CUSHING, 1995; MONTEIRO, 2009). A fim de mitigar esses problemas, a OACI, no final da década de 1990, solicitou à sua Comissão de Navegação Aérea, por meio da Resolução A32-16, que tratasse a proficiência de pilotos e controladores de tráfego aéreo como assunto de alta prioridade e que as recomendações e práticas em relação ao uso do inglês na aviação internacional fossem revistas. Até então não havia nenhuma exigência clara quanto ao nível de proficiência desejável.

A partir do ano 2000, com base em diversos relatórios de incidentes e acidentes causados por falhas nas comunicações, a preocupação cada vez maior em garantir que os profissionais do controle de tráfego aéreo e os tripulantes de voo fossem capazes de falar e compreender as comunicações radiotelefônicas levou a OACI a adotar medidas relativas a um maior rigor de proficiência em inglês para aviação civil internacional e, para isso, criou o *Proficiency Requirements in Common English Study Group* (PRICESG).

Em 2003, após estudos desse grupo, as novas normas da OACI entraram em vigor, por meio de alterações em documentos que estabeleciam padrões internacionais. Em 2004, foi publicado um documento intitulado "*Manual on the Implementation of OACI Language Proficiency Requirements"* (conhecido como Doc 9835)*,* que estabeleceu diretrizes para a criação de programas de capacitação e avaliação de proficiência em inglês aeronáutico. Esse manual recebeu uma nova edição em 2010, com alguns complementos, e segue sendo o principal documento que orienta as práticas, políticas e programas de treinamento e avaliação de inglês aeronáutico adotadas por todos os países membros da OACI em todo o mundo.

Sendo o Brasil um desses estados membros, medidas foram adotadas para a implementação dos novos requisitos. A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) é responsável pela certificação de pilotos e o DECEA, responsável pela certificação dos controladores. No âmbito do DECEA, o ICEA, localizado em São José dos Campos-SP, é a instituição responsável pelo planejamento, desenvolvimento e aplicação dos instrumentos de capacitação e avaliação dos controladores de tráfego aéreo brasileiros em relação à proficiência em língua inglesa, a fim de cumprir os requisitos estabelecidos pela OACI.

### 2.1 A implementação dos requisitos de proficiência em inglês aeronáutico no Brasil

Em 2008, A ANAC apresentou em seu plano de implementação o teste que foi desenvolvido no Brasil para a avaliação de pilotos, o *Santos Dumont English Assessment,* o processo de credenciamento de examinadores nas empresas aéreas e centros de treinamento, seu nível de implementação e medidas para mitigar os riscos antes da completa implementação dos requisitos.

Da mesma forma, o DECEA também publicou no site da OACI o seu plano de implementação, e adicionalmente, incluiu uma análise de risco inerente à dificuldade de comunicação piloto/controlador, no idioma inglês, seguindo a metodologia proposta no DOC 9859 da OACI - *Safety Management Manual* (OACI, 2008). Em 2005, a pedido do Comando da Aeronáutica (COMAER), o ICEA, em parceria com o Centro de Instrução Especializada da Aeronáutica (CIEAR), aplicou um teste de inglês a todos os controladores envolvidos com o serviço de tráfego aéreo internacional, a fim de identificar e documentar a situação da proficiência desse grupo em âmbito nacional.

Os controladores com melhores desempenhos nesse teste foram convocados a formar um grupo de trabalho responsável por executar ações de capacitação e avaliação, coordenados pelos profissionais de língua inglesa do ICEA.

No ano seguinte, foi iniciado pelo ICEA o processo de capacitação de instrutores de inglês aeronáutico. Em 2007, o Exame de Proficiência em Inglês Aeronáutico do Sistema de Controle de Tráfego Aéreo Brasileiro (EPLIS) foi aplicado pela primeira vez. Em 2008, foi publicado o PCA 37-9, Plano do Comando da Aeronáutica para implantação dos requisitos de proficiência em inglês.

Em relação ao processo de formação desses profissionais, realizado pela EEAR, as ações envolveram a introdução de uma prova específica de inglês no concurso para o Curso de Formação de Sargentos da Especialidade "Básico de Controle de Tráfego Aéreo", principal porta de entrada de controladores de tráfego aéreo, e a mudança da metodologia de ensino de inglês no curso, que passou a ter foco no ensino da língua para fins específicos e no desenvolvimento da produção e compreensão oral dos alunos na língua-alvo (TOSQUI-LUCKS *et al*, 2017).

## 3 O GRUPO DE ESTUDOS EM INGLÊS AERONÁUTICO

Como forma de estimular a pesquisa e o debate em âmbito acadêmico sobre as melhores práticas relacionadas ao ensino e avaliação do inglês aeronáutico no Brasil, o ICEA sedia um grupo de pesquisas intitulado GEIA - "Grupo de Estudos em Inglês Aeronáutico". O grupo, cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) desde 2013, é composto por pesquisadores de diferentes Organizações do Comando da Aeronáutica e também de Universidades, tendo assim caráter interinstitucional.

**Figura 1**. Emblema do GEIA

O GEIA se dedica a estudar aspectos de descrição da linguagem, ensino-aprendizagem e avaliação no âmbito do inglês aeronáutico. O grupo busca congregar pesquisas que tenham como objetivo estudar diferentes aspectos do inglês aeronáutico no contexto brasileiro, bem como suas relações com ensino/aprendizagem e avaliação, englobando temas como:

- a descrição da linguagem utilizada entre pilotos e controladores de tráfego aéreo (ATCos) em comunicações radiotelefônicas em situações não rotineiras e de emergência, que extrapolem a fraseologia padrão, bem como a descrição do uso da língua inglesa na execução de tarefas nos diferentes órgãos de controle brasileiros;
- a análise de conteúdo, material didático e demais elementos de cursos e treinamentos em geral destinados à formação e capacitação oferecidos aos pilotos e ATCos brasileiros;
- estudos que possam produzir evidências de validade do EPLIS, assim como evidências de efeitos retroativos desse exame no ensino/aprendizagem e nas percepções dos envolvidos com o inglês para a aviação;
- a descrição e análise de instrumentos de avaliação utilizados para determinar a proficiência linguística de pilotos e ATCos para o exercício de sua profissão;
- entre outros temas afins, como tradução, elaboração de glossários e ferramentas terminológicas, análises contrastivas com outras línguas, etc.;

Para tanto, são objetivos do GEIA:

- Reunir pesquisadores com interesses afins sobre inglês aeronáutico provenientes de diferentes instituições e organizações militares;
- Promover discussões e reflexões sobre os temas abarcados nas linhas de pesquisa que levem ao intercâmbio, desenvolvimento e crescimento dos profissionais e das instituições envolvidas;
- Apresentar contribuições concretas para as atividades da Divisão de Língua Estrangeira do ICEA (avaliação e capacitação) e, por conseguinte, ao DECEA e ao Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB);
- Promover o ICEA como instituição de pesquisa reconhecida em âmbito nacional e apta a avaliar projetos de pesquisa sobre inglês aeronáutico;
- Difundir os conhecimentos gerados em âmbito institucional, nacional e internacional, por meio de participação em eventos, fóruns e intercâmbio com comunidades internacionais que se dedicam aos mesmos fins. (Fonte: Site do GEIA, 2018)

Os resultados obtidos têm como objetivo oferecer subsídios para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de instrumentos voltados para o ensino/aprendizagem de inglês para os profissionais de tráfego aéreo brasileiros, bem como para a avaliação de sua proficiência linguística, a fim de que eles sejam capazes de utilizar a língua inglesa como ferramenta para o desempenho de suas atividades com segurança, seguindo os preceitos do Doc 9835.

## 4 PESQUISAS CONCLUÍDAS

Passamos agora a apresentar uma breve descrição das pesquisas já concluídas realizadas por membros do GEIA, com indicação da Universidade onde ela foi realizada, o nível (Mestrado ou Doutorado) e o ano de defesa, bem como da instituição ou Organização Militar (OM) contemplada na pesquisa. As descrições foram elaboradas a partir dos resumos informados pelos pesquisadores. As referências completas dos trabalhos defendidos podem ser encontradas no final deste artigo. As obras estão integralmente disponíveis para *download* no *site* do GEIA (http://pesquisa.icea.gov.br/geia/publicacoes.php).

### 4.1 Compilação de um corpus de comunicações radiotelefônicas em língua inglesa do SISCEAB

Pesquisadora: Patrícia Tosqui Lucks (Pesquisa trienal, de 2014-2016, realizada com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). OM: ICEA

Nesta pesquisa foi realizada a compilação de um corpus eletrônico oral a partir da coleta e transcrição de gravações das comunicações rotineiras e não rotineiras, em língua inglesa, entre pilotos e controladores de tráfego aéreo do SISCEAB. Foram coletadas gravações de comunicações efetuadas nos três órgãos operacionais (Torre de Controle, Controle de Aproximação e Centro de Controle), em localidades com fluxo intenso de tráfego aéreo internacional. Em seguida, essas gravações foram transcritas metodologicamente de acordo com os procedimentos da Linguística de Corpus para desenvolvimento de corpus oral e inseridas na ferramenta computacional "*Wordsmith Tools*". Essa ferramenta possibilita a realização de um tratamento dos dados linguísticos, que permitirá, como resultados, a realização de vários tipos de análises, em relação a dados como: frequência de uso, colocações, padrões léxico-gramaticais, entre outras, em âmbito fonético-fonológico, morfossintático e semântico, por meio do processamento de um grande volume de informações, eletronicamente, de modo uniforme, preciso e rápido. Essas análises poderão ser aproveitadas para o desenvolvimento de materiais didáticos para ensino de inglês para controladores de tráfego aéreo, bem como para a elaboração de tarefas e itens de prova do EPLIS.

### 4.2 Atividades de pronúncia em livros didáticos de Inglês Aeronáutico: reflexões sob o prisma de falantes de português brasileiro.

Pesquisador: Carlos Alberto Babboni. Mestrado em Linguística Aplicada (Unitau) 2017. OM: EEAR

A pesquisa teve sua origem em percepções e questionamentos ocorridos desde 2010, durante aulas de Inglês Aeronáutico no Curso de Formação de Controladores de Tráfego Aéreo na Escola de Especialistas de Aeronáutica, em Guaratinguetá-SP. Embora já existam vários trabalhos realizados na área de Inglês Aeronáutico, não encontramos ainda, no Brasil, pesquisas que estejam voltadas especificamente para o ensino da pronúncia da língua inglesa para pilotos ou ATCos. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi investigar em que medida os exercícios de pronúncia presentes em três livros didáticos (LDs), utilizados ao longo do Curso de Formação de ATCos, contemplam as necessidades específicas de falantes de Português Brasileiro (PB). De forma a atingir o objetivo geral, os objetivos específicos desta pesquisa foram: 1. verificar quantos exercícios de pronúncia existem em cada um dos três LDs e quais são seus enfoques e tópicos; 2. avaliar quais exercícios de pronúncia disponíveis nos três LDs contemplam as necessidades dos falantes de PB como primeira língua e são relevantes para o contexto dos ATCos; 3. identificar as lacunas existentes. Os resultados mostram que, de modo geral, a maioria dos exercícios de pronúncia traz poucos exemplos (palavras e/ou frases), e muitos enunciados não sugerem qualquer tipo de prática oral por parte dos alunos. Além disso, a análise dos exercícios de pronúncia revelou que várias dificuldades de pronúncia em inglês, que são comuns a falantes de PB, não são abordadas em nenhum dos três LDs.

### 4.3 Uma Análise de Necessidades de uso da Língua Inglesa por Oficiais Aviadores do Esquadrão de Demonstração Aérea da Força Aérea Brasileira

Pesquisadora: Ana Lígia B. de Carvalho e Silva. Mestrado em Linguística Aplicada (Unicamp) 2016. OM: AFA

Embora seja crescente o interesse por estudos voltados para o inglês necessário à aviação internacional, ainda se observa uma lacuna em investigações sobre as necessidades de uso de inglês por pilotos da aviação militar brasileira. Neste estudo, foi realizada uma análise de necessidades de uso da língua inglesa por Oficiais Aviadores do Esquadrão de Demonstração Aérea (EDA) da Força Aérea Brasileira (FAB), popularmente conhecido como "Esquadrilha da Fumaça". O EDA tem por missão representar a FAB e o Brasil por meio de demonstrações aéreas. Entre suas várias atribuições estão: representar a FAB no exterior e difundir a Política de Comunicação Social do COMAER. Por meio de uma pesquisa qualitativa, foi desenvolvido um estudo de caso envolvendo vários procedimentos metodológicos, tais como entrevistas não estruturadas e semiestruturadas, grupos focais, análise documental e observação, bem como ouvidos diversos participantes – Pilotos em Atividade, Pilotos Veteranos e professores de inglês da AFA. A análise da situação atual demonstrou que, durante a formação dos futuros Oficiais Aviadores da FAB, a habilidade de produção oral em inglês – para fins específicos (ESP) e para fins gerais (EGP) – não tem sido diretamente avaliada. Não obstante, os resultados mostram que todos os 13 Pilotos em Atividade do EDA detinham, durante o estudo, o chamado "Cartão S", que comprova proficiência em inglês geral, de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo COMAER. A análise da situação alvo demonstra que a língua inglesa necessária ao grupo é multifacetada, pois inclui, durante as comunicações

entre pilotos e controladores de voo, o uso de fraseologia padrão para situações rotineiras, e *plain English*, para situações não rotineiras.

4.4 Análise de imagens no livro *Aviation English*: uma contextualização para o ensino de ESP para controladores de tráfego aéreo pré-serviço brasileiros

Pesquisadora: Renata Tito S. Dias. Mestrado em Linguística Aplicada (Unitau) 2016. OM: EEAR

Os LD de língua inglesa da atualidade são amplamente ilustrados. Considerando-se a imagem no contexto de Ensino de Língua para Fins Específicos, verifica-se que a imagem é um excelente recurso para representar as situações de uso real da língua. Esse recurso é muito importante especialmente para os alunos que ainda não atuam profissionalmente nas suas funções, ou seja, os alunos pré-serviço. No entanto, considerando-se as peculiaridades de produção do LD de Língua Inglesa, as imagens podem não estar adequadas ao público-alvo, sendo necessária a sua adaptação. Nesta pesquisa, o público-alvo considerado foram alunos controladores de tráfego aéreo pré-serviço brasileiros. Com base nessas informações e alicerçado nas teorias de ensino-aprendizagem de ESP, de LD e de Imagem, o estudo teve por objetivo analisar a função da imagem em três unidades de LD de Inglês Aeronáutico, bem como verificar a contribuição da utilização das imagens no preparo para a realização do EPLIS, o exame de proficiência realizado pelo controlador de tráfego aéreo no Brasil. O resultado final da análise de 45 imagens indicou que a função que mais se destacou foi a função de exercício de aplicação (20 imagens); seguida da função ilustração (13 imagens). Também se verificou que a maior parte das imagens contribui para o EPLIS (26 imagens), mas grande número não contribui (18 imagens). Também foram discutidas ao longo das análises as possibilidades de adaptação da imagem no livro didático.

4.5 O que os avaliadores e desenvolvedores dos exames de proficiência linguística têm a dizer sobre os requisitos de proficiência linguística da OACI 12 anos após sua publicação?[1]

Pesquisadora: Ângela Carolina Moraes Garcia. Mestrado em Avaliação de Línguas (Universidade de Lancaster, Reino Unido), 2015. Instituição: ANAC

As práticas recomendadas pela OACI relacionadas ao uso da linguagem para comunicações de radiotelefonia aeronáutica foram publicadas em março de 2003. Doze anos após sua publicação, à luz de pesquisas que sugerem a revisão da política da OACI, é importante conhecer o que os especialistas que têm trabalhado com os requisitos de proficiência linguística (LPRs) da OACI pensam que são os seus pontos fortes e fracos de acordo com as suas experiências. Esta dissertação investigou as opiniões de avaliadores de testes experientes e de desenvolvedores de testes sobre os LPRs da OACI. Seis profissionais especialistas foram entrevistados nesta pesquisa qualitativa analítica e os dados foram analisados de acordo com o método de análise temática. As discussões incluíram não apenas características gerais da política, mas também as características específicas dos critérios de avaliação. A pesquisa apresenta sugestões de melhorias a serem feitas para a política da OACI e recomenda que essa Organização reveja os LPRs o mais rapidamente possível. Dentre as conclusões, destaca-se a sugestão para que a OACI reformule a escala de níveis de proficiência apresentada no Manual de Implementação de Proficiência Linguística, o DOC 9835, uma vez que os entrevistados afirmam que a escala, da forma como é colocada hoje, não reflete totalmente as situações de comunicação necessárias entre pilotos e ATCos. Outra conclusão importante é a de que os falantes nativos de língua inglesa deveriam ser submetidos a exames de proficiência em inglês aeronáutico também, uma vez que precisam se adequar a uma comunidade internacional de falantes, tanto em relação às habilidades de compreensão quanto de produção oral.

4.6 Levantamento dos padrões léxico-gramaticais do inglês para aviação: um estudo vetorado pela Linguística de Corpus.

Pesquisadora: Malila Carvalho de Almeida Prado. Mestrado em Estudos Linguísticos e Literários em Inglês (USP), 2015.

A partir da necessidade de avaliação de proficiência linguística prescrita no Manual de Implementação de Proficiência Linguística, ou Doc 9835, publicado pela OACI em 2004, o inglês aeronáutico teve seu grau de importância elevado e começou a ser avaliado em países ao redor do mundo, por governos e/ou por instituições internacionais, e, nos últimos anos, foram publicados materiais didáticos que se propõem a atender a essa nova demanda. Identificando a falta de autenticidade nesses materiais, e um descompasso entre a definição proposta pela OACI e o Glossário de Estruturas Básicas e Complexas anexo à segunda edição do Doc 9835 (OACI, 2010), buscamos no aporte teórico da Linguística de Corpus uma metodologia para a descrição do *plain English* utilizado em contextos aeronáuticos em uso real. Assim, o objetivo desta pesquisa foi apresentar um estudo descritivo da linguagem utilizada por controladores de tráfego aéreo e pilotos em comunicações radiotelefônicas em situações anormais; para atingi-lo, compilamos um corpus falado extraído desse contexto. A partir desse corpus, analisamos, primeiramente, os padrões fraseológicos no entorno de cinco itens lexicais – *runway* [pista], *aircraft* [aeronave], *emergency* [emergência], *fuel* [combustível] e *engine* [motor] –, que foram evidenciados como as palavras de conteúdo mais frequentes no corpus de estudo. Contrastamos, em seguida, nossos resultados com o Glossário de Estruturas do próprio Doc 9835. Nossos

[1] Tradução livre do título original em inglês: *What do ICAO Language Proficiency Test Developers and Raters Have to Say about the ICAO Language Proficiency Requirements 12 Years after their Publication?*

resultados apontam que, assim como recomendado pela OACI, o inglês para aviação é simples e objetivo, não correspondendo ao tipo de linguagem sugerida no referido anexo nem ao conteúdo programático dos materiais didáticos utilizados atualmente.

4.7 Critérios de avaliação de livro didático para o ensino-aprendizagem de inglês para controladores de tráfego aéreo brasileiros: uma proposta de checklist

Pesquisadora: Élida Maria Bonifácio. Mestrado em Linguística Aplicada (Unitau) 2015. OM: EEAR

Considerando a necessidade de aumentar o nível de proficiência em língua inglesa de controladores de tráfego aéreo, a fim de prevenir incidentes e acidentes, cujas causas também estejam relacionadas à falta de proficiência na língua, vários cursos de idiomas começaram a oferecer aulas de inglês para esses profissionais. Segundo a OACI (2010), os ATCos devem ser aprovados em exame de proficiência específico, para operarem em órgãos que controlam o tráfego aéreo internacional. No entanto, o número de LD de inglês aeronáutico continua modesto e, com isso, a escolha do mais adequado torna-se difícil, devido às poucas opções. O objetivo geral deste trabalho é contribuir com pesquisas na área de avaliação de material didático e de ensino-aprendizagem de inglês. Os objetivos específicos são: estabelecer critérios para a elaboração de um *checklist* para avaliação de livro didático utilizado na formação de língua inglesa de ATCo, a partir de critérios existentes na literatura sobre avaliação de LD, adequando-os aos requisitos estabelecidos pela OACI e às atividades aplicadas no Exame de Proficiência a que são submetidos os controladores de tráfego aéreo no Brasil; e aplicar a checklist elaborada na avaliação do livro didático *Aviation English*. O *checklist* tem como principais indicadores os princípios norteadores (linguagem e princípios de ensino-aprendizagem), os aspectos gráficos, as competências lexicais, gramaticais e funcionais descritas no Documento 9835, os materiais de apoio e a familiarização com as atividades aplicadas no exame de proficiência aplicado no Brasil, totalizando 117 itens. A partir da aplicação do *checklist* ATCO na avaliação do material, foi possível verificar que 71,8% dos itens estão presentes no livro avaliado; 20,5% não estão presentes no material; e 7,7% estão parcialmente presentes. A avaliação de LD utilizando a checklist proposta facilita a identificação de lacunas e fornece informações ao professor que avalia, a fim de que ele planeje as adaptações de atividades, já que o material perfeito será difícil de encontrar.

4.8 Conscientização linguística e profissional para o controlador de tráfego aéreo: uma proposta didática para o ensino-aprendizagem de Língua Inglesa baseada em tarefas

Pesquisadora: Ana Paula C. S. Cruz Mestrado em Linguística Aplicadas (Unitau), 2015. OM: EEAR

Este trabalho é fruto de observações da pesquisadora durante anos de atuação profissional junto à formação de controladores de tráfego aéreo. O interesse em desenvolver uma proposta de conscientização surgiu quando, ao lecionar inglês para fins específicos no contexto da aviação, foi observado que muitos alunos desse curso de formação não tinham clareza sobre a importância do Inglês para a área escolhida como profissão, tampouco podiam perceber as nuances da Língua Inglesa que poderiam causar ambiguidade na comunicação radiotelefônica. Contudo, a percepção sobre esses aspectos linguísticos que podem causar ambiguidades e mal-entendidos no discurso é muito importante para evitar acidentes e incidentes aéreos. Nesse contexto, também foi constatado que muitos estudantes se inscreviam para o curso de formação de ATCos sem conhecer a abrangência e os desafios da profissão. Essa falta de conhecimento ficava clara durante as aulas de Inglês e resultava no desinteresse na realização das atividades e, também, na falta de percepção sobre os aspectos da Língua Inglesa que são considerados importantes para um voo seguro. Desta forma, este trabalho teve como objetivo contribuir com o processo de conscientização sobre a importância da Língua Inglesa e sobre a relevância profissional dos ATCos para alunos de cursos de formação de controladores de tráfego aéreo, por meio da elaboração de tarefas com o enfoque na conscientização. O ensino de línguas baseado em tarefas (TBLT) privilegia a instrução baseada no significado, principalmente, porque essa metodologia pode proporcionar ao aluno reflexões de como agir para a realização de atividades semelhantes às tarefas linguísticas do mundo real. Em virtude dessas constatações, os pressupostos teóricos do TBLT foram selecionados como base principal para a confecção das propostas de conscientização. Esses fundamentos teóricos também convergem com a perspectiva teórica da Conscientização, pois, ao executar tarefas, o aluno se torna ativo diante de sua realidade e predisposto à reflexão. Esta é uma pesquisa bibliográfica de caráter qualitativo, através da qual foi possível concluir que as bases teóricas entre o ESP, TBLT e o ensino focado na Conscientização podem tornar o discente propenso à conscientização linguística e profissional.

4.9 Ensino-aprendizagem de Inglês para o Controlador de Tráfego Aéreo Brasileiro: em busca de novos rumos

Pesquisadora: Marcia Rita R. C. Chini. Mestrado em Linguística Aplicada (Unitau), 2014. OM: EEAR

Este trabalho, alicerçado teoricamente no ensino-aprendizagem de Línguas para Fins Específicos, com ênfase em Inglês para Fins Específicos e vinculado ao Grupo de Estudos em Inglês Aeronáutico – GEIA –, tem por objetivo investigar em que medida o Curso de Inglês da EEAR atende os alunos (controladores de tráfego aéreo pré-serviço) no que diz respeito às suas necessidades de aprendizagem; e constatar se o curso contribuiu para o desempenho das funções operacionais executadas pelos controladores nos diferentes órgãos de Controle de Tráfego Aéreo (órgãos ATC). Para atingir os objetivos, foi realizada uma pesquisa qualitativa-interpretativista, cujos instrumentos foram dois questionários escritos aplicados a 50 alunos do Curso de Formação de Sargentos – especialidade Controle de Tráfego Aéreo, e a 14 sargentos controladores de tráfego aéreo, egressos da EEAR, que atuam nos órgãos ATC. Este estudo comparativo justifica-se pela importância do uso do inglês em tarefas de

desempenho profissional para os sargentos que irão atuar como ATCos. O resultado da análise dos dados indicou que a maioria dos respondentes é consciente da necessidade desse idioma no contexto da aviação. Tanto os alunos quanto os sargentos afirmaram ter aprimorado seus conhecimentos em inglês ao longo do processo de formação profissional. Entretanto, os integrantes dos dois grupos revelaram a importância de desenvolver mais as habilidades de produção e compreensão orais, pois são as que apresentam maior grau de dificuldade. Ademais, foi possível identificar a falta de diálogo entre as disciplinas Fraseologia de Tráfego Aéreo e Inglês. A integração dessas duas disciplinas foi apontada como uma maneira de aproximar o ensino à realidade da atividade profissional. Os dados também demonstraram que a má distribuição da carga horária do Curso de Inglês prejudica sobremaneira o ensino-aprendizagem da língua inglesa. Os resultados desta pesquisa foram encaminhados à Coordenação Pedagógica e serão utilizados como subsídios para a reformulação do atual Curso de Inglês da EEAR para os ATCos.

4.10 Comunicações entre pilotos e controladores de voo: fatores linguísticos, discursivo-interacionais e interculturais

Pesquisadora: Ana Lúcia Tavares Monteiro. Mestrado em Linguística Aplicada (UFRJ), 2009. Instituição: ANAC

Visando contribuir para as pesquisas realizadas sobre os problemas nas comunicações radiotelefônicas e para identificação dos fatores contribuintes de acidentes, esta dissertação pretende investigar possíveis ameaças à compreensão oral em língua inglesa por parte de pilotos e controladores brasileiros em um contexto multicultural, no qual atuam sujeitos com diferentes habilidades linguísticas. Inicialmente, questões relativas às características das comunicações radiotelefônicas, aos papéis convencionais dos participantes e, ainda, aos fatores interculturais na segurança da aviação foram discutidas. A partir das taxonomias propostas por pesquisadores em contextos internacionais, um conjunto de fatores que podem gerar falhas nas comunicações radiotelefônicas foi identificado. Este estudo também teve como objetivo contribuir para o sucesso na radiotelefonia internacional que envolve pilotos e controladores brasileiros, correlacionando os fatores identificados na literatura com relatos pessoais desses profissionais, obtidos a partir de dois instrumentos de geração de dados: grupos focais e entrevistas individuais. Conduzida à luz de um arcabouço teórico que privilegia a visão de linguagem como ação e cooperação, e baseada em definições relevantes dos conceitos de inglês como língua internacional, pronúncia, inteligibilidade e prosódia, a análise do corpus permite descobrir o que pilotos e controladores brasileiros percebem como problema nas comunicações radiotelefônicas em que devem utilizar a língua inglesa. A partir de tais evidências, uma recategorização dos fatores identificados anteriormente que seja relevante para os profissionais brasileiros no contexto da aviação internacional, é proposta. Os resultados apontam questões consensuais e controversas que necessitam ser consideradas com maior rigor, relacionadas: à relação de poder entre os profissionais envolvidos; aos falsos conceitos provenientes do desconhecimento do trabalho um do outro; à necessidade de maior adequação às máximas conversacionais, ao reconhecimento dos atos de fala e às funções comunicativas; a falhas no treinamento e, por fim, às interfaces culturais no contexto da radiotelefonia internacional, que revelaram a necessidade de uma melhor definição dos conceitos de cultura nacional, profissional e organizacional.

4.11 Open to talk - emergências: um glossário português/inglês para as comunicações radiotelefônicas entre pilotos e controladores de tráfego aéreo

Pesquisadora: Suélen Sardinha Bites Gonçalves. Mestrado em Estudos da Tradução (UnB) 2017.

A aviação comercial no Brasil teve um crescimento significativo nas últimas décadas, porém ainda há poucos estudos na área, principalmente relacionados às linguagens utilizadas dentro desse domínio. Após alguns acidentes e incidentes envolvendo a problemas de compreensão na língua, a Organização da Aviação Civil Internacional apresentou maior interesse nas comunicações aeronáuticas e passou a exigir, das tripulações e do pessoal envolvido com tráfego aéreo, um nível mínimo de proficiência na língua inglesa. Visando a auxiliar esses profissionais na aquisição desse nível de proficiência e criar uma ferramenta de consulta de termos em português e inglês, surgiu a ideia de criar um glossário voltado às comunicações radiotelefônicas entre pilotos e controladores de tráfego aéreo. Dentre os poucos trabalhos terminológicos bilíngues voltados para a área da aviação, nenhum contempla essas comunicações. A acurácia dessas comunicações é fundamental para a manutenção da segurança de voo e as situações de emergência exigem maior atenção e dedicação dos profissionais envolvidos nesse contexto, por isso priorizamos a abordagem dessa temática nesse projeto de mestrado. Através das teorias terminológicas, principalmente da Teoria Geral da Terminologia e da Teoria Comunicativa da Terminologia, concluímos a compilação desse glossário composto por 69 verbetes com entradas na língua portuguesa, e uma lista de 90 termos em inglês com os equivalentes terminológicos em português. O glossário foi disponibilizado, em um primeiro momento, aos controladores do Centro de Controle de Área (ACC) de Brasília, onde poderá ser testado e futuramente estendido a outras localidades e órgãos operacionais.

4.12 Diagnóstico do Processo de Capacitação em língua Inglesa dos controladores de tráfego aéreo do 1º GCC: Análise do estado atual e sugestões para obtenção da proficiência

Pesquisador: Dan Marshal Freitas. Mestrado Profissional em Aeronavegabilidade e Segurança da Aviação (ITA) 2014. OM: DECEA

Este trabalho traçou um perfil dos ATCo do Primeiro Grupo de Comunicações e Controle (1ºGCC), no tocante a sua capacitação em língua inglesa, possibilitando delinear e subsidiar um adequado programa de capacitação, que poderá contribuir para o aprimoramento da segurança operacional do serviço de controle de tráfego aéreo prestado pelo 1º GCC. Baseado na abordagem do ESP que foca nas necessidades-alvo de utilização da língua, o estudo possibilitou identificar as necessidades comunicativas específicas dos ATCo, recomendando ações a serem adotadas para o aprimoramento do programa de capacitação em língua inglesa. Sugere, também, a replicação deste trabalho nas diversas organizações integrantes do SISCEAB e a realização de um estudo mais aprofundado para a comparação analítica dos currículos de formação e pós-formação dos ATCo no tocante à língua inglesa. Os resultados apontam que, além das necessidades de comunicação com pilotos da aviação civil, os profissionais do GCC têm necessidades específicas ligadas a questões de Defesa Aérea. Como resultado, foram desenvolvidos módulos de treinamento em inglês específicos para exercícios operacionais dessa natureza, como o Exercício Cruzeiro do Sul (CRUZEX), por exemplo, um exercício aéreo multinacional organizado pela Força Aérea Brasileira com o objetivo de treinar de maneira avançada missões realizadas no ambiente de guerra moderna.

## 5 PESQUISAS EM ANDAMENTO

Passamos agora a apresentar uma breve descrição das pesquisas em andamento realizadas por membros do GEIA, com indicação da universidade onde elas estão sendo realizadas, o nível (Mestrado ou Doutorado, por exemplo), bem como da instituição ou Organização Militar (OM) contemplada na pesquisa. As descrições foram elaboradas a partir dos resumos informados pelos pesquisadores.

### 5.1 Elaboração de um módulo de atividades didáticas a partir de um corpus de comunicações piloto-controlador em língua inglesa

**Pesquisadora:** Patrícia Tosqui Lucks. Pós-doutoramento (USP). OM: ICEA

Este projeto de pesquisa de pós-doutoramento representa uma continuidade dos estudos iniciados com a compilação do Corpus SISCEAB: o desenvolvimento de materiais didáticos para ensino de inglês para controladores de tráfego aéreo. Para tanto, propõe-se a elaboração de um módulo didático para controladores que atuam nos ACC, que poderá ser replicado para controladores dos outros órgãos operacionais. Esse módulo será composto por um conjunto de atividades didáticas que, de acordo com os preceitos do ensino de inglês para fins específicos, deverão ser aplicadas em cursos de capacitação continuada. As atividades didáticas serão elaboradas com base em procedimentos metodológicos da Linguística de Corpus e no *software WordSmith Tools*. Essa ferramenta possibilita o processamento de um grande volume de informações, eletronicamente, de modo uniforme, rápido e preciso que permite a realização de vários tipos de análise dos dados, tais como: frequência de uso, colocações, padrões léxico-gramaticais, entre outras, em âmbito fonético-fonológico, morfossintático, sintático, lexical, semântico e pragmático. Considerando que os controladores estão espalhados por todas as regiões do Brasil, e trabalham em regime de turnos da escala operacional que funciona ininterruptamente (24-7), esse módulo será desenvolvido para ser aplicado a distância, por computador. A educação a distância tem sido empregada com sucesso, nos últimos anos, na Força Aérea Brasileira, para capacitação continuada e manutenção operacional de seu efetivo, graças às vantagens de permitir, a um grande número de profissionais, acesso rápido mesmo em grandes distâncias físicas e com flexibilidade de horários. Espera-se que os benefícios da pesquisa extrapolem o âmbito estritamente linguístico, e possam contribuir para a segurança operacional do tráfego no espaço aéreo brasileiro.

### 5.2 O projeto LHUFT no Brasil: uma tentativa acadêmica de aprimorar o inglês de aviação[2]

**Pesquisadora:** Aline Pacheco. Professora da Faculdade de Ciências Aeronáuticas e Faculdade de Letras (PUCRS)

Esta descrição tem como objetivo citar o que está sendo feito academicamente na PUCRS, a fim de apoiar o ensino e aprendizagem de inglês de aviação no Brasil. O projeto LHUFT (*Language as a Human Factor in Aviation)* originalmente criado pelo Prof. Elizabeth Mathews (Embry Riddle Aueronautical University), pretende abranger o papel da linguagem como um fator potencial que influencia a segurança da aviação. Com base nas suposições de que a comunicação do *cockpit* é uma área rica de estudo para pesquisadores de línguas, e tem sido relativamente pouco pesquisada se considerado o papel crítico que desempenha na segurança de voo, a LHUFT também pode ser considerada uma abordagem para explicar melhor o uso da língua em todos os aspectos da comunicação da aviação. Um exemplo é o desenvolvimento de uma Taxonomia, uma ferramenta que pode ajudar a esclarecer as muitas maneiras pelas quais a língua e a cultura afetam as comunicações da aviação. Na PUCRS, estamos atualmente trabalhando em projetos que apoiam essa abordagem abrangente da linguagem na aviação, para que possamos oferecer uma contribuição acadêmica às práticas de ensino do curso de Engenharia Aeronáutica. Existem três linhas de pesquisa sendo desenvolvidas: (i) projeto curricular de um livro didático para pilotos *ab initio* e profissionais; (ii) investigação

[2] Tradução livre do título: *The LHUFT project in Brazil: an academic attempt to improve Aviation English,* informado pela pesquisadora.

de acidentes - com base na taxonomia de Mathews (2017), análise de acidentes e incidentes de aviação causados por falta de comunicação com o inglês como língua estrangeira e (iii) elaboração de um corpus baseado em situações reais de emergência. Entendemos que, quanto mais pesquisas desenvolvemos em um ambiente acadêmico, podemos ter melhores elementos para trabalhar no planejamento curricular e contribuir para o ensino e aprendizagem do inglês de aviação.

5.3 Explorando os fatores interculturais nas comunicações internacionais entre controlador de tráfego aéreo e piloto: validando uma taxonomia usando a pesquisa de métodos mistos[3]

Pesquisadora: Ana Lúcia Tavares Monteiro. Doutorado (Carleton University, Canadá). Instituição: ANAC

O objetivo desse projeto é gerar uma categorização de fatores interculturais que podem afetar a maneira como os pilotos e os controladores de tráfego aéreo interagem no rádio usando o idioma inglês. Primeiro, o estudo explorará alguns fatores influenciados culturalmente que podem causar mal-entendidos e ameaçar a segurança das comunicações ar-terra, tais como diferenças nos estilos de comunicação, individualismo / coletivismo, distância do poder, relutância em declarar emergência, salvar face, atitudes e cortesia, entre outros. Em segundo lugar, o estudo investigará as percepções dos pilotos experientes e dos controladores de tráfego aéreo sobre as potenciais ameaças às comunicações por radiotelefonia que podem resultar desses fatores, inclusive como participantes falantes nativos e não nativos do inglês.

5.4 Fluência e interação no inglês aeronáutico: dos estudos descritivos à sala de aula

**Pesquisadora:** Malila Carvalho de Almeida Prado. Doutorado em Estudos Linguísticos e Literários em Inglês (USP)

Durante as aulas e em avaliações, a linguagem a ser abordada com pilotos e controladores de tráfego aéreo é aquela a ser utilizada na comunicação radiotelefônica em situações anormais, para as quais não há Fraseologia Aeronáutica descrita (OACI, 2010). Para instrumentalizar a avaliação, é sugerida, pela OACI, uma escala de proficiência linguística que, por sua vez, apresenta dificuldade no entendimento tanto sobre o construto do que compõe o *plain English* nas comunicações via rádio quanto sobre sua concepção, devido à subjetividade e imprecisão com que são descritas as categorias (pronúncia, estrutura, vocabulário, fluência, compreensão e interação). Na busca por uma compreensão maior do que deveriam contemplar as categorias propostas pela Escala, mais especificamente, fluência e interação, foi compilado um corpus de comunicações via rádio sobre situações para as quais a Fraseologia Aeronáutica não foi suficiente, para propiciar a investigação do *plain English* por meio da Linguística de Corpus. Com base nesse corpus, almeja-se aplicar atividades na sala de aula que promovam um aprimoramento da fluência e interação dos alunos, empregando a linguagem investigada. Por fim, ao analisar as aulas e averiguar sua eficácia, propõe-se um possível caminho que utilize comunicações reais no ensino com o objetivo de intensificar a competência pragmática do aluno como elemento primordial à interação entre diversas culturas, ainda que utilizando uma única língua: o inglês aeronáutico.

5.5 O desempenho em língua inglesa de controladores de tráfego aéreo operacionais em comunicações radiofônicas: uma faceta de validade do EPLIS

**Pesquisadora:** Natalia de Andrade Raymundo. Doutorado (UNICAMP) OM: DECEA

O EPLIS é um teste de alta relevância que avalia a proficiência de profissionais que lidam com tráfego aéreo internacional no Brasil, seguindo as recomendações da OACI. Tendo em vista o impacto que o EPLIS tem na vida desses profissionais e também na sociedade de maneira geral, faz-se necessário que esse instrumento seja condizente com os requisitos que o norteiam, bem como com a necessidade linguística do profissional que o realizará. Esta pesquisa visa, portanto, desenvolver um estudo para a coleta de evidências de validade no EPLIS, de forma a verificar em que medida controladores de tráfego aéreo que obtiveram nível de proficiência operacional no exame conseguem lidar com situações linguísticas em língua inglesa que fogem àquelas previstas na fraseologia. Os dados utilizados na análise serão gerados por métodos mistos. Na primeira fase da pesquisa, serão analisadas interações de quatro controladores de tráfego aéreo que obtiveram nível de proficiência pré-operacional e operacional (NP3 e NP4) no EPLIS em órgãos de controle com grande incidência de comunicações em língua inglesa durante suas escalas operacionais. Na segunda fase, serão analisados dados quantitativos gerados através de questionário enviado a controladores de tráfego aéreo NP3 e NP4, com o objetivo de coletaras impressões desses profissionais em relação ao nível operacional do EPLIS e suas necessidades linguísticas e operacionais. Os resultados comporão o processo contínuo de validação do exame, que é uma exigência para exames de alta relevância como o EPLIS.

5.6 Da análise de necessidades ao desenho de um exame de proficiência em inglês para pilotos militares: um projeto em andamento

**Pesquisadora:** Ana Lígia Barbosa de Carvalho e Silva. Doutorado em Linguística Aplicada (UNICAMP) OMs: EDA, AFA

[3] Tradução livre do título em inglês: *Exploring Intercultural Factors in International Pilot-Air Traffic Controller Communications: Validating a Taxonomy Using Mixed Methods Research*, informado pela pesquisadora.

A avaliação de proficiência em inglês para pilotos militares brasileiros é o tema do projeto de tese de doutorado, ora apresentado, em desenvolvimento no Departamento de Linguística Aplicada do Instituto de Estudos da Linguagem da Unicamp, cujo objetivo é delinear um exame para avaliara proficiência em inglês necessária a um grupo específico de pilotos militares, pertencentes ao Esquadrão de Demonstração Aérea (EDA), ou "Esquadrilha da Fumaça", que tem a missão de difundir, por meio de suas demonstrações aéreas, a imagem institucional da Força Aérea Brasileira (FAB), e que tem, entre suas atribuições, o dever de representar a FAB no exterior como instrumento diplomático. O projeto de tese dá sequência a uma dissertação de mestrado (SILVA, 2016) que traçou uma análise de necessidades de uso de inglês para os pilotos dessa equipe. Os resultados da pesquisa de Silva (2016) indicam que a língua inglesa necessária ao EDA abarca vários componentes: fraseologia aérea padrão; inglês comum, porém restrito às comunicações por radiotelefonia (*plain English*); vocabulário específico para aviação; inglês geral. No âmbito da FAB, avalia-se o inglês geral separadamente do inglês para aviação; a fraseologia padrão é avaliada por meio da chamada Prova de Tráfego Aéreo Internacional (TAI), que não é um exame de línguas, propriamente dito; o *plain English*, por sua vez, não é objeto de nenhuma das avaliações mencionadas. Diante de tal lacuna, o projeto de tese, ao traçar uma avaliação de proficiência em inglês para o grupo, volta-se para aquela etapa que deve ser a primeira na concepção de qualquer exame de línguas, denominada por teóricos da área de avaliação como "especificações". O projeto de tese centraliza-se nas três primeiras etapas do ciclo de elaboração de um exame, proposto por: a definição do propósito, do critério e do construto do exame. Desse modo, extrapolam o escopo do projeto de tese em questão o planejamento de etapas relativas à operacionalização ou à aplicação do exame em si, como, por exemplo, a elaboração e a pré-testagem de tarefas, ou o desenho de uma grade de correção.

### 5.7 Os efeitos retroativos do EPLIS nas percepções, atitudes e ações de professores e alunos de um curso de formação em controle de tráfego aéreo

**Pesquisadora:** Paula Ribeiro e Souza. Doutorado (UNICAMP). OMs: EEAR e ICEA.

A introdução de um exame pelas autoridades é uma escolha consciente de que esse exame será capaz de mudar o comportamento daqueles afetados por ele. O impacto ou influência que um exame exerce nos contextos de ensino e aprendizagem e também na sociedade é definido como efeito retroativo. Esta pesquisa tem como objetivo investigar os efeitos retroativos do EPLIS, aplicado a controladores de tráfego aéreo brasileiros pré-serviço e em serviço, nas percepções, atitudes e ações de professores e alunos de um curso de formação em controle de tráfego aéreo. Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de métodos mistos composta por duas fases. Na primeira fase, o foco é investigar padrões e tendências nas percepções e atitudes dos participantes em relação ao exame, assim como o impacto do exame em diversos aspectos do ensino e aprendizagem de inglês no curso. Para isso, será elaborado um questionário e os dados coletados serão analisados com o emprego de métodos estatísticos. A segunda fase pretende explicar, expandir e corroborar os dados iniciais com a coleta de dados qualitativos por meio de grupo focal, entrevistas individuais e observações de aulas. Todos os dados serão triangulados a fim de oferecer uma visão mais holística do fenômeno investigado. Dado a alta-relevância do EPLIS e sua implementação no cenário escolar como um teste obrigatório, é esperado que seus efeitos tenham se intensificados. Os resultados irão contribuir para a construção de uma teoria mais satisfatória sobre o efeito retroativo – sua natureza, como e em que circunstâncias atua, como pode ser medido e quais fatores interverem no processo.

### 5.8 O uso de estratégias comunicativas em inglês no controle de tráfego aéreo brasileiro

**Pesquisadora:** Natália de Castro Guerreiro. Mestrado (UNICAMP). OM: ICEA.

Esta pesquisa tem como objetivo descrever e categorizar as estratégias comunicativas encontradas em gravações dos ACC brasileiros para, posteriormente, investigar os critérios empregados por controladores de tráfego aéreo experientes na avaliação da eficácia e eficiência dessas estratégias. A pesquisadora reuniu áudios do controle de tráfego aéreo de ACC para identificar o uso explícito de estratégias comunicativas e, com isso, averiguar quais estratégias surgem nas situações reais de uso. Em seguida, serão selecionados trechos críticos dessas gravações em que estratégias comunicativas foram empregadas ou poderiam ter sido empregadas para resolver problemas na comunicação aeronáutica. Esses recortes de interação entre pilotos e controladores serão utilizados para provocar a reflexão e o debate em um grupo focal com controladores de tráfego aéreo brasileiros experientes que também desempenham papel de supervisão, instrução e/ou investigação de acidente. Dessa forma, a pesquisa pretende contribuir para a definição de competência estratégica na proficiência em inglês para o controle de tráfego aéreo.

### 5.9 Considerações sobre a escala de níveis de proficiência linguística para controladores de tráfego aéreo

**Pesquisadora:** Beatriz Faria Aragão. Mestrado em Linguística Aplicada (UNICAMP). OM: ICEA.

A OACI, após ter conduzido uma análise de diversos acidentes e incidentes aéreos e concluído que a linguagem utilizada em radiotelefonia era um fator contribuinte, passou a exigir uma avaliação de proficiência em língua inglesa dos profissionais envolvidos com tráfego aéreo internacional como parte dos LPRs. Esses requisitos estão relacionados à segurança operacional, à necessidade de comunicar-se em radiotelefonia de modo seguro, empregando sempre que possível uma linguagem restrita e codificada, chamada fraseologia, e o inglês comum nas situações não atendidas pela fraseologia em comunicações internacionais. Subsequentemente, em março de 2004, a OACI publicou o Manual de Implementação dos Requisitos de Proficiência Linguística (Doc 9835), que contém uma escala de natureza analítica que é utilizada para avaliar a proficiência dos profissionais em questão,

no contexto nacional e internacional. A escala possui seis categorias: pronúncia, vocabulário, estrutura, fluência, compreensão e interação. Cada uma delas possui descritores para os seis níveis de proficiência: nível 1 pré-elementar, nível 2 elementar, nível 3 pré-operacional, nível 4 operacional, nível 5 avançado e nível 6 experto. Para fins de habilitação em língua inglesa, os profissionais avaliados devem obter o nível 4 em todas as categorias. No entanto, os requisitos de proficiência em língua inglesa da OACI e a escala são alvos de diversas discussões desde a sua implementação. Apesar de o tema ser bastante discutido e já ter sido abordado por alguns pesquisadores e teóricos, pode-se afirmar que a natureza da linguagem utilizada em radiotelefonia ainda gera incertezas e precisa ser melhor compreendida. No decorrer desta pesquisa, buscou-se através da utilização de critérios autóctones obter uma melhor caracterização dessa linguagem, de acordo com a percepção dos controladores de tráfego aéreo, sobre as principais características da comunicação bem sucedida em radiotelefonia e os fatores linguísticos que mais contribuem para a condução de uma comunicação eficiente e bem sucedida. O objetivo desta pesquisa é oferecer contribuições para uma revisão da escala atual de maneira que melhor represente a situação-alvo ─ o que poderá contribuir para o desenvolvimento dos instrumentos de avaliação no contexto aeronáutico. Na condução desta investigação, foram utilizados grupos focais com controladores de tráfego aéreo brasileiros como técnica principal e a observação como técnica secundária de geração de dados. Após a análise e categorização dos elementos em subcategorias mais específicas, discutimos e analisamos os elementos mais recorrentes de maneira que eles possam ser utilizados como subsídios para uma revisão da escala atual.

## 6 RESULTADOS

Das 12 pesquisas já concluídas, três estão ligadas à linha de pesquisa sobre descrição e análise linguística, se utilizando dos recursos tecnológicos como *softwares* de Linguística de Corpus e ferramentas terminológicas. Prado (2015) compilou um corpus de comunicações entre pilotos e ATCos em âmbito internacional, e concentrou-se na análise dos padrões de uso de léxico e gramática, com resultados que impactam diretamente a forma de ensinar e a avaliar esses profissionais. Tosqui-Lucks (2016) compilou um corpus das comunicações ocorridas no espaço aéreo brasileiro, o que permite conhecer e analisar as características dessa comunicação realizada por ATCo brasileiros. Bites-Gonçalves (2017) apresentou, como resultado de sua pesquisa, um glossário português-inglês para situações de emergência, ou seja, um produto terminológico que pode ser consultado por controladores de ACC em seu ambiente de trabalho, ou também empregado em momentos de capacitação e treinamento, e que poderá ser usado como modelo para a elaboração de glossários semelhantes, para outros órgãos operacionais (Torre e Controle de Aproximação). Assim, essas três pesquisas permitem um conhecimento mais aprofundado da natureza da linguagem empregada por pilotos e controladores, o que é mister para a elaboração de bons instrumentos de ensino e de avaliação, voltados especificamente para situações de fuga à rotina e de emergência.

Em relação à linha de ensino-aprendizagem, há três pesquisas sobre análise de LD. Bonifácio (2015) elaborou um *checklist* com 117 itens para avaliar se um LD é adequado para que o estudante seja capacitado nas competências lexicais, gramaticais e funcionais descritas no Doc 9835 da OACI. Já Dias (2916) analisou o uso de imagens nos LD para ensino de inglês aeronáutico, constatando que nem todas servem a propósitos didáticos de forma adequada e Babboni (2017) concentrou-se na forma como pronúncia é ensinada nesses materiais, levando em consideração o ATCo brasileiro. Ainda dentro dessa linha, Cruz (2015) elaborou atividades para conscientizar esses alunos quanto às suas grandes responsabilidades profissionais e como a proficiência linguística é parte de suas habilidades. Essas pesquisas são muito importantes para indicar o rumo que os materiais didáticos voltados a esse fim específico devem seguir. Infelizmente, por desconhecimento da área e da natureza da linguagem utilizada nesse contexto, nem sempre os cursos ou LD encontrados no mercado oferecem procedimentos metodológicos e conteúdo alinhados com as reais necessidades dos envolvidos, voltando-se mais ao inglês geral e deixando de priorizar a linguagem do dia a dia do controlador/piloto, o que é fundamental para a segurança.

Ainda sobre ensino-aprendizagem, o grupo tem três pesquisas sobre levantamento de análise de necessidades: Marshal (2014) estudou sobre os controladores que atuam com Defesa Aérea, Chini (2015) os ATCos em formação e Silva (2017) os aviadores da Esquadrilha da Fumaça. As três pesquisas apresentam propostas de como esse levantamento de necessidades pode ser utilizado no ensino e na avaliação de proficiência linguística desses profissionais, para que sejam instrumentos que contribuam para a segurança da aviação.

Duas pesquisas estão mais voltadas para conhecer melhor as questões linguísticas e extralinguísticas que subjazem as comunicações aeronáuticas e dar voz aos envolvidos nos processos de ensino e avaliação de inglês aeronáutico. Monteiro (2009) utilizou-se de taxonomias e grupos focais para analisar questões não somente linguísticas, mas discursivo-interacionais e interculturais entre pilotos e controladores. Ao ouvir esses profissionais, pode constatar que há relações de poder, hierarquia, conceitos preestabelecidos e visões do trabalho e da proficiência do outro que influenciam nessa comunicação. Já Garcia (2015) consultou avaliadores e aplicadores de testes de proficiência de inglês aeronáutico sobre os critérios de avaliação propostos na escala apresentada no Doc 9835 e apresentou, como resultado, sugestões concretas de mudanças nessa escala e nos critérios de avaliação. Dentre essas sugestões, destaca-se a proposta de um *Working Paper* que foi analisado em um Seminário da OACI em 2017.

Dentre as pesquisas que ainda estão sendo desenvolvidas, algumas são continuidades das pesquisas concluídas. Monteiro se concentra nos fatores interculturais que permeiam a comunicação entre pilotos e controladores em ambientes internacionais, analisando as potenciais ameaças à segurança operacional que podem emergir de mal-entendidos ou pressupostos ligados a questões como diferenças no estilo de comunicação, relutância em declarar emergência, salvar face, atitudes de cortesias, entre outras. Tosqui-Lucks está elaborando atividades didáticas com base no corpus que compilou, enquanto Prado, utilizando e expandindo o corpus compilado na pesquisa anterior, analisa questões de fluência e interação que, juntamente com vocabulário e gramática, compõem a grade de itens a serem avaliados, de acordo com a escala proposta pela OACI no Doc 9835.

Em relação à linha de pesquisa de avaliação de proficiência, e também se utilizando de um corpus dessas comunicações, Guerreiro está analisando as estratégias comunicativas empregadas por controladores de tráfego aéreo brasileiros. A pesquisa pretende contribuir para a definição de competência estratégica na proficiência em inglês para o controle de tráfego aéreo. Aragão tem como objetivo oferecer contribuições para uma revisão da escala proposta pela OACI, de forma a melhor representar a situação alvo da comunicação entre pilotos e controladores. Já Raymundo investiga se os níveis de proficiência atribuídos pelo EPLIS se confirmam no desempenho de controladores considerados com nível operacional (NP4) em situações reais de comunicação com pilotos em língua inglesa. Souza estuda os efeitos retroativos do exame EPLIS na formação de controladores de tráfego aéreo, examinando os aspectos positivos e negativos que podem exercer influência no ensino-aprendizagem desses futuros profissionais. Por fim, Silva, que analisou as necessidades dos aviadores da Esquadrilha da Fumaça, agora propõe o desenho de um exame para avaliar a proficiência em inglês aeronáutico desses profissionais, explicitando mais detalhadamente seu propósito, critério e construto.

Por fim, o projeto LHUFT, apresentado por Pacheco, aborda o papel da linguagem como um fator potencial para a segurança da aviação. Abarca três áreas, que vão desde a elaboração de um livro didático para ensino de pilotos e de um corpus baseado em situações de emergência, até uma proposta de taxonomia para análise de acidentes e incidentes de aviação causados, de alguma maneira, por problemas na comunicação em língua inglesa. Seus resultados confirmam a importância da linguagem como um fator a ser analisado de forma independente de outros fatores humanos e recomendam que a investigação de acidentes e incidentes envolva, entre outros peritos, especialistas da área da linguagem.

Podemos constatar que, de uma maneira ou de outra, todas as pesquisas do grupo, tanto já concluídas quanto ainda em andamento, apresentam contribuições concretas para a segurança da aviação. Algumas buscam compreender a natureza da linguagem das comunicações entre pilotos e controladores e das suas peculiaridades, analisar suas características e detectar em que situações podem oferecer ameaças à segurança – propondo ações para mitigar esse risco. Outras estão mais focadas no ensino, seja na formação ou na capacitação continuada tanto de pilotos quanto de controladores, investigando as necessidades desses profissionais em diferentes contextos, seja analisando os livros didáticos disponíveis no mercado ou propondo novas formas de ensinar e aprender. Há pesquisas, ainda, voltadas para os instrumentos de avaliação de proficiência desses profissionais, ora analisando os exames já existentes e propondo melhorias e adequações à proposta da OACI, ora propondo novos exames para contextos específicos.

Como sabemos, acidentes e incidentes aéreos são causados por vários fatores, e a comunicação pode ter um papel importante tanto na prevenção quanto na causa deles, dependendo da proficiência dos profissionais envolvidos. Acreditamos que as pesquisas de nosso grupo se complementam e conseguem abranger diferentes aspectos que, somados, constituem contribuições concretas para a segurança de voo não só nos céus do Brasil, mas para todos os usuários de transporte aéreo internacional, como veremos, a seguir, na divulgação desses resultados.

## 7 DIVULGAÇÃO DOS RESULTADOS

Em consonância com seus objetivos, os membros do GEIA procuram divulgar os resultados de suas pesquisas em eventos das áreas afins tanto de Linguística (Linguística Aplicada, Avaliação de línguas, Ensino-aprendizagem de línguas, Línguas para fins específicos, Formação de Professores, Linguística de Corpus, Terminologia) quanto na área de aviação (Segurança da Aviação, Fatores Humanos na Aviação, Capacitação profissional na Aviação). Dentre esses eventos, destacamos a participação periódica, com apresentação de resultados de pesquisas e Workshops, de 04 membros do GEIA na *International Civil Aviation English Association* (ICAEA), a mais importante associação criada para tratar dos requisitos de proficiência linguística estabelecidos pela OACI, com eventos anuais e representantes de estados membros da OACI, autores de livros didáticos, desenvolvedores de exames de proficiência, autoridades de aviação civil, professores, examinadores, representantes de classes de pilotos e controladores. Em 2013, a ANAC sediou um evento da ICAEA em Brasília, o primeiro realizado no Brasil, o qual contou com apresentações de membros do GEIA representantes do ICEA e da ANAC. Em 2017, essa associação criou a ICAEA *Research Group*[4], um grupo com os pesquisadores da área mais atuantes na associação, a fim de estabelecer direcionamentos embasados em pesquisas acadêmicas para serem divulgados na comunidade internacional e para a própria OACI. Fazem parte desse grupo 05 membros do GEIA, o que confere uma excelente representatividade do Brasil nesse grupo. Em 2016 e 2017, membros do grupo também apresentaram trabalhos em eventos importantes da área de Linguística de *Corpus* e de Pragmática

[4] Mais informações em: https://www.icaea.aero/about-icaea/icaea-research-group/

no Brasil e no exterior. Ainda em 2016, a líder do grupo fez uma apresentação no Simpósio de Segurança de Voo, organizado pelo IPEV, e o artigo resultante dessa apresentação, elaborado pelas integrantes do grupo do ICEA, foi publicado na Revista Conexão SIPAER. Em 2017, pesquisadores do GEIA também participaram do *Language Testing Research Colloquium*, o mais importante evento internacional na área de avaliação em contexto de línguas, que teve lugar m Bogotá.

Além das participações em eventos externos, o GEIA realiza seminários anuais no ICEA desde 2004. Todas as informações sobre o grupo, seus membros, pesquisas, publicações, bem como as apresentações completas desses seminários e fotos podem ser encontradas no site do grupo: http://pesquisa.icea.gov.br/geia/inicial.php. A fim de dar mais visibilidade aos trabalhos do grupo, em 2018 o *site* foi disponibilizado também em língua inglesa.

Outra importante medida de divulgação das pesquisas é a publicação de um livro com os resultados das pesquisas. Esse projeto se encontra em fase adiantada, com previsão de lançamento também em 2018. Além de conter artigos redigidos por membros do grupo e pesquisadores convidados, o livro trará também um glossário inglês-português que pretende ser uma obra de referência e consulta a todos os interessados no inglês aeronáutico. Consideramos essa uma importante contribuição aos estudos da área, ainda tão escassos, principalmente em língua portuguesa.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O GEIA tem hoje 12 pesquisas concluídas e 09 pesquisas em andamento, sendo de Mestrado, Doutorado, Pós-doutorado e Pesquisas Institucionais. São envolvidas diversas organizações militares: ICEA, DECEA, EEAR, AFA e também a ANAC. No âmbito acadêmico, as pesquisas são realizadas em instituições reconhecidamente de referência nacional: USP, Unicamp, UnB, Unitau, PUCRS, além da Universidade de Lancaster, no Reino Unido, e Carleton, no Canadá. Acreditamos que a reunião de tantas pesquisas e pesquisadores com diferentes procedências, pontos de vista e formas de abordar os estudos do inglês aeronáutico e suas aplicações para ensino-aprendizagem e avaliação, bem como o intercâmbio com os agentes dessas áreas em todo o mundo podem oferecer contribuições concretas para a segurança de voo no que tange à comunicação radiotelefônica em língua inglesa.

Esse artigo buscou oferecer uma contribuição para a segurança de voo por meio da apresentação de um Grupo de Pesquisa dedicado ao estudo de inglês aeronáutico, o que se constatou ser um fator importante para a comunicação piloto-controlador em tráfego aéreo internacional.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a todos os membros do grupo que, com muita determinação e afinco, buscam, nos alicerces acadêmicos da pesquisa científica, deixar sua parcela de contribuição para a segurança das comunicações no espaço aéreo brasileiro e mundial.

## REFERÊNCIAS

BABBONI, C. A **Atividades de pronúncia em livros didáticos de Inglês Aeronáutico:** reflexões sob o prisma de falantes de português brasileiro. 2017. 187 f. Dissertação (Mestrado em Linguística Aplicada) – Faculdade de Ciências Sociais e Letras, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2017.

BITES GONÇALVES, S. S. **Open to talk - emergências:** um glossário português/inglês para as comunicações radiotelefônicas entre pilotos e controladores de tráfego aéreo. Brasília: Departamento de Línguas Estrangeiras e Tradução, Universidade de Brasília, 2017, 116 f. Dissertação de mestrado.

BONIFÁCIO, E. M. R. **Critérios de avaliação de livro didático para o ensino-aprendizagem de inglês para controladores de tráfego aéreo brasileiros:** uma proposta de checklist**.** 170 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Linguísticos e Literários em Inglês) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Licenças e certificados de habilitação técnica para controladores de tráfego aéreo:**ICA 100-18, 2011.

_____. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Publicações. **Fraseologia de tráfego aéreo (MCA 100-16)**. Rio de Janeiro: DECEA, 2013. Disponível em: <http://publicacoes.decea.gov.br> Acesso em: 23 abr. 2014.

_____. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Publicações. **Plano de implementação dos requisitos de proficiência em inglês (PCA 37-9), para o período 2014/2016.** Rio de Janeiro: DECEA, 2014. Disponível em: < http://eplis.icea.gov.br/> Acesso em 05 mar. 2014.

CHINI, M. R. R. C. **Ensino-aprendizagem de Inglês para o Controlador de Tráfego Aéreo Brasileiro:** em busca de novos rumos 2014. 195 f. Dissertação (Mestrado em Linguística Aplicada) – Faculdade de Ciências Sociais e Letras, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2014.

CRUZ, A. P. C. S. **Conscientização linguística e profissional para o controlador de tráfego aéreo:** uma proposta didática para o ensino - aprendizagem de Língua Inglesa baseada em tarefas 2015. 137 f. Dissertação (Mestrado em Linguística Aplicadas) – Faculdade de Ciências Sociais e Letras, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2015.

CUSHING, S. **Fatal words**: communication clashes and aircraft crashes. Chicago: Chicago, 1995.

DIAS, R. T. S. **Análise de imagens no livro *Aviation English*:** uma contextualização para o ensino de ESP para controladores de tráfego aéreo pré-serviço brasileiros. 2016. 207 f. Dissertação (Mestrado em Linguística Aplicada) – Faculdade de Ciências Sociais e Letras, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2016.

GARCIA, A. C. M. **What do ICAO Language Proficiency Test Developers and Raters Have to Say about the ICAO Language Proficiency Requirements 12 Years after their Publication?** 2015. 114 f. Dissertação (MA in Language Testing (by distance) degree) – Department of Linguistics and English Language, Lancaster University, Lancaster, United Kingdom, 2015.

MATHEWS, E. **A Review: Language in Human Factors**. LHUFT Center, 2011. https://docs.wixstatic.com/ugd/ff1926_eb5d9d901e984927aa905166c8c245d1.pdf>. Acesso em: jul. 2017.

MONTEIRO, A. L. T. **Comunicações entre pilotos e controladores de voo:** fatores linguísticos, discursivo-interacionais e interculturais. 2009. 382 f. Dissertação (Mestrado em Linguística Aplicada) – Faculdade de Letras, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. **Manual on the implementation of ICAO language proficiency requirements:** Doc 9835 AN/453. 1a ed. Montreal: OACI, 2004.

_____. **Manual on the implementation of ICAO language proficiency requirements:** Doc 9835 AN/453. 2a ed. Montreal: OACI, 2010.

_____. **Personnel licensing:** Annex 1 to the Convention on International Civil Aviation. 10a ed. Montreal: OACI, 2006.

_____. **Aeronautical telecommunications:** Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation: – v. II. Montreal: OACI, 2001.

_____. **Air traffic management:** Doc 4444 ATM/501. Montreal: OACI, 2008.

PRADO, M. **Levantamento dos padrões léxico-gramaticais do inglês para aviação:** um estudo vetorado pela Linguística de *Corpus*. 2015. 133 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Linguísticos e Literários em Inglês) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SCARAMUCCI, M.V.R; GATTOLIN, S.R.B.; ROCHA, C.H.; SATO, E.T.N; AZEVEDO, N.C **Validação do exame de proficiência em língua inglesa para profissionais prestadores de serviços de tráfego aéreo do SISCEA.** Relatório final de pesquisa, Campinas, SP: Unicamp, 2010, 243 p.

SILVA, A. L. B. C. **Uma Análise de Necessidades de uso da Língua Inglesa por Oficiais Aviadores do Esquadrão de Demonstração Aérea da Força Aérea Brasileira**. 2016. 278 f. Dissertação (Mestrado em Linguística Aplicada) – Instituto de Estudos da Linguagem, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

TOSQUI-LUCKS, P.; SOUZA, P. R.; RAYMUNDO, N. A.; GUERREIRO, N. C.; ARAGÃO, B. F. **Ensino e Avaliação de Língua Inglesa para Controladores de Tráfego Aéreo como Requisito de Segurança em Voo.** Revista Conexão SIPAER (Brasília), Vol. 7, No 1. 2016.

....

# O envolvimento do fabricante nos processos de investigação de acidentes

*Frederico Moreira Machado* [1]

1 Embraer S.A.

**BIOGRAFIA:**

O Engenheiro Frederico participou entre 2006 e 2008 do Programa de Especialização em Engenharia da Embraer, o que lhe permitiu defender seu Mestrado Profissional na área de análise de ocorrências de excursão de pista. Desde 2008 atua na área de Segurança Operacional da Embraer, tendo trabalhado com análise de dados de gravadores de voo. Desde 2011 vem atuando no grupo de suporte a investigações de acidentes aeronáuticos com produtos da Embraer, tendo participado em diversas investigações nos âmbitos doméstico e internacional.

**RESUMO:** A participação do fabricante de aeronaves nos processos de investigações de acidentes e incidentes de seus produtos tem potencial de trazer diversas contribuições técnicas ao processo. Isto se deve ao fato de que o fabricante conhece profundamente seu projeto desde os estudos conceituais e preliminares, passando pelas fases de detalhamento e de desenvolvimento de sistemas e seus componentes junto aos fornecedores e por fim, realizando a campanha de ensaios em voo e em solo com milhares de horas de testes com vistas à certificação de tipo da aeronave. Somam-se a esta vivência, os processos de treinamento de tripulantes, entrada em serviço, suporte ao cliente e aeronavegabilidade continuada. Toda esta experiência permite ao fabricante ter uma perspectiva única sobre o projeto, acumulando conhecimentos valiosos sobre o seu ciclo de vida os quais, se empregados no processo de investigação, poderão enriquecê-lo substancialmente, conduzindo a recomendações de segurança operacional mais eficazes. Desta forma, este artigo pretende fazer uma breve discussão do ciclo de vida dos projetos aeronáuticos sob a perspectiva do fabricante da aeronave para em seguida, ilustrar como este histórico pode se converter em contribuições significativas para o processo de investigação de acidentes e incidentes com seus produtos. O artigo irá elucidar as diversas maneiras pelas quais o fabricante da aeronave pode apoiar o processo de investigação através de exemplos reais em que o fabricante apoiou a autoridade investigadora com informações reunidas ao longo do ciclo de vida de seus projetos. Desta forma, espera-se atingir o objetivo primário de elucidar a atuação do fabricante nos processos de investigação e como seu envolvimento pode ser benéfico para a elevação dos níveis de segurança na operação.

**Palavras Chave:** Investigação de acidentes, projetos aeronáuticos.

# Manufacturer Involvement in the Processes of Accident Investigation

**ABSTRACT**: The participation of the aircraft manufacturer in the process of investigation of accidents and incidents affecting his/her products has the potential to bring forward several technical contributions to the process. The reason is that the manufacturer has deep knowledge of the project right from the start, from the conceptual and preliminary studies, passing through the phases of detail and development of systems and components with their suppliers and, finally, conducting the campaign of in-flight and on-the-ground trials with thousands of hours of testing for aircraft type certification. Adding to this experience, there are the processes of crew training, commissioning, support to customers, as well as, continued airworthiness. All of this background allows the manufacturer to have a unique perspective on the project, accumulating valuable knowledge about the product's life cycle which, if applied to the investigation process, can substantially enrich it, leading to more effective safety recommendations. Therefore, this article intends to briefly discuss the life cycle of aviation projects from the perspective of the aircraft manufacturer, and, as a next step, to illustrate how significant contributions can be made to the process of investigation of accidents and incidents involving his/her products. The article will clarify the various ways in which the aircraft manufacturer can support the investigation process by means of actual examples in which he/she has supported the investigating authority with information gathered throughout the life cycle of his/her projects. Thus, one expects to reach the primary objective of the role of the manufacturer in the investigation process, and show how his/her involvement may turn beneficial for the increase of the safety levels in the operation.

**Keywords:** Investigation of accidents. Aviation projects.

**Citação:** Machadoucks, FM. (2018) O envolvimento do fabricante nos processos de investigação de acidentes. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 65-72

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme referido anteriormente, o fabricante tem considerável envolvimento no ciclo de vida de seus projetos aeronáuticos. O envolvimento tem início em contínuas análises de mercado que visam identificar oportunidades de negócio com potencial de serem convertidas em um projeto aeronáutico viável. O projeto pode ser tão complexo quanto a concepção de um novo modelo de aeronave a partir de uma "folha em branco" ou tão simples quanto a introdução de uma nova funcionalidade para um modelo de aeronave já existente. As análises mercadológicas conduzidas geram um conjunto de requisitos os quais serão analisados por um departamento do fabricante responsável por conceber o projeto. Na Embraer, este departamento é

conhecido como *Anteprojeto*. As primeiras etapas são os estudos conceituais e preliminares, sendo seguidas pela etapa de detalhamento do projeto (Raymer, 1992). O primeiro capítulo deste artigo trata das etapas de estudos conceituais e preliminares.

Após o detalhamento, advém a etapa de certificação de tipo do projeto. O segundo capítulo discute aspectos dos ensaios realizados com o intuito de garantir que o projeto atenda aos requisitos definidos pelas autoridades de certificação para aquele tipo de aeronave. Note que tais requisitos somam-se aos requisitos de mercado estabelecidos no início do projeto.

O terceiro capítulo trata de uma importante frente de atuação do fabricante junto às autoridades: a definição dos requisitos de treinamento de pilotos. Neste ponto o artigo apresenta a atuação do fabricante e como esta experiência foi empregada em uma investigação real de acidente.

Após a certificação do projeto que culmina com a emissão do certificado de tipo por parte da autoridade certificadora, o fabricante passa ter uma responsabilidade muito relevante para a segurança de seu projeto: a aeronavegabilidade continuada. O capítulo final do artigo trata precisamente desta frente de trabalho, trazendo um exemplo interessante de como esta atuação do fabricante deixou o projeto da aeronave ERJ 145 mais seguro.

Naturalmente, estes tópicos não esgotam a atuação do fabricante de um projeto aeronáutico ao longo de seu ciclo de vida. Entretanto, espera-se motivar reflexões no sentido de que toda esta vivência pode e deve ser empregada nos processos de investigação desde que a liderança de tais processos mantenha independência em relação a todas as partes interessadas envolvidas.

## 2 ESTUDOS CONCEITUAIS E PRELIMINARES

Conforme referido na introdução do artigo, a área de anteprojeto recebe um conjunto de requisitos da área de inteligência de mercado e com base nestes requisitos dá início a uma série de estudos. Note que tais estudos são conduzidos sem conhecimento do público externo na medida em que ainda não há uma autorização da alta gestão da empresa no sentido de se comprometer com aquele projeto. É possível que ao longo destas etapas, o projeto se mostre inviável. Cabe salientar que a decisão de comprometer-se publicamente com um novo projeto de aeronave significa o investimento de vultosos recursos financeiros ao longo de anos. Caso o projeto não traga o retorno financeiro esperado, pode-se colocar até mesmo a sobrevivência da empresa em cheque (Raymer, 1992).

Os estudos conceituais têm o objetivo principal de determinar o arranjo da configuração da aeronave (questões como se o motor será instalado sob as asas ou na fuselagem), dimensões, pesos e características básicas de desempenho. A pergunta primordial a ser respondida na fase de estudos conceituais é se uma aeronave pode ser concebida de forma economicamente viável para atender aos requisitos de mercado propostos. Uma vez determinados estes pontos, tem início a fase de estudos preliminares, caracterizada por um maior detalhamento da aeronave. Neste ponto, a configuração básica da aeronave está definida, embora pequenas modificações sejam aceitáveis. Especialistas de diversos sistemas e áreas de conhecimento se dedicam aos seus respectivos assuntos, buscando dimensionar espaços necessários para instalação de equipamentos, tubulações, volume disponível para armazenar combustível, alojamento de trem de pouso e outros detalhes. Uma decisão típica desta fase é o chamado *lofting,* que consiste numa definição detalhada da superfície externa da aeronave, o que determina de forma definitiva o volume disponível para estruturas e sistemas da aeronave, bem como as características de desempenho aerodinâmico, uma vez que este trabalho inclui o detalhamento dos perfis das superfícies aerodinâmicas. Neste ponto simulações e ensaios de túnel de vento são realizados para determinar os parâmetros aerodinâmicos que auxiliarão na verificação dos requisitos de desempenho do projeto.

Estas etapas do projeto deixam uma extensa documentação sobre as decisões tomadas e que determinam as principais características da aeronave. Tais registros podem ser valiosos no contexto de investigação caso alguma característica de projeto possa ter de alguma forma atuado como fator contribuinte em algum incidente ou acidente. Como exemplo, os investigadores poderão se valer destas informações para propor para autoridades de certificação novas filosofias de projeto a serem incluídas nos requisitos de certificação a fim de garantir que futuros projetos sejam mais robustos.

O trabalho de desenvolvimento é seguido pelo detalhamento do projeto, agora com foco especificar os componentes da estrutura e dos diversos sistemas, incluindo decisões sobre como estes componentes serão fabricados. A partir deste ponto as conversas com a autoridade de certificação ganham intensidade no sentido de mostrar o cumprimento de todos os requisitos de certificação estabelecidos na base de certificação do projeto.

## 3 ENSAIOS EM VOO / BANCADAS DE TESTES

O trabalho de ensaios em voo e em solo corresponde a um relevante aspecto da atuação do fabricante de aeronaves ao longo do ciclo de vida de um projeto. Embora cada vez mais características dos projetos possam ser analisadas através de simulação computacional, a realização de ensaios em componentes reais, aí incluídos protótipos ou bancadas de testes das aeronaves, ainda tem um peso importante. Naturalmente, a maior carga deste trabalho concentra-se no período que antecede a certificação do projeto, período em que o fabricante atua no sentido de comprovar que o projeto cumpre com diversos dos requisitos estabelecidos na sua base de certificação. Com isso, são realizados voos nos protótipos com o objetivo de demonstrar à autoridade

certificadora características de manobrabilidade em distintas configurações de flap, trem de pouso e formas de gelo, determinação de distâncias de pouso, ensaio de máxima energia de frenagem, evacuação da cabine de passageiros, entre outras demonstrações que não podem ser prescindidas, a despeito do atual estado de evolução das tecnologias computacionais. Além disto, mesmo após a certificação de tipo do projeto, algumas modificações podem ser necessárias as quais podem demandar ensaios nos protótipos. Os ensaios em solo também desempenham uma valiosa função no contexto do desenvolvimento e certificação de produtos aeronáuticos. Destacamos os chamados *rigs* de testes que representam um ou mais sistemas da aeronave real, tal como o *iron bird*, que reproduz os sistemas hidráulicos e seus respectivos clientes tais como os trens de pouso e comandos de voo. A Figura 1 apresenta a foto da cabine de comando do *iron bird* do Embraer 190. Com tais dispositivos é possível antecipar como um determinado componente irá se comportar no sistema antes mesmo que este componente tenha realizado sequer um voo.

**Figura 1** – Cabine do *iron bird* do Embraer 190 (Embraer)

Para exemplificar como estes dispositivos de ensaio podem ser úteis no contexto de investigações, relembramos de alguns casos com a família de aeronaves E-Jets da Embraer. Houve algumas ocorrências nesta família de aeronaves em que o trem de pouso de nariz deixou de estender antes do pouso. As investigações mostraram que quando a tripulação comandou o abaixamento do trem de pouso, o trem de nariz girou inadvertidamente no interior de seu alojamento, causando uma interferência mecânica que impediu o abaixamento do trem de pouso de nariz. A consequência deste comportamento do trem de nariz levou a pousos com este dispositivo não estendido (CENIPA, 2015). As investigações identificaram que em todas as ocorrências, houve uma falha no controlador eletrônico de *steering* das rodas do trem de nariz, conhecido como NWSCM (*Nose Wheel Steering Control Module*). Apesar de esta falha do controlador ter ficado evidente, não estava claro para os investigadores o motivo da rotação não comandada do trem de nariz. Outro fato que foi constatado em todas as ocorrências desta natureza foi um ajuste inadequado dos sensores de posição do sistema de *steering*, cujo propósito é controlar a direção dos deslocamentos da aeronave no solo. O NWSCM é um módulo eletrônico que controla a rotação do trem de pouso de nariz, que é atuado hidraulicamente. O sistema de controle de rotação se vale dos já mencionados sensores de posição, os quais monitoram continuamente o ângulo de rotação do trem de nariz. A Figura 2 ilustra a instalação destes sensores de posição.

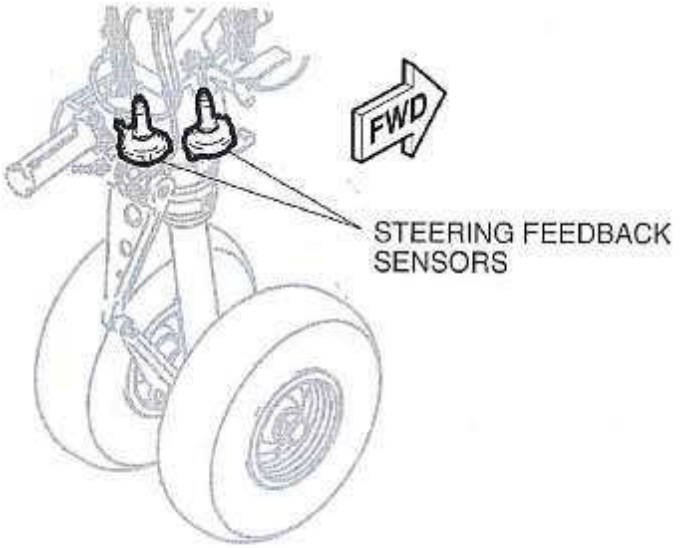



**Figura 2** – Sensores de posição do trem de nariz do Embraer 190 (CENIPA)

Durante o voo, sempre que estes sensores identificam que o ângulo do trem está defasado acima de um valor limite, um sinal de correção é gerado, de modo que a roda fique alinhada. Cabe ressaltar que os sensores de posição dependem de um ajuste a ser feito pela manutenção para que as leituras sejam corretas e o sistema funcione adequadamente. Foi constatado que a ocorrência simultânea da falha do NWSCM e o recolhimento do trem de nariz com a regulagem dos sensores de posição fora de seus limites de ajuste contribuíram para as ocorrências reportadas. Porém, esta constatação só se deu por apoio do recurso do *iron bird* da Embraer, no qual foram realizados testes em que estas duas condições foram intencionalmente induzidas, levando à reprodução do comando de rotação do trem de pouso quando foi dado o comando de abaixamento do trem. Este ensaio motivou análises mais aprofundadas do *software* do NWSCM, o que revelou que quando a falha acontecia, o módulo não interrompia o seu comando de correção do erro de posição, fazendo com que o trem girasse inadvertidamente quando a pressão do sistema hidráulico era restaurada, precisamente no momento em que a alavanca do trem de pouso era posicionada em baixo. Com estas descobertas um novo software para o NWSCM foi desenvolvido e disponibilizado para os operadores para que esta condição não voltasse a se repetir.

## 4 TREINAMENTO DE TRIPULANTES

Um processo muito relevante da operação da aeronave que conta com grande envolvimento do fabricante é o treinamento de tripulantes. Sem este processo, os clientes não poderiam operar suas aeronaves, uma vez que existem requisitos formais de treinamento para que uma pessoa exerça as atividades de tripulante.

A discussão sobre o treinamento formal de tripulantes junto às autoridades de certificação tem início antes mesmo de o fabricante receber o certificado de tipo de seu projeto. Isso se justifica pelo fato de que após o projeto ser certificado, serão necessários pilotos devidamente qualificados para operarem a aeronave. Para definir os detalhes do treinamento formal, o fabricante discute com a autoridade de certificação as características de operação daquela aeronave e quais são as áreas de ênfase de treinamento que devem ser observadas no curso de qualificação de seus futuros pilotos. É realizado então um amplo trabalho de avaliação operacional baseado inclusive em voos nos protótipos, com a presença da autoridade. Tal processo tem o intuito de definir o conteúdo do treinamento bem como os requisitos mínimos para que os pilotos possam iniciar o processo de qualificação naquele modelo. Além do fabricante, a concepção do programa de treinamento dos pilotos envolve também empresas provedoras de treinamento, especializadas não só em instrução aérea, mas também no desenvolvimento de simuladores de voo com avançados níveis de realismo. O papel destes simuladores é de grande relevância uma vez que muitos deles inclusive dispensam o treinamento do piloto na aeronave real. Em outras palavras, o aviador pode receber treinamento apenas no dispositivo de simulação e caso logre êxito nas avaliações, será considerado apto para operar a aeronave real, ainda que nunca tenha tido contato com uma. Os simuladores modernos contam com cabine de comando idêntica à da aeronave real, projetores de alta definição e cabine suspensa por atuadores que simulam a movimentação da aeronave, aumentando a sensação de imersão dos pilotos. Além de economizar com gastos de combustível que seriam empregados caso o treinamento fosse realizado em aeronaves reais, os simuladores permitem que sejam treinados cenários de panes que seriam demasiadamente arriscados nas aeronaves reais, e.g. fogo a bordo, falha de motor a baixa altura, falhas elétricas, perda de pressurização, entre outros.

Dentre as diversas maneiras que o fabricante e provedores de treinamento podem contribuir com a investigação no campo de treinamento de pilotos, podemos citar a verificação de cenários para o acidente utilizando o simulador de voo. Ao longo do processo de investigação, cenários são levantados e por vezes, a confirmação ou rejeição de tais cenários pode ser realizada através de simuladores de voo. Podemos citar como exemplo o acidente ocorrido nos Estados Unidos com uma aeronave Phenom 100, número de série 500-0082, ocorrido em dezembro de 2014. Este acidente foi investigado pelo órgão NTSB (*National Transportation Safety Board*). No acidente, houve perda de controle durante a aproximação final para pouso, fazendo com que a aeronave viesse a colidir contra três residências. Os três ocupantes da aeronave mais três ocupantes de uma das casas atingidas sofreram lesões fatais (NTSB, 2016). A Figura 3 ilustra a cena deste acidente.

**Figura 3** – Cena do acidente com a aeronave N100EQ (NTSB)

No curso da investigação, foi observado através dos gravadores de voo que o tempo decorrido entre a aeronave ter sido energizada e a sua decolagem foi de cinco minutos (NTSB, 2016). Sabia-se que a operação deste modelo de aeronave previa a realização de listas de verificação por parte do piloto ao longo de toda a operação. Neste modelo de aeronave, o gravador de voo começa a registrar os parâmetros assim que a aeronave é energizada pela primeira vez. A operação padrão desta aeronave assume que após a energização, seja realizada a lista de verificação correspondente, conhecida como *powerup checklist*. Em seguida, espera-se que sejam realizadas as listas de verificação pré-acionamento dos motores (*before start checklist*), pós-acionamento dos motores (*after start checklist*) e antes da decolagem (*before start checklist*). Os investigadores queriam verificar quanto tempo um piloto normalmente levaria para completar estas listas de verificação e assim confirmar se o tempo decorrido entre a energização da aeronave e sua decolagem estava coerente. Para isso, os investigadores e representantes do fabricante visitaram o provedor de treinamento para reproduzir esta sequência de ações no simulador. Cabe pontuar que este modelo de aeronave prevê operação com um único piloto e neste caso, para evitar riscos à operação, todas as listas de verificação devem ser realizadas com a aeronave parada para que o piloto não tenha distrações durante a movimentação da aeronave no solo. Desta forma, o tempo dedicado para a realização das listas de verificação não pode incluir o tempo que a aeronave precisou para taxiar até a cabeceira da pista de decolagem. O experimento demonstrou que foram necessários nove minutos para realizar as listas de verificações citadas. Além deste tempo, seriam ainda necessários mais alguns minutos para taxiar a aeronave do pátio onde estava estacionada até a cabeceira da pista. Como vimos, o tempo decorrido desde a energização da aeronave e sua decolagem foi de apenas 5 minutos, o que incluiu o tempo de deslocamento na área do aeródromo. Com isso, os investigadores do NTSB concluíram que as ações do piloto não estavam condizentes com os procedimentos padrões preconizados pelo fabricante antes da decolagem para o voo do acidente.

## 5 AERONAVEGABILIDADE CONTINUADA

A emissão do Certificado de Tipo (TC) da aeronave por parte das autoridades de certificação representa um importante momento do ciclo de vida do produto aeronáutico, pois este estabelece os requisitos aplicáveis ao projeto, conforme regulamento destas autoridades, ou seja, a base de certificação. Esta base de certificação é proposta pelo fabricante no momento da aplicação do projeto junto à autoridade de certificação e, visto que pode sofrer alterações ao longo do processo de demonstração de cumprimento dos requisitos, é somente estabelecida com a emissão do certificado. A partir da emissão do TC, o fabricante pode solicitar o Certificado de Aeronavegabilidade (CA) à autoridade. Este, por sua vez, é emitido para cada aeronave a ser entregue ao cliente/operador, a qual será considerada aeronavegável, segura, quando mantida e operada em conformidade com o Certificado de Tipo. Embora represente um marco importante, a certificação de tipo não significa o fim do trabalho técnico de engenharia por parte do fabricante no âmbito daquele programa. Neste ponto tem início o processo de aeronavegabilidade continuada.

Uma vez entrando em serviço, nas mãos de clientes mundo afora sob circunstâncias operacionais variadas, é necessário que a aeronave seja mantida segura por toda a sua vida, lidando com as chamadas dificuldades em serviço. Relatos de situações operacionais e de manutenções fora do previsto, tais como panes ou desvios de procedimentos são recebidos pelos fabricantes ou pelas autoridades certificadoras e analisadas. Por força do regulamento RBAC 21 (ANAC, 2010), muitas destas dificuldades em serviço devem ser relatadas às autoridades de certificação e estas, por sua vez, podem demandar que o fabricante tome providências para endereçar de diversas maneiras as dificuldades relatadas, tornando o projeto ainda mais seguro. A OACI (Organização da Aviação Civil Internacional) define aeronavegabilidade continuada como o conjunto de todos os processos que garantem que, em qualquer momento de sua vida, uma aeronave cumpre com as condições técnicas atreladas à emissão do Certificado de Aeronavegabilidade e é uma condição para sua operação segura (OACI, 2014). As referidas condições técnicas atreladas ao Certificado de Aeronavegabilidade não são imutáveis, uma vez que as dificuldades em serviço podem revelar novas condições, as quais eram desconhecidas quando da emissão do certificado. Ao tratar destas novas condições, estão sendo restauradas as condições primordiais para a operação segura da aeronave.

Convém pontuar que a aeronavegabilidade continuada constitui o principal vetor do interesse do fabricante em participar na investigação de acidente ou incidente com uma de suas aeronaves, uma vez que tais ocorrências podem ser consideradas um tipo de dificuldade em serviço, conforme definido acima. É natural, portanto, que o fabricante queira entender o acidente/incidente com o objetivo de verificar se as circunstâncias que levaram àquela ocorrência poderiam se repetir nas demais aeronaves da frota. Caso seja verificado que as citadas circunstâncias poderiam acontecer nas demais aeronaves da frota, o fabricante certamente terá grande interesse em adotar as medidas preventivas para que isso não ocorra.

Um exemplo que ilustra muito bem esta modalidade de contribuição do fabricante foram dois incidentes com aeronaves da família ERJ 145 nos Estados Unidos. Descreveremos aqui a ocorrência de maior severidade e que motivou a emissão de um Boletim de Serviço com a solução definitiva para a condição identificada nestes dois incidentes.

No dia 26 de março de 2002, uma aeronave ERJ 145, número de série 145-0474 e matrícula N290SK, foi atingida por uma descarga elétrica durante a fase de descida. O voo prosseguiu e pousou em segurança. A tripulação não relatou anormalidades após a descarga elétrica exceto por uma força acima do normal para realizar a manobra de arredondamento durante o pouso. No solo, foi observado que dois dos quatro cabos que movimentam a superfície do profundor estavam rompidos. Tais cabos ficam localizados na região entre os estabilizadores horizontal e vertical, local atingido pela descarga elétrica, conforme ilustrado pela Figura 4.

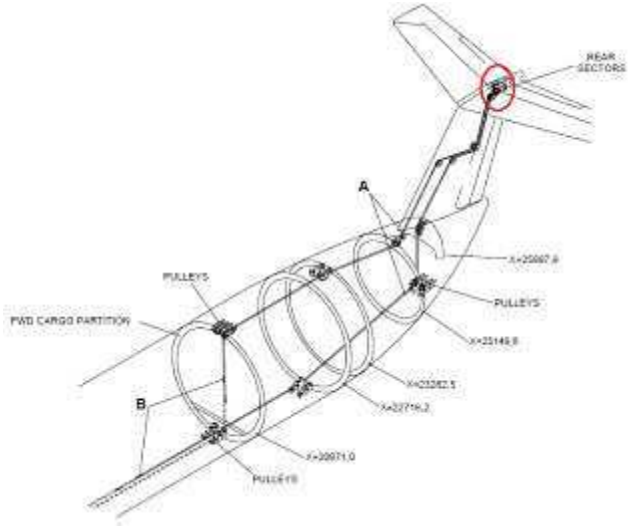



**Figura 4** – Localização do dano nos cabos de comando do profundor da aeronave N290SK (Embraer)

Foi constatado que os cabos danificados apresentavam aspecto de superaquecimento na região da ruptura, conforme ilustrado na Figura 5.

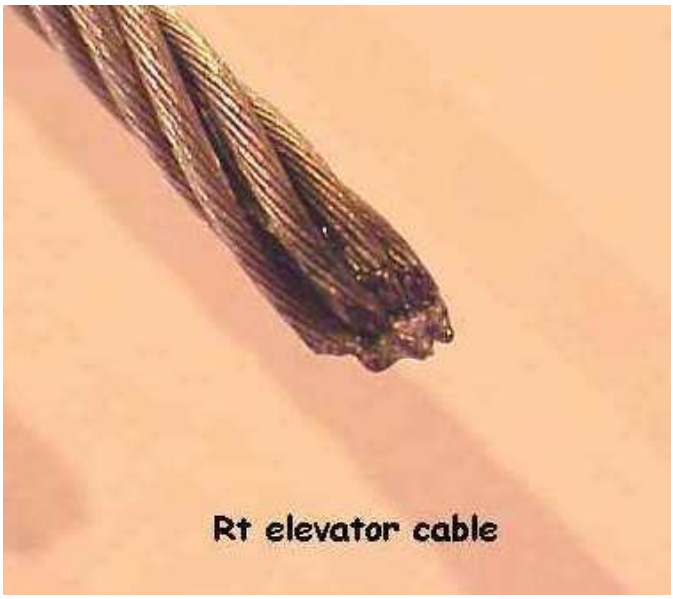



**Figura 5** – Dano em um dos cabos de comando rompidos (Embraer)

Entretanto, tal dano não poderia ter sido diretamente causado pela descarga elétrica, pois as características de projeto garantem que a descarga elétrica não seja conduzida através dos cabos de comando. O projeto prevê circuitos de condução da corrente elétrica decorrentes de descargas atmosféricas. Tais caminhos garantem que a descarga propague pela estrutura da aeronave. Nas regiões de interface, são empregados componentes metálicos como elementos de ligação, garantindo assim a continuidade deste caminho das descargas elétricas. Nesta região havia dois destes elementos de ligação entre os estabilizadores horizontal e vertical. Tais elementos também foram encontrados rompidos, também apresentando aspecto de superaquecimento. A Figura 6 ilustra tais elementos de ligação, localizados na mesma região dos cabos de comando atingidos.

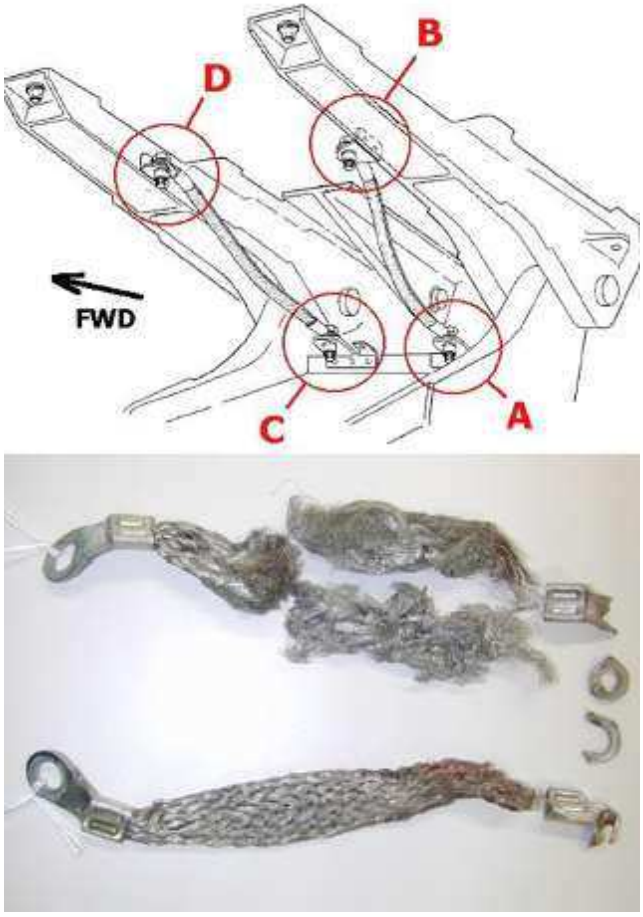



**Figura 6** – Instalação (acima) e danos observados (abaixo) nos elementos de ligação na região dos estabilizadores (Embraer)

Em uma análise mais detalhada em microscópio de varredura eletrônica destes elementos, foram encontradas além das evidências de fusão metálica, evidências de estricção do material. Tal fato indica que além do superaquecimento causado pela descarga, tais componentes foram submetidos a um esforço de tração, como se a trama metálica estivesse sendo esticada mecanicamente. Tal achado sinalizou que os elementos de ligação devem ter sofrido um esforço eletromagnético decorrente da descarga elétrica. Sabe-se que dois condutores elétricos localizados próximos entre si, quando submetidos a uma corrente elétrica, promovem um campo eletromagnético. Sabe-se ainda que uma carga elétrica em movimento, quando exposta a um campo eletromagnético sofre ação de uma força mecânica. Com isso, constata-se que os dois condutores, ao receberem uma intensa corrente elétrica foram capazes de gerar um campo eletromagnético e por estarem conduzindo carga elétrica, acabaram sofrendo uma intensa força mecânica de natureza eletromagnética e como consequência, romperam-se. Imediatamente após a ruptura, as pontas soltas dos elementos de ligação atingiram os cabos de comando que também se romperam por conta do calor. A Figura 7 apresenta em detalhe os cabos de comando rompidos pelos elementos metálicos de ligação.

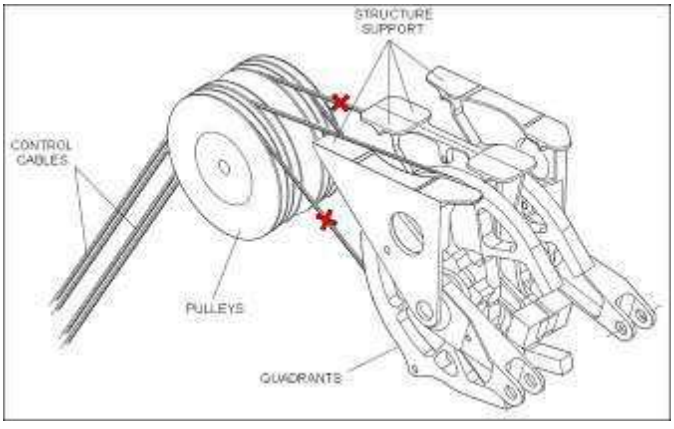



**Figura 7** – Identificação dos cabos de comando atingidos pelos elementos de ligação rompidos (Embraer)

Com este achado, o fabricante atuou junto às autoridades no sentido de alterar o projeto naquela região. Os elementos de ligação foram substituídos por componentes mais resistentes e, além disso, foi introduzida uma barreira de proteção que impede que um eventual rompimento dos elementos de ligação venha a atingir os cabos do profundor.

**AGRADECIMENTOS**

O autor gostaria de agradecer a todos os colegas que contribuíram não só na elaboração deste artigo, mas no contínuo processo de aprendizado, do qual sou grato beneficiário, que é atuar na indústria do transporte aéreo. Para a elaboração deste artigo, o autor agradece aos colegas Frederico Simões (Anteprojeto - Embraer), Fábio Arbach (Padrões Operacionais - Embraer), Felipe Orofino (Aeronavegabilidade – Embraer) e a todos os colegas da área da Segurança Operacional da Embraer.

**REFERÊNCIAS**

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC 21:** Certificação de produto aeronáutico. Brasília, 2010.

BRASIL. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **DIVOP N° 009/2015:** Pouso com o trem de nariz não baixado ou rotacionado, 2015, 6p.

ESTADOS UNIDOS. National Transportation Safety Board. **Aviation Accident Report:** Embraer EMB-500, N100EQ. Washington, 2016, 71p.

ESTADOS UNIDOS. National Transportation Safety Board. **Aviation Incident Report:** Embraer EMB-145LR, N290SK. Washington, 2003, 5p.

ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. **Doc 9760 – Airworthiness Manual**. 3.ed. Montreal, 2014.

RAYMER, D.P. **Aircraft Design: A Conceptual Approach.** Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992. 745p.

....

# A importância do sensor Tubo Pitot nas aeronaves: Um estudo de caso do voo AF 447 da Air France

*Rafael Ávila Moraes* [1]

1 Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará – FEE/UFPA.

**BIOGRAFIA:**

Rafael Ávila Moraes é graduando de Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Pará (FEE-UFPA) e graduando de Técnico em Eletrônica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA).

**RESUMO:** Manter uma aeronave no ar e garantir as condições favoráveis no percurso do voo envolve uma série de ações que independem dos comandantes. É uma cooperação mútua do piloto, centro de comando em terra e sensores distribuídos pela fuselagem do avião que possibilitam identificar, por exemplo, a pressão, o clima, a velocidade e a altitude. Um dos sensores que configuram este complexo arranjo mecânico e elétrico dos aviões é o Tubo Pitot. É um sensor que mede a pressão estática e total possibilitando assim, através de convenções físicas de proporcionalidade, também obter a velocidade e altura da aeronave. Neste caso, manter a eficiência e veracidade dos dados coletados pelo sensor é de extrema importância para a segurança do voo. No entanto, o acidente envolvendo o voo AF 447 da Air France evidenciou a importância do sensor que, nos relatórios finais, mostrou ter sido um dos fatores determinantes para a queda da aeronave. Neste estudo de caso foram analisadas as estruturas mecânicas, elétricas e funcionais do Tubo Pitot e quais as consequências do seu mau funcionamento em virtude do acúmulo de cristais de gelo no seu interior permitiram que o confronto dos dados coletados com a situação do voo resultasse no acidente do avião da companhia francesa. Tomar conhecimento do caso, constatar a importância dos sensores aeronáuticos e seu funcionamento promovendo a segurança faz-se necessário de forma que sejam encontradas alternativas que evitem acidentes futuros que, nesse caso, foram causados por fatores meteorológicos que diminuíram a precisão dos sensores, bem como, a eficiência do sistema de aquecimento interno do Tubo.

**Palavras Chave:** sensor, Tubo Pitot, acidente, Air France

# The importance of the Pitot Tube sensor in aircraft: A case study of the Air France Flight 447

**ABSTRACT**: Keeping an aircraft in the air and ensuring favorable conditions in the course of the flight involves a series of actions that are independent of the captains. It results from a mutual cooperation between the pilot, ground-based control centers, and sensors spread on the airplane fuselage that allow to identify, for example, the pressure, weather, speed and altitude. One of the sensors that compose this complex mechanical and electrical array in airplanes is the Pitot tube. It is a sensor that measures both the static and total pressures, thus allowing, by means of physical- proportionality conventions, the speed and height of the aircraft to be obtained. In the case of this flight, maintaining the efficiency and accuracy of the data collected by the sensor would be extremely important for the safety of the flight. However, the accident involving Air France Flight AF 447 showed the importance of the sensor, which, according to the final reports, turned to be one of the determining factors for the fall of the aircraft. In this case study, there was analysis of the mechanical, electrical, and functional structures of the Pitot Tube, in order to learn which consequences of the sensor malfunction after the accumulation of ice crystals allowed the mismatch of the data collected with the flight situation, leading to the accident of the French company's plane. Learn about the case, recognize the importance of aircraft sensors and their functioning in favor of safety are necessary steps to find alternatives to prevent future accidents, which, in this case, was caused by meteorological factors that reduced the accuracy of the sensors, and degraded the efficiency of the internal heating system of the Pitot tube.

**Keywords:** Sensor. Pitot tube. Accident. Air France.

**Citação:** Moraes, RA. (2018) A importância do sensor Tubo Pitot nas aeronaves: Um estudo de caso do voo AF 447 da Air France. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 73-81

## 1 INTRODUÇÃO

Acredita-se que o marco na revolução dos transportes se deu, inicialmente, com a criação das rodas que originaram meios de locomoção terrestres movidos por elas e que possibilitaram grandes viagens. Tempos depois, após o feito de Santos Dumont, uma nova era dos transportes estava por vir. O primeiro voo tripulado dava início a ideia de que as vias aéreas também poderiam ser utilizadas como rotas de viagens. O avanço da tecnologia permitiu que os aviões de outrora com apenas um ou dois tripulantes, hoje possam transportar centenas de pessoas. Desafiando a lei da gravidade, as aeronaves com toneladas de peso tornam-se leves ao ar com o objetivo de levar seus passageiros aos respectivos destinos com rapidez, conforto e, principalmente, segurança.

Diferentemente das vias terrestres onde existem placas de sinalização indicando a velocidade permitida, a direção a ser seguida e até mesmo uma advertência de perigo na estrada; as via aéreas compõem-se apenas de ar, céu e nuvens. Ela faz parte

de uma rota imaginária traçada no ar que, mesmo que imperceptível pelo passageiro ao observar pela janela do avião, é milimetricamente analisada e direcionada não apenas pelos pilotos, mas por uma série de profissionais em terra que buscam garantir a segurança das rotas a serem seguidas e dos tripulantes observando-os através dos sofisticados instrumentos de monitoramento aéreo e sensores acoplados na fuselagem dos aviões.

A cooperação mútua dos aparelhos mecânicos e elétricos pertencentes a configuração das aeronaves origina informações técnicas das condições de voo que são atualizadas a todo momento e disponibilizadas na cabine. Os diversos botões, telas e luzes indicadoras são instrumentos fundamentais no conhecimento das variáveis que permitem aos comandantes exercerem as funções as quais são capacitados. Porém, sabe-se que existe uma dependência linear que norteia a segurança de um voo: são as coordenadas dos agentes da torre de comando, o profissionalismo e as habilidades dos pilotos e a tecnologia dos sensores da aeronave.

Os parâmetros de linearidade citados anteriormente que, em seu sentido inverso, foram protagonistas de um trágico acidente aéreo que vitimou centenas de pessoas. O caso ficou conhecido como “voo 447 da Air France” em que o mau funcionamento de um importante sensor dos aviões conhecido como Tubo Pitot, aliado a uma atitude imprudente do copiloto, bem como, uma parte da rota da viagem abranger uma área indetectável aos radares, resultou na queda da aeronave no oceano atlântico. Com base nos relatórios do acidente divulgados e nos parâmetros técnicos que envolvem o caso, investigou-se a importância do arranjo sensorial das aeronaves, com foco no Tubo Pitot, analisando o seu funcionamento perante as características físicas ante ao seu comportamento no momento do acidente.

## 2 TUBO PITOT

A velocidade é uma variável indispensável quando se trata dos aviões. O aviso dado pelos comandantes a tripulação de que a decolagem foi autorizada antecede os procedimentos que levam as turbinas as potências máximas afim de obter a velocidade necessária para a aeronave alçar voo. No entanto, existe um grande aparato técnico composto por sistemas mecânicos e elétricos que garantem as condições necessárias para o voo, sendo alguns destes sistemas dependentes de sensores específicos que através dos dados obtidos em suas medições são processados por um computador e utilizados para obter, por exemplo, a velocidade verdadeira (TAS) e a velocidade calibrada (CAS).

O instrumento utilizado na medição da pressão total contribuindo na obtenção da velocidade da aeronave é o Tubo Pitot (Fig. 1). Nome dado devido à relevância dos estudos de Henri Pitot, um importante físico francês que se dedicou em solucionar problemas envolvendo a mecânica dos fluidos criando um dispositivo capaz de medir a velocidade de escoamento de um fluido através da pressão promovida por esta ação no tubo.

**Figura 1** – Tubo Pitot com sua capa protetora.
**FONTE:** (BEA, 2012a, p. 32)

O Airbus A330 é composto por nove sensores de pressão: três Tubos Pitots classificados em Captain (responsável por definir a velocidade ao piloto), First Officer (responsável por definir a velocidade ao co-piloto) e Standby (reserva) (Fig. 2) os quais são responsáveis pela medição da pressão total, e outros seis sensores de pressão estática acoplados a fuselagem.

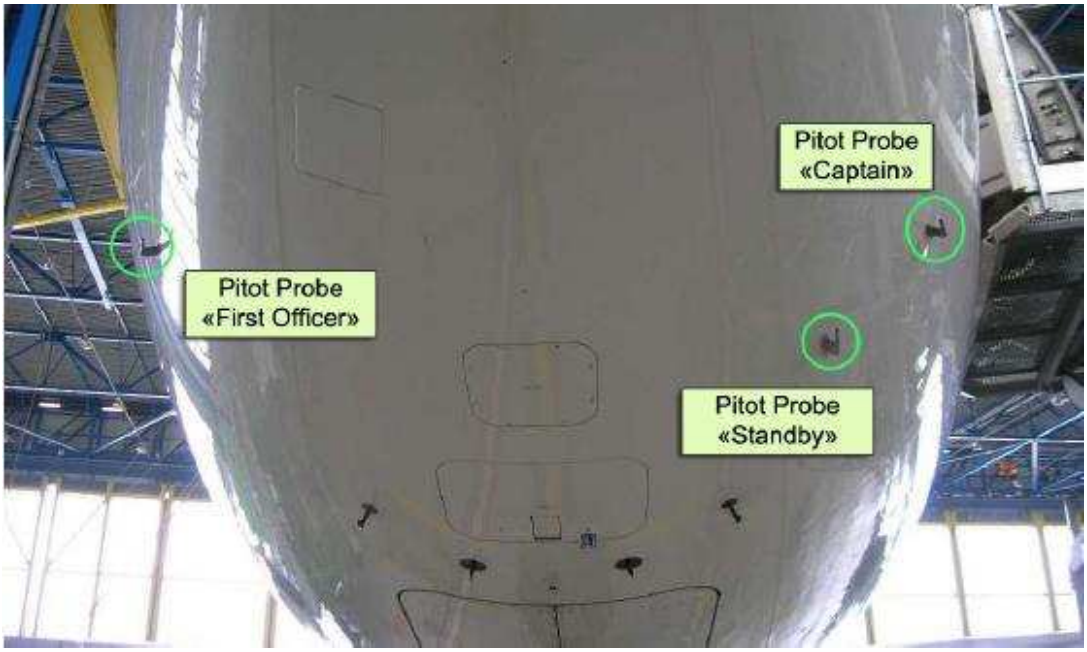



**Figura 2** – Posição dos Tubos Pitot em um Airbus A330
**FONTE:** (BEA, 2012a, p. 32)

Localizados na parte frontal da aeronave, as Sondas Pitot ficam com o tubo voltado para frente permitindo o choque com o vento na direção contrária de acordo com a velocidade aerodinâmica provocando uma pressão dentro do tubo devido ao escoamento de ar no seu interior o qual através de um aparato pneumático é verificada essa pressão formada e convertida em sinais elétricos pelos transdutores eletrônicos diferenciais permitindo a indicação da velocidade no computador de bordo.

O esquemático da Fig. 3 mostra a arquitetura do sistema de medição de velocidade existente no A330. Nele vemos vários arranjos pneumáticos e elétricos que interligam os computadores aos Tubos Pitot e aos Medidores Estáticos de pressão. O Pitot (Captain) e o Pitot (First Officer [copilot]) são ligados a um sistema pneumático que seguem para seus respectivos conversores em sinais elétricos que são processados pelos ADIRU 1 (Air Data Inertial Reference Unit) e ADIRU 2, que também recebem os sinais elétricos vindos dos conversores responsáveis pelos Medidores de Pressão Estática (Pilot e Copilot), possibilitando a leitura das velocidades no PFD (Primary Flight Display), respectivamente. O Pitot (Standby) e o Medidores de Pressão Estática (Standby) enviam sinais pneumáticos diretamente a ISIS (Integrated Standby Instrument System), os quais também são processados por conversores que levam seus dados na forma de sinais elétricos ao ADIRU 3. (BEA, 2012a, p. 33)

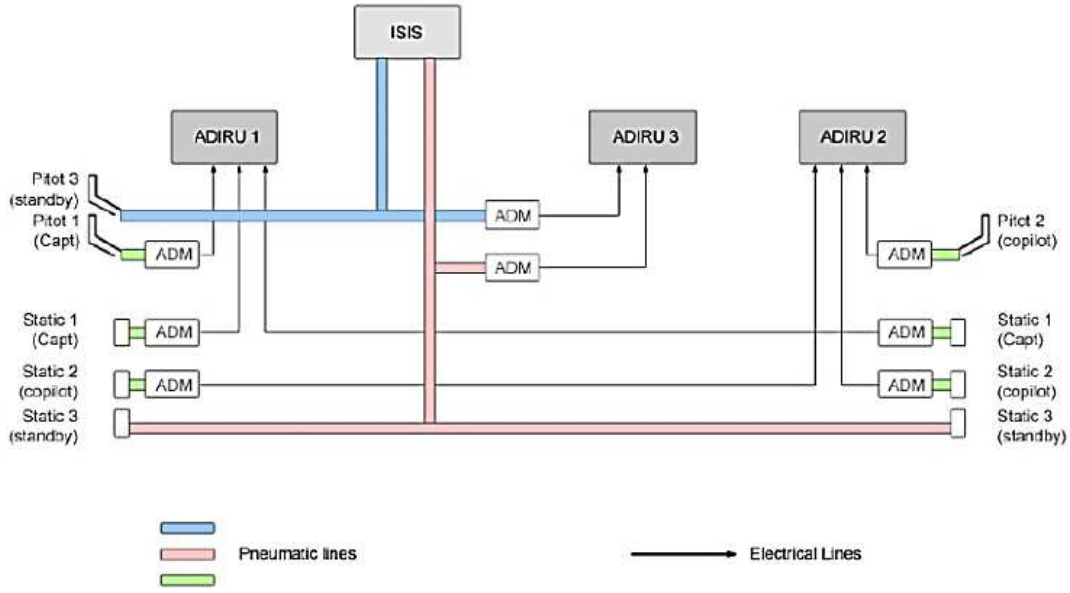



**Figura 3** – Diagrama da arquitetura do sistema de medição de velocidade
**FONTE:** (BEA, 2012a, p. 33)

Para Brunnetti (2008) a obtenção da vazão do fluido está na conversão de energia cinética para pressão em decorrência do choque contínuo das partículas que chegam na entrada do tubo, onde acarreta a variação de pressão para medição da velocidade.

Segundo Schneider (2000, p. 25) para entender a compressibilidade de escoamento de um fluido é necessário que se leve em conta a compressibilidade de um fluido quando sua massa específica (ρ) apresenta variações em função da pressão (p) imposta demonstrada na Eq. 1:

$$\frac{\partial \rho}{\partial p} \neq 0 \qquad (1)$$

Tratando-se do fluxo de ar no Tubo Pitot, para fluidos gasosos toma-se como referência o número de Mach (Ma) para classificar o tipo de escoamento para gases o qual White (2002) classificou de acordo com a Tabela 1:

**Tabela 1** - Tipos de escoamentos gasosos segundo o número de Mach.
**FONTE:** WHITE (2002)

| | |
|---|---|
| Ma > 0,3 | Incompressíveis |
| 0,3 < Ma < 0,8 | Escoamento subsônico, alteração da massa específica, porém sem ondas de choque. |
| 0,8 < Ma < 1,2 | Escoamento transônico, com aparecimento de ondas de choque, porém com regiões distintas e separadas de escoamento sub e supersônicos. |
| 1,2 < Ma < 4,0 | Escoamento supersônico |
| Ma > 4,0 | Escoamento hipersônico |

O BEA (2012a, p. 22) diz que o voo AF 447 dava-se em voo transônico com valor de Mach em dado momento registrado em 0,8. Matematicamente, a equação de Saint Venant (Eq. 2) é a melhor aplicada aos parâmetros de voo e escoamento definido, demonstrados por:

$$V_{TAS}^2 = \frac{2\gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{p_H}{\rho_H} \left[ \left( \frac{q_c}{p_H} + 1 \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right] \qquad (2)$$

Onde: $V_{TAS}$ é a velocidade verdadeira ("*True Air Speed*"), $\gamma$ = 1,4, $q_c$ a pressão dinâmica obtida empregando o Pitot, $p_H$ e $\rho_H$ a pressão estática e densidade do ar na altitude ($H$) de voo.

Dividindo a (Eq. 2) pela velocidade do som, na altitude de voo, teremos como resultado o número de Mach (Eq. 3).

$$Ma^2 = \frac{2}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{q_c}{p_H} + 1 \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right] \qquad (3)$$

Garantir o bom funcionamento da Sonda envolve diversos cuidados que precisam ser tomados como referência, pois existem situações nas quais sua função principal pode ser comprometida como as relacionadas a obstrução do tubo.

Um acidente envolvendo o avião da empresa aérea turca Birgenair que decolou de Puerto Plata na República Dominicana, onde estava estacionado há 25 dias, com destino a Frankfurt na Alemanha, destacou a importância da proteção dos Tubos Pitot quando a aeronave permanece por muito tempo em inatividade. Usualmente é colocada uma capa protetora específica para a sonda a fim de protegê-lo, mas a medida de segurança não foi realizada na aeronave durante o tempo que esteve em solo.

Passado este período o voo 301 da Birgenair estava em execução quando uma série de problemas desestabilizou a aeronave em que os dados mostrados pelo velocímetro não condiziam com o real, desligando o piloto automático e desativando o sistema independente que controla a velocidade chamado auto-trhottle. Tais consequências provocaram grandes erros de comando pelos pilotos que resultou na morte de 189 pessoas devido a queda da aeronave sobre o Mar do Caribe.

O relatório oficial emitido pela Junta Investigadora de Accidentes Aéreos - JIAA (1996, p. 20) determinou que uma das sondas pitot foi obstruída ocasionando os fatos anteriormente citados. Também diz que as causas dessa obstrução ainda não foram confirmadas, no entanto supõe-se que foi provocada por um ninho de vespa comum na região que foi feito durante o tempo em que esteve em solo.

## 3 VOO AF 447 DA AIR FRANCE

O Airbus A330 da companhia francesa Air France, sob o voo AF 447, iniciou sua rota prevista (Fig. 4) decolando do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro – Galeão às 19h29min (Horário de Brasília) do dia 31 de maio de 2009 a destino do Aeroporto de Paris – Charles de Gaulle com chegada prevista às 06h03min (Horário de Brasília), totalizando 10h34min de voo. Estavam no voo, além de 12 tripulantes, 216 passageiros, incluindo um bebê e sete crianças. Dos passageiros adultos, 82 eram mulheres e 126 homens. (BEA, 2012a, p. 17).

**Figura 4** – Rota prevista para o voo 447 da Air France
**FONTE**: G1

Durante o voo, o avião deveria passar pelo espaço aéreo controlado pelo Brasil, Senegal, Cabo Verde, Espanha (Ilhas Canárias), Marrocos, Espanha (Madrid) e França. Parte dos espaços controlados pelos centros oceânicos do Atlântico (Brasil) e de Dakar (Senegal) está fora do alcance de comunicações via rádio VHF. As comunicações com estes dois últimos centros são feitas principalmente através de rádio HF(3) que é o meio de comunicação primário. (BEA, 2012a, p. 19)

## 3.1 A perda de contato com a aeronave

À 01h35min, a tripulação confirmou ao controlador do Centro de Controle de Área Atlântico o recebimento de uma mensagem, tendo sido este o último contato entre o controle de voo e a aeronave. A tripulação deveria contatar o controle de Dakar antes de entrar em seu espaço aéreo, previsto para o ponto TASIL às 02h20min. (BEA, 2012a, p. 21)

Os horários estão expressos em Tempo Universal Coordenado (UTC)

## 3.2 Registros do Acidente

A sequência dos fatos que levaram o avião da Air France colidir com as águas do Oceano Atlântico aconteceu em um intervalo de tempo de aproximadamente 3 minutos e 30 segundos.

Com base no segundo relatório do acidente divulgado pelo Escritório de Investigações e Análises da França (BEA) e os horários expressos em UTC temos que: às 02h10m05s o piloto automático e a auto impulsão são desativados. A perda de sustentação faz com que o alarme de estol seja ativado por duas vezes. Por volta das 02h10m50s o copiloto segue com a ordem de elevar o nariz do avião para ganhar altitude. O alarme de estol é novamente ativado. O copiloto tenta chamar o comandante de bordo de volta a cabine. Marcadas 02h11m40s as leituras de velocidade disponíveis se tornam inválidas e o comandante de bordo retorna a cabine tentando elevar o nariz da aeronave por 30 segundos. A última ação documentada deu-se às 02h13m32s em que o copiloto executa procedimentos para abaixar o nariz do avião com o objetivo de ganhar velocidade e manter a estabilidade. Os fatos se encerram às 02h14m28s em que a uma velocidade de 200km/h o avião da Air France se choca com o Oceano (Fig.5).

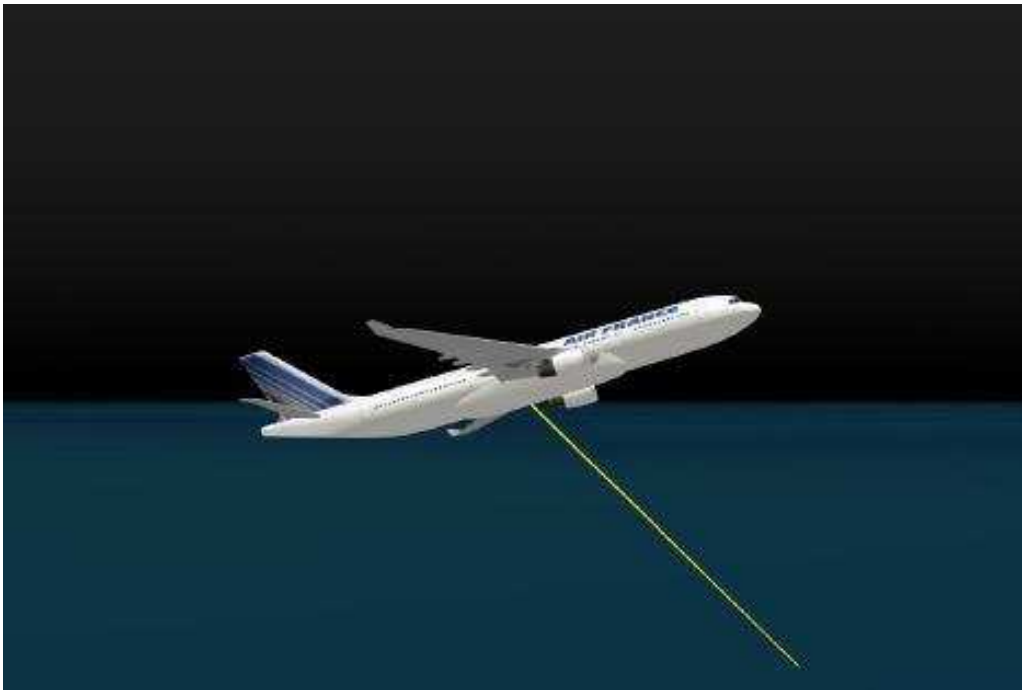


**Figura 5** – Posição de choque da aeronave com o Oceano Atlântico
**FONTE:** BEA

### 3.3 Causas da Queda

Inicialmente destaca-se a falha na detecção, pelos radares meteorológicos da aeronave, a grande tempestade que estava a frente, aliado a imprudência dos pilotos em decidir atravessar as nuvens sendo esta uma das causas do congelamento dos sensores Tubo Pitot que ocasionou a inconsistência dos dados de velocidade disponíveis na cabine desativando os sistemas automáticos entregando aos comandantes a responsabilidade de recuperar manualmente a estabilização da aeronave que, com ações tardias, leva o avião a queda.

## 4 RELATÓRIOS FINAIS DO ACIDENTE

O BEA emitiu relatórios finais que buscou explicar, detalhadamente, o fatídico acidente do voo AF 447 da Air France.

Sobre os cristais de gelo formados dentro do Tubo Pitot:

> Na presença de cristais de gelo, não há acúmulo visível de gelo ou geada no exterior, nem no nariz da sonda, uma vez que os cristais não se formam nessas superfícies. No entanto, os cristais de gelo podem ser ingeridos pela entrada de ar da sonda. De acordo com as condições de voo (altitude, temperatura, Mach), se a concentração de cristais é maior do que a capacidade de degelo do elemento de aquecimento e evacuação pelos orifícios de purga, os cristais se acumulam em grande número no tubo da sonda. (BEA, 2012a, p. 40)

Os cristais de gelo formados dentro da sonda Pitot através do fenômeno de superfusão da água, permaneceram por um determinado tempo obstruindo a via de medição da pressão dinâmica. O sistema de aquecimento do tubo não foi suficiente para derreter os cristais evitando o mau funcionamento do sensor, no entanto, vale ressaltar, que fenômenos como estes são temporários e dependem das condições presentes no momento do voo, bem como, as habilidades de contornar problemas como tais.

Sobre as condições climáticas na rota do voo:

> A análise das observações pelo instrumento TMI (TRMM microondas), a única operando na área de microondas, indica a presença de forte condensação em torno de 10.000 metros de altitude, menor que a altitude dos topos cumulonimbus. Esta forte condensação corresponderia a torres convectivas ativas nesta altitude, confirmando a forte probabilidade de turbulência notável dentro do aglomerado convectivo que foi atravessada pela trajetória de voo planeada do voo AF 447. (BEA, 2012a, p. 47)

Segundo relatórios do acidente os pilotos ao se depararem com as grandes nuvens de tempestade se desviaram da rota apenas 12° para a esquerda, quando outros voos que cumpriram trajetos semelhantes desviaram da rota de origem a fim de evitar tais condições climáticas (Fig. 6).

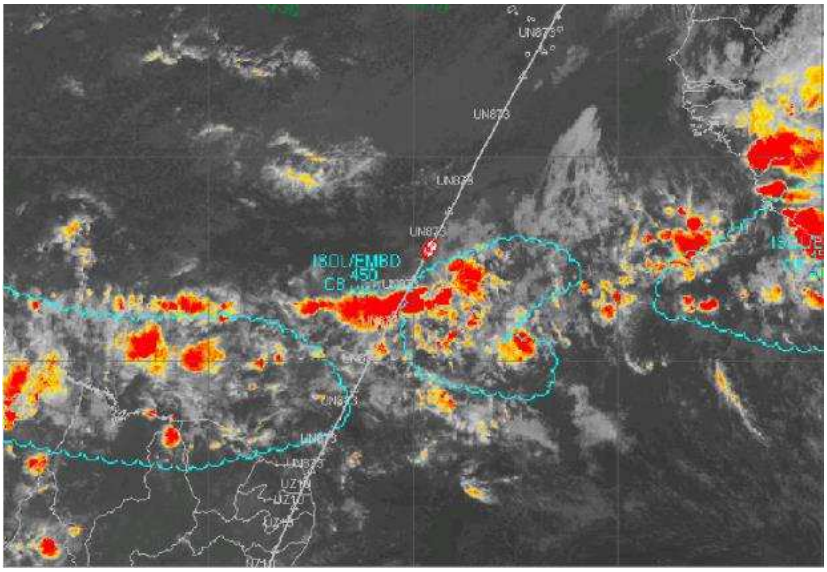



**Figura 6** – Mapeamento infravermelho das tempestades que cruzaram a rota do voo da Air France.
**FONTE:** BEA

Sobre a reação do comandante frente a ITCZ:

> O capitão nem expressou nem explicou claramente sua posição. Parecia ter uma boa experiência da ITCZ, e não parecia pessoalmente preocupado (na pior das hipóteses ele esperava ser perturbado pela turbulência durante o seu descanso). Ele notou a turbulência e observou o fogo de Santelmo. Mas parecia que tendo visto as informações disponíveis no radar, ele considerou a aparência do cruzamento ITCZ para ser "normal" . (BEA, 2012a, p. 169)

A Zona de Convergência Intertropical Atlântica (ITCZ) consiste em uma banda linear de nebulosidade profunda na faixa equatorial do oceano Atlântico, que conecta as regiões de convecção na América do Sul/Central (a oeste) e na África (a leste) (Melo et al., 2009). Nesta zona há o encontro dos ventos vindos do hemisfério norte e sul. Uma aparente tranquilidade do capitão frente as informações ilustradas no radar pode ter sido consequência da não detecção das tempestades que estavam situadas naquela região.

## 5 RESGATE DOS DESTROÇOS E DAS VÍTIMAS

Os primeiros destroços da aeronave (Figura 7) foram encontrados em 2 de junho, e no dia 6 de junho foram encontrados os primeiros corpos, sendo que ao final da 1ª etapa de buscas, um total de 50 corpos foram resgatados e identificados, sendo 20 brasileiros (12 homens e 8 mulheres) e 30 estrangeiros (13 homens e 17 mulheres). (JÚNIOR, 2012, p. 8).

**Figura 7** – A equipe de buscas encontra o leme do avião da Air France
**FONTE:** LeParisien

Governo Francês deu prosseguimento às etapas de busca das vítimas e dos destroços, utilizando robôs submarinos de grande tecnologia, pois estes ao serem analisados poderiam responder questões referentes as causas do acidente.

Outras etapas de busca se seguiram, executadas principalmente pelo Governo da França, cujo objetivo principal era a recuperação das caixas pretas, o que aconteceu no dia 1 de maio de 2011, com a recuperação da caixa com o módulo de memória

de parâmetros (Flight Data Recorder – FDR), e no dia 2 de maio de 2011, com a recuperação da caixa contendo as gravações da cabine de comando da aeronave (Cockpit Voice Recorder – CVR). Nessas etapas subsequentes também foram recuperados outros corpos de vítimas, sendo que um total de 103 vítimas foram identificadas na França. (JUNIOR, 2012, p. 8).

Após o resgate das caixas pretas e de 154 vítimas, o governo francês determina o fim das buscas alegando que os 74 corpos que permanecem no fundo do mar estão em condições não favoráveis às buscas, causando indignação nos familiares das vítimas não resgatadas.

## 6 CONCLUSÃO

Há aproximadamente nove anos um Airbus A330 da Air France partindo do Brasil em direção a Paris não cumpriria por completo a sua trajetória de voo. O acidente protagonizado pelo voo AF 447 da companhia francesa teve como causas principais as condições climáticas, inconsistência de dados da velocidade real por falha do sensor de velocidade e atitudes inexperientes dos comandantes.

O BEA (2012b, p. 5), responsável por investigar a tragédia, através dos relatórios técnicos que, com base nas evidências encontradas, buscou explicar as causas do acidente e com eles algumas recomendações de segurança envolvendo a fabricante da aeronave e a companhia aérea responsável.

Sabendo que a formação de cristais de gelo dentro do Tubo Pitot, evidenciando a ineficiência do sistema de aquecimento do sensor, foi uma das causas iniciais que levaram o avião à queda; tal fato afetou diretamente a Airbus, empresa que construiu o avião, requerendo melhorias no jogo de resistências que fornecem a energia em forma de calor capaz de evitar o congelamento da sonda. A empresa se pronunciou prometendo empregar melhorias nos sistemas que garantem o bom funcionamento do Tubo Pitot.

Aprimorar a ergonomia da aeronave e a fidelidade dos simuladores capazes de detectar situações anormais no voo também fez parte das exigências propostas pelo BEA. Tais mudanças afetariam diretamente na autonomia dos pilotos frente aos instrumentos, bem como, a previsão de situações que podem comprometer o voo, como a não detecção pelos radares da tempestade maior disposta atrás da formação de nuvens menor indicada pelo radar, fato este ocorrido no avião da Air France.

Nas causas do acidente, além da falha ocorrida pelos instrumentos de voo, houve também indícios de uma má coordenação dos pilotos frente aos problemas ocorridos no momento em que a aeronave se desestabiliza no ar. Portanto, a agência de investigação francesa indicou que houvesse treinamentos mais rigorosos quanto aos procedimentos necessários envolvendo uma melhor coordenação da tripulação, habilidades de gerenciamento da aeronave frente a situações incomuns e fundamentação básica de técnicas de voo levando em conta que, no voo AF 447 os comandantes inicialmente efetuaram um procedimento diferente ao que era necessário para promover a sustentação da aeronave.

Uma corrida judicial foi iniciada após as divulgações dos relatórios finais do acidente. Inicialmente a Justiça Francesa indiciou a Airbus e a Air France por homicídio culposo, no entanto as investigações posteriores apontavam as falhas nos procedimentos da tripulação no comando manual como consequência do desligamento do piloto automático devido as falhas nos sensores Pitot como uma das causas principais da queda do avião e, assim, a perícia apontou os pilotos como causadores do acidente. Evidentemente a conclusão gerou revolta aos familiares que argumentavam a isenção da Airbus e da Air France pela Justiça desconsiderando a falha do Tubo Pitot e considerando apenas a posição dos pilotos nos minutos que antecediam a queda do avião.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e oportunidade que me deu de estar escrevendo este artigo pelo qual tanto me orgulho, a Universidade Federal do Pará pelo apoio institucional na construção deste artigo, ao professor Dr. Clerisson Monte do Nascimento pelas fundamentações científicas iniciais, bem como, pelo incentivo às pesquisas nas áreas as quais pretendo ser especializado e a minha família que acreditou em mim desde a escrita do resumo submetido neste Simpósio até a última palavra digitada neste trabalho. Da mesma forma agradeço aos organizadores e a banca de avaliação do 11° Simpósio de Segurança de Voo pela orientação, profissionalismo e confiança disponibilizada a mim durante todo o período de submissão possibilitando todo o processo referente a minha participação no evento.

## REFERÊNCIAS

BEA - BUREAU D'ENQUÊTES ET D'ANALYSES POUR LA SÉCURITÉ DE L'AVIATION CIVILE, F**inal Report - On the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203**, França: 2012a. 17-169p

BEA - BUREAU D'ENQUÊTES ET D'ANALYSES POUR LA SÉCURITÉ DE L'AVIATION CIVILE, **Investigação de segurança sobre o acidente ocorrido em 01 de junho de 2009 - Resumo**, Le Bourget: 2012b, 5p

BORGES, R. **Como funciona o Tubo de Pitot? (vídeo)**, 2015. Disponível em: <http://www.norteverdadeiro.com/como-funciona-o-tubo-de-pitot-video/>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

BRUNETTI, Franco, **Mecânica dos Fluidos** / 2ª Ed., São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2008, ISBN 9788576051824

G1, **Queda do voo 447 da Air France foi provocada por três fatores, diz jornal**, 2011. Disponível em: <http://g1.globo.com/Acidente-do-Voo-AF-447/noticia/2011/07/relatorio-apontara-erro-de-piloto-como-uma-das-causas-da-queda-do-voo-447-diz-jornal.html>. Acesso em: 12 de maio de 2018.

JÚNIOR, A. A. M. S. **A formação de rede para o atendimento de desastres de massa – O caso do acidente aéreo do voo 447 da Air France**, Fundação Getulio Vargas – FGV, Rio de Janeiro: 2012, 8p

JUNTA INVESTIGADORA DE ACCIDENTES AÉREOS – JIAA, **Final Aviation Accident Report – Birgenair Flight ALW-301**, Puerto Plata: 1996, 20p

LANÇA, Rui Miguel Madeira. **Contribuição Para O Estudo De Cheias Recorrendo A Um Modelo Distribuído**, Faro, Universidade de Évora. 2000

LE PARISIEN, **VIDEO. Rio-Paris : le scénario du crash enfin dévoilé**, 2011. Disponível em: <http://www.leparisien.fr/crash-rio-paris/video-rio-paris-le-scenario-du-crash-enfin-devoile-27-05-2011-1469564.php>. Acesso em: 12 de maio de 2018.

MARQUES, N. L. R.; ARAUJO, I. S. **Física Térmica**, v.20 n°5, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009, 67p

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (eds) **Tempo e Clima no Brasil**. Oficina de Textos, 2009, 25-41p.

SCHNEIDER, Paulo, **Medição de Pressão em Fluidos**, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000. 25p

WHITE, F.M., **Fluid Mechanics**, Mc Graw Hill, 2002

....

# Aerocinetose e seus efeitos na instrução de pilotos privados

*João Paulo de Sousa Silva [1], Tammyse Araújo da Silva [1]*

1 Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUCGO

**BIOGRAFIA:**

**João Paulo de Sousa Silva**
É discente do Curso de Ciências Aeronáuticas da Escola de Gestão e Negócios Pontifícia Universidade Católica de Goiás, foi monitor de Regulamento de Tráfego Aéreo pela PUC-GO, no ano de 2017, e aluno de Iniciação Científica dessa mesma universidade. É qualificado como piloto privado de aeronaves de asa fixa. Participou dos Workshops referentes à Gestão dos riscos de emissão do raio laser e do Curso de Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional – SGSO realizado pela INFRAERO, em 2016. Participou do I e II Seminário de Segurança Operacional realizado pela escola de aviação SKYTECH Brasil. Trabalha atualmente como auxiliar de despacho operacional de voo na empresa Brasil Vida Táxi Aéreo.

**Tammyse Araújo da Silva**
Especialista em Docência Universitária. Professora da Escola de Gestão e Negócios no curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Membro do Núcleo Docente Estruturante desde 2010 e do Conselho da Escola desde 2017. Cursou a disciplina de Climatologia, pela PUC Goiás, em 2017 e Meteorologia por Satélite Aplicada à Aviação, EAD, em 2011 pelo INPE. Elemento Credenciado pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Credenciada no Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional pela Agência Nacional de Aviação Civil. Possui curso de Piloto Comercial/IFR. Lecionou na Escola de Aviação Civil, AHV, entre 1997 e 2000, para Piloto Privado de Avião, Piloto Comercial/IFR de avião e Comissário de Voo. Desde 2001 é professora do ensino superior em aviação.

**RESUMO:** A aerocinetose é uma síndrome que geralmente acomete aviadores durante o início de sua instrução para piloto privado, momento em que a maioria dos aspirantes à carreira de aeronauta tem seu primeiro contato com aviões de pequeno porte. A doença traz sintomas como fadiga, sonolência, tontura, náuseas e, até mesmo, vômitos, nos casos mais críticos. Isto ocorre devido à incompatibilidade entre as informações advindas dos sistemas visual e vestibular, que apresentam uma discrepância quando relacionadas com as experiências de movimento já realizadas pelo indivíduo. A doença e seus efeitos sobre o aviador é o tema desta pesquisa, composta de duas etapas: a primeira discute uma bibliografia atualizada sobre aerocinetose. Em seguida, realizou-se uma pesquisa de campo quantitativa-descritiva, de caráter exploratório, com os alunos e egressos do curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, licenciados como pilotos privados avião, para a descrição de certas características e variáveis, com o intuito de associar a exposição do indivíduo à doença para a avaliação de hipóteses. Para tanto, foram aplicados questionários com perguntas fundamentadas pelo Motion Sickness Questionnare, versão B. Com o objetivo ainda de quantificar o número de pessoas suscetíveis aos sintomas da doença, a pesquisa inferiu que a maioria dos participantes foi acometida pela aerocinetose. Foi possível, também, identificar as suas consequências no desempenho desses alunos durante a instrução de voo e estabelecer os níveis de severidade dos sintomas com base na suscetibilidade de cada indivíduo, seguindo uma escala de frequência. Como resultado, evidenciou-se que o acometimento dos sintomas da aerocinetose durante a habilitação prática de piloto privado prejudica o desempenho do aluno e o desmotiva. Isto demanda do instrutor de voo, na qualidade de tutor desse aluno, a necessidade de orientá-lo na busca por tratamentos capazes de tornar o ambiente de voo menos prejudicial ao indivíduo acometido pela síndrome. Ao final, salienta-se a relevância do conhecimento da doença e a sua específica inclusão no programa de treinamento para habilitação de instrutor de voo, considerando a falta de preparo desse profissional para lidar com os sintomas no contexto da formação inicial do piloto.

**Palavras Chave:** Aerocinetose, Síndrome de Sopite, Instrução de Voo, Doença de Movimento.

# Air travel kinetosis (air sickness) and its effects on the training of private pilots

**ABSTRACT**: Air travel kinetosis is a syndrome that usually affects aviators in the beginning of their training to become private pilots, at a moment that most of them have their first contact with light aircraft. The disease presents symptoms such as fatigue, drowsiness, dizziness, nausea, and even vomiting in the most critical cases. This is due to the incompatibility between the information coming from the visual and vestibular systems, which show discrepancy when related to movements experienced by the individual in the past. This syndrome, along with its effects on the aviator, is the theme of this study, which is composed of two parts: the first one discusses an updated bibliography on air travel kinetosis. The second one presents a quantitative-descriptive field research of exploratory nature with students and graduates from the course of Aeronautical Sciences of the Catholic University of Goiás, licensed as private pilots (airplane category) for the description of certain characteristics and variables, with the intent of associating the exposition of the individual to the syndrome for evaluation of hypotheses. For this purpose, the study used forms with questions based on the Motion Sickness Questionnaire, version B. Moreover, in order to quantify the number of persons susceptible to the symptoms of the disease, the research inferred that the majority of the participants was affected by air travel kinetosis. It was possible to identify the consequences of the disease on the performance of the students during the period of flight training, and determine the levels of severity of the symptoms, based on the susceptibility of each individual, following a scale of frequency. The results made it clear that being affected by the symptoms of air travel kinetosis during the process of practice training impairs the performance of the student and demotivates him/her.

This fact requires from the flight instructor, in his capacity of student's tutor, the need to guide him/her in the search for a type of treatment capable of making the environment less harmful to those affected by the syndrome. At the end, the article highlights the relevance of learning about the disease, and promoting its inclusion in the training program for flight instructors' qualification, taking into consideration the current lack of preparation of these professionals to deal with the symptoms in the context of the initial formation of pilots.

**Keywords:** Air travel kinetosis. Sopite syndrome. Flight training.

**Citação:** Silva, JPS, Silva, TA. (2018) A importância do sensor Tubo Pitot nas aeronaves: Um estudo de caso do voo AF 447 da Air France. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 82-94

## 1 INTRODUÇÃO

É indiscutível o papel desempenhado pelo avanço tecnológico no campo da engenharia aeronáutica para o progresso da aviação. Tais avanços possibilitaram a criação de medidas para estabelecer parâmetros ambientais cujos valores, próximos dos desejados pelo organismo, permitiram a manutenção da subsistência humana nos voos a grandes altitudes, conforme aponta Helfenstein (2012), visto que, fisiologicamente, o voo provoca múltiplas alterações no organismo devido às variações de pressão atmosférica, umidade, acelerações e desacelerações, caracterizadas em angulares (mudança de direção) e lineares (verticais e horizontais) (EJ, 2014).

O ambiente da cabine de uma aeronave é constituído de diversos fatores que atuam sobre o piloto e que são classificados por índices de tolerância dentro dos quais a exposição do sujeito é considerada biologicamente suportável, sem causar dano físico (EJ, 2014). Destarte, tem-se que a variação frequente desses elementos ambientais fora dos padrões percebidos no nível médio do mar traz ao piloto implicações negativas (MARIOTTO, 2007).

Helfenstein (2012) constata que os diversos sintomas de ordem fisiológica são manifestados, principalmente, devido à redução de pressão atmosférica e de oxigênio no cockpit, concorrendo para que o corpo humano não suporte certas condições limitantes por muito tempo, caso não fossem desenvolvidos mecanismos de adaptação das aeronaves à altitude.

Desse modo, como os equipamentos permitem ao ser humano sobreviver em espaços inóspitos, o corpo também trabalha em prol dessa ambientação, adaptando-se a fatores espaciais não usuais ao organismo (DEHART,1996 apud ALVES, 2008). Nessa perspectiva, Rhoades e Tanner (2005) confirmam que se trata de um processo similar ao que ocorre com os receptores sensoriais envolvidos na orientação do piloto.

Os mesmos autores complementam ainda que a orientação do piloto advém dos sistemas visual, proprioceptivo e vestibular. Este último é dividido em órgãos otolíticos e canais semicirculares capazes de detectar acelerações angulares e lineares, respectivamente. Eles coletam informações sensoriais do ambiente, criando uma representação interna dos estímulos percebidos e as integram. Assim, é criado um padrão de orientação confiável, permitindo que se façam julgamentos a respeito da orientação espacial do piloto.

Estes sistemas complexos e importantes não são adaptados para atuar no ambiente tridimensional do voo, uma vez que na superfície da Terra a orientação é, em geral, limitada a dois eixos de movimento – frente/trás e esquerda/direita –, e na aviação adiciona-se a dimensão altitude, o que muda significativamente as experiências percebidas pelo corpo (CENIPA, 2017). Nesse contexto, manifesta-se a cinetose, fenômeno de má-adaptação que ocorre a partir da percepção de estímulos sensoriais não familiares, provocando uma ração no organismo (REASON, 1978 apud FRANÇA, 2015).

Desta maneira, a cinetose pode ser relacionada à evolução natural da vida do ser, pois, desde o nascimento, o corpo humano progressivamente registra um modelo interno de informações sobre equilíbrio e orientação. Quando tais informações são recebidas pelos sistemas sensoriais sobre a exposição do sujeito a um novo ambiente, elas são continuamente comparadas com aquele modelo previamente construído como resultado de exposições anteriores. Se as novas informações estiverem de acordo com aquilo esperado pelo cérebro para aquela situação, é alcançado o equilíbrio.

Os problemas surgem quando o sujeito é exposto a ambientes não usuais, como, por exemplo, as aeronaves em voo, onde as características de movimento são significativamente diferentes daquelas já habituadas pelos sistemas sensoriais, definindo-se, assim, a aerocinetose (MATSANGAS, MCCAULEY e BECKER, 2014).

Portanto, a diferença clínica entre os tipos de cinetose existentes são relacionadas aos estímulos nausogênicos causados por cada ambiente; ocorrendo no ambiente aéreo, como dito, recebe o nome de aerocinetose (GRIFFIN, 2002 apud LUCERTINI e LUGLI, 2004). Nesse sentido, os estudos de Lucertini et al. (2008, apud VOLTOLINI, 2013) apontam que a média internacional de portadores de cinetose em iniciantes da aviação varia de 10% a 39%.

Apesar da etiologia da doença de movimento não ser definitivamente estabelecida, Reason e Brand (1975 apud SHERMAN, 2002) trazem a teoria do conflito sensorial como uma explicação clássica para o aparecimento dos sintomas. Isso se soma ao que apontam Matsangas, Mccauley e Becker (2014), ao associarem as teorias do rearranjo sensorial ou da incompatibilidade neural,

que, de maneira geral, postulam que a causa da aerocinetose é a incompatibilidade entre os padrões de informações recebidas do ambiente e aquelas adquiridas em exposições anteriores.

Matsangas, Mccauley e Becker (2014) acrescentam que a suscetibilidade da aerocinetose tem sido relacionada à idade, traços de personalidade e experiências sensoriais passadas. Por outro lado, todos os sujeitos com função vestibular normal são potenciais candidatos a portadores da doença, enquanto que apenas alguns poucos com perda bilateral da função vestibular serão imunes a qualquer estimulação nausogência.

Oliveira (2013) completa que as acelerações em voo são vistas como principais elementos causadores da aerocinetose. Com efeito, os estudos de Brainard (2018) revelam que a síndrome se manifesta com maior incidência durante as oscilações de forças aceleralivas em voo, com alterações do fator carga de 0,9 g para mais ou menos. Os sintomas mais críticos frequentemente aparecem com movimentos que se apresentam em um ciclo a cada 5 segundos.

Já do ponto de vista de Samuel e Tal (2015), a doença tem relação direta com o tamanho e estrutura da aeronave, velocidade, perfil de voo e condições meteorológicas, já que essas características interferem consideravelmente na estabilidade e controlabilidade da aeronave durante o voo.

Para Oliveira (2013), a maioria dos sintomas da aerocinetose se tornam presentes entre 30 e 45 minutos de voo, podendo esse tempo variar conforme as condições meteorológicas e as manobras executadas; todavia, podem se manifestar também após o pouso.

Corroboram com o tema Dorigueto, Kasse e Silva (2012) ao ressaltarem que, quando há uma exposição leve aos movimentos evocativos, os sintomas progridem da letargia à apatia. Isso se verifica na falta de emoção ou motivação do indivíduo perante diversas situações, fazendo-se presentes fadiga, inércia, falta de energia, sonolência e dificuldade de concentração. Essa sintomática pode evoluir para mal gástrico, náuseas, palidez, sudorese fria, dor de cabeça e fadiga, chegando a vômitos e, por último, à prostração total em uma exposição mais provocativa, ou seja, o estágio moderado ou forte, segundo os autores.

Em 1976, Graybiel e Knepton trouxeram uma nova perspectiva em relação aos sintomas da aerocinetose ao definirem a 'Síndrome de Sopite'. Segundo pesquisa desses autores, o termo 'sopite' associa-se ao cansaço/fadiga, sonolência, letargia, bocejos, desinteresse e desinclinação ao trabalho, mudanças de humor e até depressão leve. A depender da suscetibilidade individual e dos estímulos do movimento, ela pode ser a única manifestação reportada pelo aluno acometido pela aerocinetose. Todavia, Kennedy et al. (2009) associam os sintomas de mal-estar, fadiga, dor de cabeça, dificuldade de concentração e vista cansada ao sistema oculomotor.

Além das classificações sugeridas pelos estudos citados, questiona-se a relação entre a aerocinetose e a cognição. Desta forma, Teichner (1958 apud MATSANGAS, MCCAULEY e BECKER, 2014) levantou a hipótese de que a aerocinetose criaria um estresse fisiológico, assim como o frio, o que causa distração mental e degradação da performance. O foco da atenção, que seria aplicado nas funções cognitivas, é alocado em atividades para controle da oscilação e monitoramento da orientação do corpo. Nessa esteira, Bos (2011 apud MATSANGAS, MCCAULEY e BECKER 2014) adita que a aerocinetose age como uma distração ou um desvio, e, portanto, a dificuldade em aplicar uma atenção focada deve ser considerada uma das maiores consequências da aerocinetose de caráter leve.

A expressão 'aerocinetose leve' é usada para descrever os sintomas que não são incapacitantes – enjoo e vômito, frisa-se; nela, o indivíduo não está sob o efeito de estágios moderados ou fortes da doença e continua realizando as tarefas prescritas. Dessa forma, ele apenas sofre diminuição em sua capacidade de realizar multitarefas devido ao desvio de atenção que ocorre, no intuito de monitorar a indisposição causada pela doença (MATSANGAS, MCCAULEY e BECKER, 2014). Os estudos de Dahlman et al. (2009) sugerem, ainda, que a aerocinetose leve reduz o desempenho na execução de tarefas, assim como causa efeitos prejudiciais na memória de curto prazo e nas tarefas que envolvem comando e controle.

Há de se considerar, no entanto, que vários são os fatores que influenciam na predisposição ao enjoo de movimento. Entre eles, estão as características biológicas, como, por exemplo, o fato de mulheres serem mais suscetíveis à aerocinetose pelo aumento dos níveis de cortisol e de outros hormônios, como no período menstrual (MATCHOCK et al., 2008 apud HROMATKA, 2015); fatores como ansiedade, medo, insegurança e privação do sono (MATSANGAS, 2013 apud VOLTOLINI, 2013), além de evidências que comprovam o envolvimento da hiperglicemia em náuseas e vômitos induzidos por movimento (REASON e BRAND, 1975 apud LACKNER, 2014).

A redução do acometimento dos sintomas varia bastante, de forma que algumas pessoas que recebem estimulação provocativa apresentam uma resposta mais amena, enquanto outras podem sentir o desconforto por um período prolongado. Dessa maneira, são definidos três fatores-chave que afetam o desenvolvimento da doença: sensibilidade à estimulação, taxa de adaptação à estimulação e tempo médio para diminuição dos sintomas estimulados (VENTURA et al., 2014 apud LACKNER, 2014).

Ao associar esses elementos à sintomatologia da aerocinetose, tem-se o indivíduo com alta sensibilidade ao movimento, mas que leva pouco tempo para observar uma redução dos sintomas, além de possuir alta taxa de adaptação. Ele, dependendo das características do ambiente, pode alcançar o estado de equilíbrio mais rapidamente e, portanto, experimentará menos enjoo e menor degradação de seu desempenho. (LACKNER, 2014).

Isso consiste em uma possível explicação para o fenômeno de adaptação da aerocinetose. Lucertini e Lugli (2004) elucidam que essa premissa corrobora com a observação de que os pilotos-alunos são usualmente afetados pela doença durante os primeiros

estágios de seu treinamento de piloto privado-avião (PP-A). Isto ocorre devido à adaptação do modelo interno depois de algumas horas de exposição ao novo ambiente, segundo os autores.

Os sintomas da aerocinetose demandam, por óbvio, profilaxia, composta por tratativas farmacológicas, não farmacológicas e comportamentais. Dentre as abordagens com o uso de medicamentos, destacam-se os anti-histamínicos, anticolinérgicos e simpaticomiméticos, além de substâncias como a escopolamina transdérmica ou a cinarizina, ainda consideradas de pouco resultado. Esses medicamentos possuem menor efeito sedativo, mas, ainda assim, são defesos ao piloto, sobretudo porque seus efeitos colaterais causam debilidade psicomotora, sonolência e perda de memória (GORDON et al., 2001 apud VOLTOLINI, 2013).

De outra parte, há abordagens terapêuticas não medicamentosas, a exemplo da reabilitação vestibular. Tida como o melhor tratamento para as cinetoses em geral, ela ocorre mediante orientação e acompanhamento de um médico otorrinolaringologista e de fonoaudiólogo (LUCERTINI; LUGLI, 2004 apud VOLTOLONI, 2013). Consiste em um conjunto de exercícios repetitivos com a cabeça, cuja base terapêutica está ligada à plasticidade vestibular, ou seja, a dessensibilização dos órgãos sensoriais aos estímulos incitadores dos sintomas da aerocinetose (MANTELLO, 2008 apud OLIVEIRA, 2013).

Para Sang et al. (2003), as contramedidas comportamentais compreendem desde a redução dos movimentos da cabeça durante a execução dos procedimentos e obtenção de uma referência externa estável durante o voo até o controle da própria respiração. Este último tem se mostrado um método eficaz no aumento da tolerância para movimentos provocativos. Ele é quase tão efetivo como abordagens medicamentosas e apresentam efetivação imediata e nenhum efeito colateral. Os autores defendem que o uso desse método foi motivado por relatos de aviadores navais estudantis e pilotos experientes, sugerindo a sua eficácia na supressão dos sintomas da aerocinetose.

Além disso, Jokerst et al. (1999) adverte que técnicas de respiração diafragmática profunda ou ritmada têm sido empregadas como componentes do treinamento de dessensibilização e feedback autogênico aplicado a enjoo crônico em pilotos. O treinamento baseado em experiências autogênicas é promovido por psicólogo, que mede os processos fisiológicos do sujeito, trabalhando para que ele alcance uma capacidade de autorregulação ou autocontrole de suas respostas. Os autores indicam que o controle da respiração antes ou após o início dos sintomas pode ser uma tática comportamental útil para o controle do mal-estar causado pela doença do movimento.

Segundo pesquisa desenvolvida por Sang et al. (2003), o controle da respiração provê uma proteção que prolonga a exposição do indivíduo em um minuto e meio sem a percepção dos sintomas. Quando comparado à escopolamina em comprimido, que provê em média 3 minutos de exposição, a pesquisadora atribui, portanto, uma eficácia de 50% em relação às abordagens medicamentosas. Para a obtenção dos dados na citada pesquisa, foi utilizada uma cadeira rotatória, representando um cenário mais severo do que seria uma exposição real. Dessa forma, a proteção oferecida pelo controle da respiração de 1,5 minutos traduz-se em uma efetividade de horas em condições menos provocativas. A proteção provida por essa contramedida é coerente com os mais recentes tratamentos bem-sucedidos da aerocinetose em pilotos em treinamento.

Sang et al. (2003) demonstraram que contramedidas comportamentais correspondam apenas à metade da eficácia apresentada pelas drogas em termos de tempo de tolerância ao movimento. Todavia, elas são relativamente baratas, fáceis de serem implementadas, livres de custos e dos efeitos colaterais observados em muitos medicamentos contra a doença.

Ademais, notou-se com a implementação dessas medidas o resultado benéfico relacionado à motivação e ao envolvimento do sujeito na realização da tarefa, reduzindo, assim, os efeitos da aerocinetose no seu desempenho profissional. Desta forma, o indivíduo, mesmo acometido pelos sintomas da doença, continua desempenhando suas atividades de maneira satisfatória se estiver altamente motivado, podendo até aumentar a sua tolerância (DOBIE e MAY, 1994 apud MATSANGAS, MCCAULEY e BECKER, 2014).

Como a aerocinetose relaciona-se diretamente ao voo, é preciso salientar as implicações da instrução aérea sobre a sintomática da doença, visto que os iniciantes do curso de piloto privado são os mais afetados pela síndrome. Nesse sentido, a progressão dos estudos da parte teórica e da prática, distribuídas em etapas ou missões, requer dos instrutores atenção em cada fase, a fim de perceber quaisquer evidências que comprometam o ensino-aprendizagem e a cognição dos futuros pilotos. Isso considerado, torna-se imprescindível investigar em qual momento da instrução aérea os alunos podem ser acometidos pela doença.

Durante a formação inicial de piloto, é primordial que todos os envolvidos, direta ou indiretamente, entendam que se trata de uma instrução integralizada. É durante a instrução que o instrutor deverá motivar, estimular e persuadir o seu aluno a agir com firmeza, convicção e confiança nas situações emergenciais, com o propósito de superar o medo e estresse. Reações desse tipo são caracterizadas como inibidoras, além de causarem falhas e erros que podem ameaçar a segurança de voo (CNPAA, 2018).

Carrenho (2016) esclarece que para se obter a licença de PP-A, o aspirante a piloto deve ser aprovado em um exame teórico, aplicado em qualquer unidade da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) pelo Brasil, com aproveitamento mínimo de 70%, para usualmente começar seus voos de instrução prática.

A habilitação de PP-A na sua fase teórica é composta por três áreas curriculares: básica, técnica e complementar. As questões que tratam das regulamentações que regem a aviação civil, a formação do piloto e a estrutura e funcionamento do sistema de segurança de voo compõem a área básica. A área técnica compreende disciplinas direcionadas à atividade de voo, destinadas a capacitar os alunos de forma operacional. Por fim, a área complementar inclui tópicos voltados à proteção e preservação da saúde do piloto, bem como sua conscientização e preparo para agir de forma corretiva em situações adversas de voo (BRASIL, 2004).

Já a parte prática da habilitação constitui-se de duas fases: o ground school e a prática de voo (missões). A primeira, também conhecida por 'familiarização com a aeronave de instrução', compreende informações referentes a conhecimentos técnicos. Ela trata do funcionamento e operação da aeronave em que serão realizados os voos e as instruções em solo, cujo objetivo e ambientar o piloto-aluno à cabine de voo e seus mecanismos (BRASIL, 2004).

Quanto à distribuição das missões, segue-se a regulamentação do Manual do Comando da Aeronáutica (MCA) 58-3 e do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) 61, Emenda ANAC nº 7, de 2017, estando sujeita, ainda, às especificações de cada escola no que tange à disposição das horas de voo durante o treinamento (CARRENHO, 2016).

Ao término desse período, o aluno deve ter sua Caderneta Individual de Voo (CIV) endossada pelo seu instrutor, que o declara hábil a ser avaliado no exame de proficiência para a concessão da sua licença (CNPAA, 2018). Essa etapa do treinamento pode levar o futuro piloto a sucumbir diante da aerocinetose, em função de se configurar ambiente propício para a manifestação da doença (OLIVEIRA, 2013; DORIGUETO, KASSE e SILVA, 2012).

O exame de proficiência consiste na demonstração, por parte do piloto, de sua habilidade em executar os procedimentos e manobras relativas à instrução de voo, com grau de competência apropriado à licença de piloto privado-avião (PP-A). Dentre os aspectos apreciados, busca-se no aluno a capacidade de reconhecer e gerenciar ameaças e erros, operar a aeronave dentro dos limites operacionais e executar todas as manobras com suavidade e precisão. Deve o aluno, ainda, demonstrar bom julgamento e aptidão de pilotagem e manter o controle da aeronave de modo que não haja dúvidas sobre a execução das manobras ou procedimentos (ANAC, 2018).

Dessa forma, o candidato a uma licença de PP-A deve possuir experiência mínima de 40 horas de instrução e voo solo, ou 35 horas, se os voos foram realizados de forma ininterrupta. Independentemente do tipo de experiência adotada pelo aluno, elas precisam ocorrer por meio de um curso prático aprovado pela agência reguladora. As horas de voo são distribuídas de acordo com a Tabela 1. Essas etapas seguem o estabelecido pelo Manual do curso para PP-A (BRASIL, 2004).

**Tabela 1 –** Distribuição das horas de voo para PP-A

| | Aluno com instrutor | Voo solo |
|---|---|---|
| Pré-solo (PS) | 19h00min | 01h00min |
| Aperfeiçoamento (AP) | 07h00min | 03h00min |
| Navegação (NAV) | 06h00min | 04h00min |
| Total | 32h00min | 08h00min |

**Fonte:** BRASIL, 2004.

A fase Pré-solo representa o início da instrução prática, o que impõe uma criteriosa avaliação dos alunos, considerando as individualidades presentes na relação ensino-aprendizagem. Tem como objetivo capacitar o estudante a conduzir o avião em voo solo, ou seja, desacompanhado de seu instrutor ou em uma possível emergência.

A próxima etapa – Aperfeiçoamento – compreende o desenvolvimento de sua habilidade e perícia em executar pousos e decolagens, assim como aproximações para pouso, baseado em um correto julgamento da relação altura/distância/vento.

O período de Navegação, por fim, tem o intuito de torná-lo apto a conduzir um avião por meio de rotas aéreas, com corretos sensos de orientação e direção.

Ao longo das fases, o instrutor é o responsável por preencher as fichas de avaliação do piloto-aluno sobre a sua prática de voo, valorando seu desempenho em uma matriz de referência. A matriz está descrita na Tabela 2.

**Tabela 2 –** Atribuição de graus segundo o desempenho dos alunos em voo.

| Graus | Conceito | Caracterização do desempenho do piloto-aluno |
|---|---|---|
| 1 | Voo perigoso | Viola as regras de tráfego aéreo, o instrutor considera uma atitude do aluno perigosa e intervém nos comandos de voo, para evitar acidentes. |
| 2 | Voo deficiente | Revela dificuldade na execução dos exercícios. |
| 3 | Voo satisfatório | Apresenta dificuldades normais. |
| 4 | Voo bom | Demonstra facilidade e perfeição na execução da maioria dos exercícios da missão. |
| 5 | Voo excelente | O piloto-aluno demonstra facilidade e perfeição na execução de todos os exercícios da missão. |

**Fonte:** BRASIL, 2004.

No caso de voo deficiente, o instrutor, ao relatá-lo na ficha de avaliação individual, deve especificar as dificuldades e deficiências do piloto-aluno para que, desta forma, a Coordenação de Instrução Prática, composta pelo coordenador, seu assistente e o instrutor-chefe, tenham condições de orientá-lo no preparo desse aluno de forma assertiva. Se o aluno receber a indicação de voo deficiente, caberá a essa mesma coordenação a instauração de um Conselho de Voo para analisar o caso, em específico, e recomendar um novo programa de instrução ou outras medidas (BRASIL, 2004).

Para relacionar os atributos do instrutor em uma única palavra, Bozza (1992 apud GUERRA, 2014) retrata a credibilidade como algo equivalente a uma postura psicopedagógica de êxito na instrução aérea. Por meio dela, o aluno deve visualizar no seu instrutor um indivíduo capaz de orientá-lo com segurança e responsabilidade, guiando-o na busca pelo conhecimento.

A credibilidade representa uma abertura do aluno para a apresentação das propostas de seu instrutor, estabelecendo, assim, uma relação de ensino-aprendizagem com base no aumento do grau de confiança para troca de informações. Além disso, o instrutor deve analisar o perfil de seu aluno na busca de elementos psicológicos – concentração, ansiedade, nervosismo, capacidade de julgamento – e psicomotores – coordenação motora e uso dos comandos que revelem o seu estado emocional durante os voos (BOZZA, 1992).

O instrutor deve, ainda, alertar seus alunos em relação às patologias que podem ser desenvolvidas em voo, principalmente aquelas associadas aos medicamentos que comprometam o desempenho e habilidades cognitivas do aluno e quanto ao tipo de alimentação recomendada para antes do voo, o que constitui o fator biológico. Além de se sentirem desestimulados, muitos dos alunos, até por falta de informação, acabam se considerando e sendo considerados inaptos à profissão de aeronauta devido às suas individualidades fisiológicas (BOZZA, 1992).

Uma vez que a aerocinetose é comum a vários dos iniciantes na aviação, Voltolini (2013) elucida que ela causa um impacto negativo nas atividades aéreas, visto que pode levar ao término prematuro do voo durante a instrução, nos casos mais graves, e afetar negativamente a motivação do aluno, gerando uma grande ansiedade, até mesmos nos casos mais leves.

Assim, é imprescindível que o instrutor faça uma introspecção, com o intuito de analisar seu próprio perfil, posto que diversas vezes são dominados pela impaciência, desconfiança, ansiedade e até irritabilidade. Estes carecem de avaliação e ajustes, para que seja proporcionado um ambiente conveniente à aprendizagem. De fato, considerando que inúmeros fatores podem prejudicar aluno e instrutor, cabe a este, conhecedor dos princípios da credibilidade na instrução aérea, fornecer os recursos necessários para a consolidação do aprendizado (GUERRA, 2014).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de verificar o acometimento da aerocinetose no processo de ensino- aprendizagem durante a instrução de voo, foi realizada uma pesquisa com 100 alunos e egressos, de ambos os sexos, do curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, habilitados como piloto privado. Trata-se de um estudo transversal de natureza quantitativa, de cunho exploratório e caráter descritivo, com o intuito de associar a exposição do indivíduo à doença, para a avaliação de hipóteses. O projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

Os critérios de exclusão estabelecidos foram a recusa de questionários respondidos de forma incompleta ou submetidos fora do prazo estabelecido para a coleta de dados.

A coleta dos dados foi efetuada pelo pesquisador de duas formas: online, para os alunos egressos, e questionário impresso, para os alunos matriculados no primeiro semestre de 2018. Cada participante concordou com o termo de consentimento livre e esclarecido. Os dados foram apreciados seguindo parâmetros descritivos, de forma que se garanta a privacidade e confidencialidade dos dados dos participantes.

O questionário foi elaborado pelo pesquisador, fundamentado pelo Motion Sickness Questionnare versão B (MSSQ-B), de Reason e Brand (1975), formulário utilizado para mensuração de suscetibilidade dos indivíduos à doença de movimento.

Para apuração do grau de suscetibilidade dos sujeitos à cinetose em geral e análise do histórico de exposição a movimentos evocativos anteriormente ao início da instrução prática de voo, os entrevistados, na primeira questão, foram perguntados, com base no mesmo questionário.

Dessa forma, foram atribuídas respostas baseadas em frequência para cada meio de transporte – “nunca utilizei”, “nunca ficava enjoado”, “raramente”, “às vezes” ou “sempre ficava enjoado” –, sendo atribuídas pontuações para cada resposta, 0, 0, 1, 2, 3, respectivamente. O escore total foi multiplicado por seis, que representa a coluna com os seis tipos de meios de transporte, e dividido pela subtração de seis e o número de transportes não utilizados pelo entrevistado. Todavia, para efeitos didáticos, nesta pesquisa substituiu-se o escore por porcentagem da frequência atribuída aos enjoos sentidos durante a utilização dos meios de transporte mencionados.

A pesquisa realizada por Paillard et al. (2013) identificou a média de escore para valorar a cinetose. O grupo estudado era composto de indivíduos saudáveis e portadores de distúrbios vestibulares. O resultado sugere que aquelas pessoas submetidas ao MSSQ-B, com escore igual ou superior a 4.1, fossem diagnosticadas como portadoras de cinetose.

Para a segunda pergunta, foi utilizado o critério aplicado por Graybriel et al. (1968, VOLTOLINI, 2013), no qual a presença de episódios de vômito ou a presença de, pelo menos, dois dos outros sintomas apresentados no questionário já representam um diagnóstico de aerocinetose.

## 3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O total de participantes que responderam o questionário foi de 100, com idade média de 22 anos; todos eram habilitados como pilotos privados, não tendo sido feita diferenciação por sexo, devido a uma literatura bem definida a respeito do aumento da suscetibilidade em mulheres e da diminuição dos sintomas com o aumento da idade dos indivíduos.

Em um primeiro momento questionou-se sobre a frequência com que os participantes ficavam enjoados quando expostos a ambientes evocativos, os meios de transporte, antes de iniciarem o treinamento de voo. Os números são demonstrados na Tabela 3:

**Tabela 3** – Frequência com que os participantes sentiam enjoo ao serem expostos aos meios de transporte anteriormente ao início da instrução prática.

| | NU[1] | NE[2] | RA[3] | AV[4] | SE[5] |
|---|---|---|---|---|---|
| Carros | 0% | 74% | 17% | 9% | 0% |
| Ônibus/Vans | 0% | 69% | 21% | 8% | 0% |
| Trens | 46% | 47% | 6% | 1% | 0% |
| Aviões | 7% | 74% | 15% | 4% | 0% |
| Barcos | 25% | 54% | 13% | 8% | 0% |
| Navios/Balsas | 36% | 50% | 9% | 5% | 0% |

*([1])Nunca utilizou; ([2])Nunca ficava enjoado; ([3])Raramente ficava enjoado; ([4])Às vezes ficava enjoado e ([5])Sempre ficava enjoado.*

Os escores dos participantes seguindo como referência o MSSQ-B foram comparados com o estudo realizado por Paillard et al. (2013), que considera como portadores de cinetose aqueles com escores acima de 4.1, o que nesta pesquisa corresponde a 22% dos entrevistados. Esse valor também corrobora com os estudos de Lucertini et al. (2008 apud VOLTOLINI, 2013), pois está inserido na média internacional por eles mencionada.

O MSSQ-B considera os enjoos durante a utilização de meios de transporte como sintoma característico para atribuição do diagnóstico, uma vez que testes clínicos ainda não são conclusivos para esse tipo de patologia.

A Tabela 4, a seguir, retrata a quantificação da frequência com que os participantes foram acometidos pelos sintomas da doença:

**Tabela 4 –** Frequência de sintomas dos participantes portadores de aerocinetose durante a instrução prática PP-A:

| Sintomas | N[1] | R[2] | F[3] | S[4] |
|---|---|---|---|---|
| Mal-estar | 41% | 24% | 3% | 1% |
| Cansaço/Fadiga | 12% | 45% | 10% | 2% |
| Dor de cabeça | 31% | 32% | 5% | 1% |
| Vista Cansada | 33% | 31% | 5% | 0% |
| Aumento da salivação | 56% | 10% | 3% | 0% |
| Sudorese | 28% | 24% | 16% | 1% |
| Enjoo | 30% | 32% | 7% | 0% |
| Dificuldade de Concentração | 35% | 29% | 4% | 1% |
| Tontura | 46% | 21% | 2% | 1% |
| Vertigem | 50% | 18% | 1% | 2% |
| Desconforto Abdominal | 49% | 14% | 6% | 1% |
| Soluço | 65% | 4% | 0% | 0% |

*([1])Nunca; ([2])Raramente; ([3]) Frequentemente e ([4])Sempre.*

O conjunto de participantes que afirmaram terem sido acometidos por, pelo menos, dois sintomas descritos na Tabela 4 representa 70% dos entrevistados, demonstrado na Tabela 5. Desta forma, atribui-se a esse valor o diagnóstico de aerocinetose, conforme sugerido por Graybiel et al. (1968 apud VOLTOLINI, 2013). Todavia, esse resultado não estabelece a diferenciação entre aqueles que sofrem com um estágio leve ou moderado da doença, devido à variação dos sintomas da patologia, estabelecida de acordo com a suscetibilidade de cada indivíduo (MATSANGAS, MCCAULEY e BECKER, 2014).

**Tabela 5** – Quantidade de participantes acometidos por 2 ou mais sintomas descritos na Tabela 4

| Número de sintomas | Participantes acometidos |
|---|---|
| Menos de 2 | 30 |
| De 2 até 5 | 43 |
| De 6 até 8 | 20 |
| De 9 até 12 | 7 |
| Total | 70 |

Quanto à influência da doença no sucesso das missões, os dados trazidos no Gráfico 1, a seguir, confirmaram que 5 pessoas (5% dos participantes) reprovaram em uma das missões de voo. Todavia, foi assimilado pelo MSSQ-B que destas, apenas 2% foram diagnosticados com a cinetose. Os demais apresentaram os sintomas da Síndrome de Sopite, que, apesar de não causar efeitos incapacitantes como o enjoo e o vômito, pode reduzir drasticamente o desempenho dos alunos, segundo a pesquisa Graybiel e Knepton (1976). Isso corrobora com o que menciona França (2015), ao afirmar que a cinetose pode se tornar um risco, uma vez que até mesmo sintomas leves podem prejudicar a pessoa na execução de multitarefas.

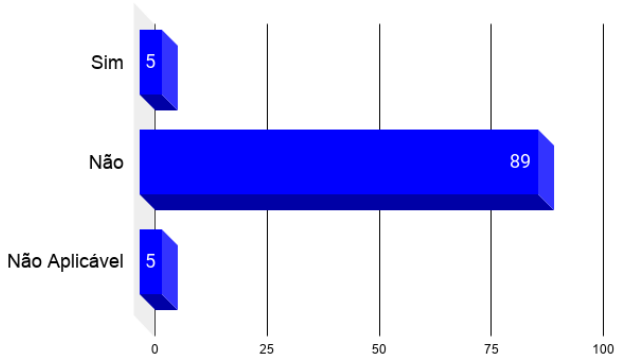



**Gráfico 1** – Participantes reprovados em missões de voo

Com base nos relatos dos participantes, como reação à reprovação do aluno na missão de voo devido ao acometimento dos sintomas, constatou-se que apenas a uma dessas pessoas foi recomendado, pelo seu instrutor, procurar ajuda médica e repetir, posteriormente, a mesma missão. A outro aluno reprovado, foi recomendado apenas descanso antes da realização das missões.

Contudo, não existe qualquer comprovação científica de que o descanso pode trazer benefícios aos indivíduos acometidos pela aerocinetose (VOLTOLINI, 2013). O desconhecimento quanto às profilaxias mais indicadas para os sintomas aponta para a necessidade de discernimento dos aspectos biológicos pelo instrutor para o sucesso do treinamento, conforme explicado por Bozza (1992).

Ainda sobre a instrução, foi perguntado aos participantes não reprovados nas missões se o instrutor propôs alguma solução para a diminuição dos sintomas mencionados na Tabela 4, e se a solução proposta foi eficaz. Houve a confirmação de proposta de solução e sua eficácia por 16% dos pesquisados, enquanto que 5,2% negaram sua eficácia e um total de 76% atribuiu o termo "não aplicável". Apesar de 16% dos participantes terem considerado a eficácia das soluções propostas pelos instrutores, cerca de 28% confirmaram que os sintomas degradaram seu desempenho em voo. A classificação descrita por Kennedy et al. (2009) para sintomas como mal-estar e a fadiga (vide Tabela 4) foi representativa nas repostas dos pesquisados, visto que esses sintomas somaram o maior número de ocorrências, à exceção da sudorese e do enjoo. Muitos participantes atribuíram a sudorese à temperatura ambiente e ao nervosismo.

Dos entrevistados que não foram reprovados nas missões de voo, quando questionados sobre a orientação do instrutor para procurar um médico ou tratamento especializado devido aos sintomas da Tabela 4, apenas 2% dos alunos afirmaram ter recebido esse conselho, enquanto que 55,6% não receberam qualquer aconselhamento.

Outro fator relevante levantado pela presente pesquisa trata da desmotivação perante o acometimento da doença. Conforme apresentado no Gráfico 2, um total de 13 pessoas se sentiram desmotivadas em função alguns dos sintomas descritos na Tabela 4.

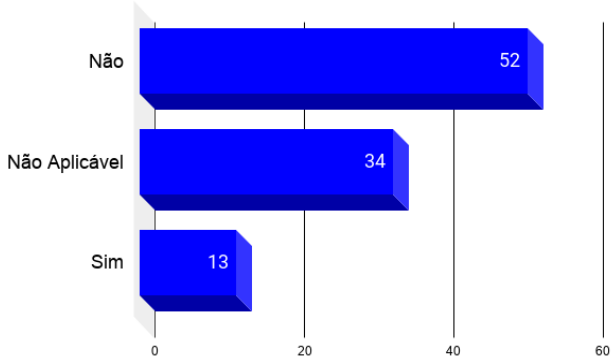



**Gráfico 2** – Participantes que se sentiram desmotivados pelo acometimento dos sintomas

Além disso, 4% pensaram em desistir da carreira de piloto devido à sintomática da patologia, conforme descrito pelo Gráfico 3.

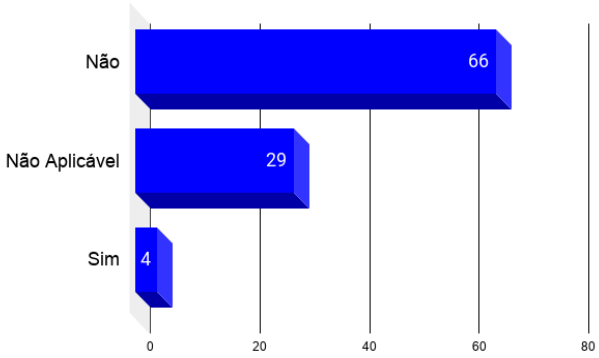



**Gráfico 3** – Número de pessoas que pensaram em desistir da carreira profissional de piloto em razão dos sintomas da doença.

Na perspectiva de verificar a relação entre a motivação e os sintomas da aerocinetose, Matsangas, Mccauley e Becker (2014) referem-se ao estudo de Dobie e May (1994) para uma análise dos casos relacionados com o caráter leve da doença. Neles foram percebidos os efeitos benéficos proporcionados pelo envolvimento na realização da tarefa e pela motivação. Desta forma, o indivíduo, mesmo acometido pelos sintomas da doença, pode continuar realizando tarefas de forma aceitável, caso esteja altamente motivado.

Quanto ao período que duração dos sintomas, Mantello (2008) atesta que a exposição do indivíduo é um fator preponderante para sua dessensibilização e adaptabilidade ao ambiente evocativo. Do mesmo modo, Lucertini e Lugli (2004) destacam a adaptação do modelo interno depois de algumas horas de exposição ao novo ambiente. O Gráfico 4 demonstra que, quando questionados sobre a redução dos sintomas, os participantes atribuíram, em horas voadas, o tempo demandado para que os sintomas diminuíssem de intensidade ou desapareceram.

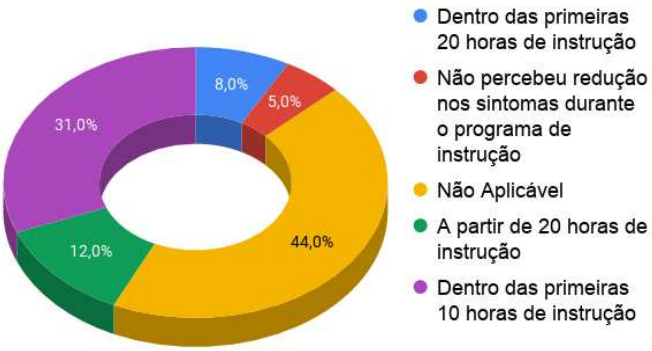



**Gráfico 4 –** Período no qual os sintomas diminuíram a intensidade ou desapareceram.

Já em relação ao questionamento acerca do impacto dos sintomas, 28% consideram que os efeitos da doença prejudicaram seu desempenho durante o treinamento; 44% acreditam que os sintomas não os tenham prejudicado em voo, enquanto que 28% consideraram a questão não aplicável por não terem sofrido quaisquer dos sintomas mencionados.

Quanto ao tempo decorrido para o surgimento dos sintomas a partir do início da exposição, a análise das respostas apontou que 22% dos participantes indicaram que eles ocorreram próximo ao término do voo; 12% afirmaram que os sintomas surgiram a partir dos 30 primeiros minutos de voo da instrução; 16% apontaram que os sintomas ocorreram dentro dos primeiros 30 minutos, enquanto 7% relataram que os sintomas se deram dentro dos primeiros 15 minutos. Esses números correspondem ao

período estabelecido nos estudos defendidos e aplicados por Oliveira (2013) para que a sintomática da aerocinetose seja percebida nos voos de instrução.

Com o intuito de analisar as manobras que mais evidenciam os sintomas da aerocinetose, Brainard (2018) e Samuel e Tal (2015) consideram a variação constante da força de carga G, de posição e atitude da aeronave em ciclos de 5 segundos, além de sua estrutura, velocidade e perfil de voo. Em virtude disso, apresentam-se no Gráfico 5 as manobras de voo que mais intensificaram os sintomas segundo os pesquisados.

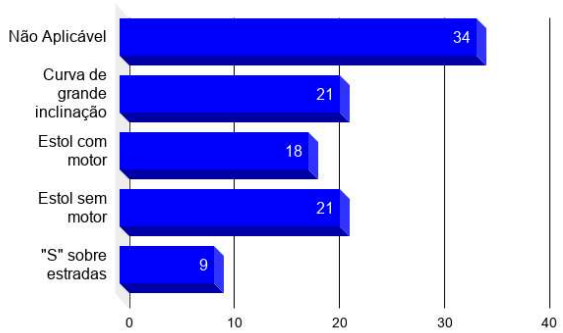



**Gráfico 5** – Manobras mais evocativas dos sintomas

Na busca por tratamento para compreender e amenizar os sintomas da aerocinetose, apenas 1% do total de pessoas acometidas buscou auxílio médico. Além dos 58% participantes que afirmaram não ter procurado ajuda especializada, nenhum deles optou pela reabilitação vestibular, que se mostra a abordagem mais adequada para habituação dos sujeitos aos ambientes evocativos dos sintomas apontados (MANTELLO, 2008; LUCERTINI; LUGLI, 2004 apud VOLTOLONI, 2013).

Um dos participantes optou pelo auxílio de um psicólogo, porém é desconhecido o procedimento adotado por esse profissional para o controle e minoração dos sintomas da doença. O método terapêutico baseado na autorregulação dos processos fisiológicos – o feedback autogênioo, indicado por Jokerst et al. (1999) – é promovido por psicólogo que mede os processos fisiológicos do sujeito, trabalhando para que ele alcance o autocontrole de suas respostas fisiológicas, tornando-se menos vulnerável aos sintomas.

Apesar de a terapia medicamentosa ser considerada a contramedida com o maior número de efeitos colaterais para aqueles envolvidos em atividades que demandem atenção e estado de alerta, 3% dos alunos iniciaram o uso de medicamentos, porém, sem a busca por auxílio médico. Neste aspecto, a intervenção farmacológica é contraindicada para pilotos, uma vez que a operação de uma aeronave requer destreza cognitiva e um alto nível de vigilância (GORDON et al., 2001 apud VOLTOLINI, 2013).

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se a prevalência de 22% de cinetose e 70% de aerocinetose de diferentes estágios entre os pilotos privados atualmente matriculados e os egressos, de ambos os sexos, da PUC-GO. Os dados sugerem a prevalência da aerocinetose de caráter leve no ambiente da instrução aérea, que, apesar de não se configurar incapacitante, como os enjoos e vômitos, são capazes de comprometer o desempenho do aluno e, de efeito, trazer sérias consequências para o desenvolvimento de sua instrução.

A recomendação pelo instrutor de busca por ajuda médica feita a um único aluno e o número de respostas "não aplicável" às questões relacionadas às propostas de intervenção por parte do instrutor denotam, respectivamente, a incompreensão dos instrutores e dos alunos acerca da etiologia da doença. Por meio de relatos dos participantes, percebeu-se que a maioria dos alunos acometidos pelos sintomas leves da doença – constante cansaço e dificuldade de concentração – não sabiam do que se tratava e, consequentemente, não comunicavam ao seu instrutor.

Isso fica mais evidente quando se analisa a porcentagem de pessoas que consideram a aerocinetose como um agente degradador de desempenho e as respostas "não aplicável" para a pergunta acerca da proposta de solução pelo instrutor, demonstrando que, apesar de os alunos sentirem os efeitos da doença, eles não os comunicavam aos seus instrutores, seja por insegurança ou pelo próprio desconhecimento acerca da síndrome.

Diante do considerável número de pessoas que reportaram o acometimento de, pelo menos, dois dos sintomas durante a instrução prática e, por outro lado, do baixo número de soluções eficazes propostas pelos instrutores, identifica-se a falta de informação sobre a doença no ambiente de instrução aeronáutico. Apesar de considerarem os sintomas como limitadores, os alunos não compreendem a etiologia e patologia da doença e, portanto, podem muitas vezes atribuir os sintomas a um simples cansaço.

No contexto investigado, infere-se que as orientações repassadas pelos instrutores foram ineficientes e o desconhecimento da doença revelou-se no processo de ensino-aprendizagem. A capacidade de análise que se espera do instrutor para com o aluno apresentou-se falha. O número de pessoas autodeclaradas 'afetadas' pelos sintomas da doença durante a instrução prática foi maior que o de pessoas que consideraram a orientação de seu instrutor válida. Isso permite concluir que os instrutores sequer tinham ciência dos aspectos biológicos e psicológicos que estavam afetando esse aluno.

A aerocinetose é uma doença complexa; deste modo, é necessário que todos aqueles envolvidos no processo de aprendizagem dos iniciantes na aviação estejam conscientes da forma como ela pode afetar o aluno. Isso pode ocorrer de inúmeras maneiras e momentos, sendo possível afirmar, no entanto, que o principal deles é durante a formação dos próprios instrutores.

**REFERÊNCIAS**


ANAC, AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC n° 61 emenda n° 07**: licenças, habilitações e certificados para pilotos. Disponível em: < https://goo.gl/FDYMeV>. Acesso em: 13 mar. 2018.

ALVES, C. V. **Desenvolvimento de um sistema para quantificação da desorientação espacial**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)–Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: < https://goo.gl/tG6wgA>. Acesso em 14 mai. 2018.

BOZZA, E. V. **Manual de instrução de pilotagem elementar**. Rio de Janeiro: Instituto de Aeronáutica Civil (IAC), 1992.

BRAINARD, Andrew. **Motion Sickness Clinical Presentation**. Disponível em: <https://goo.gl/PtCWPT >. Acesso em: 23 fev. 2018.

BRASIL. Ministério da Defesa- Comando da Aeronáutica. **MCA 58-3** Manual do curso Piloto Privado Avião. 2004. p. 193. Disponível em: <https://goo.gl/dj93gj>. Acesso em: 11 mar. 2018.

CARRENHO, A. M. **Gestão do treinamento em escolas de aviação civil**: fatores humanos durante a formação básica do piloto civil. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Aeronáuticas) – Universidade do Sul de Santa Catarina. Disponível em: <https://goo.gl/44zcEu>. Acesso em: 09 mar. 2018.

CENIPA, Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Relatório Final A-013**. 2017. Disponível em: <https://goo.gl/fjYJND>. Acesso em: 18 fev. 2018.

CNPAA, COMITÊ NACIONAL DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. **Manual do instrutor de voo**. Disponível em: <https://goo.gl/dFKn9g>. Acesso em: 17 mai. 2018.

COWINGS P.S.; TOSCANO W.B. Autogenic-feedback training exercise is superior to promethazine for control of motion sickness symptoms. **J Clin Pharmacology**. Berlim, v. 40, n. 11, p. 54-65, oct. 2000.

DAHLMAN et al. Performance and autonomic responses during motion sickness. **Human Factors**, New York, v. 51, n. 1, p. 55-66, feb. 2009.

DORIGUETO, R. S.; KASSE, C. A.; SILVA, R. C. Cinetose. **Revista Equilíbrio Corporal e Saúde**. São Paulo, v. 4, n. 1, p. 51-58, 2012.

EJ, ESCOLA DE AERONÁUTICA CIVIL. **Manual de instrutor de voo teórico**. Jundiaí: EJ, 2014.

FRANÇA, S. R. et al. Susceptibilidade à cinetose em escolares. **Revista Equilíbrio Corporal e Saúde**. São Paulo, v.7, n.2, p.47-50, 2015.

GUERRA, W. dos S. **Prática docente no âmbito da instrução aérea**. Atributos dos Instrutores de Voo. 2014. Disponível em: <https://goo.gl/GHU1ZB>. Acesso em: 24 abr. 2018.

GRAYBIEL, A.; KNEPTON, J. Sopite Syndrome: A sometimes sole manifestation of motion sickness. **Aviation, Space, and Enviromental**. Washington, v. 47, n. 8, p. 873-82, ago. 1976.

HELFENSTEIN, J. E. **Medicina Aeronáutica**. 3 ed. São Paulo: ASA, 2012.

HROMATKA, B. S. et al. Genetic variants associated with motion sickness point to roles for inner ear development, neurological processes and glucose homeostasis. **Human Molecular Genetics**. London, v. 24, n. 9, p. 2700-2708, maio. 2015.

JOKERST et al. Effects of gender of subjects and experimenter on susceptibility to motion sickness. **Aviation Space Environmental Medicine**, Washington, v. 70, n. 10, p. 962–965, oct. 1999.

LACKNER, J. R. Motion sickness: more than nausea and vomiting. **Revista Experimental Brain Research**. Berlim, v. 232, n. 8, p. 2493–2510, 2014.

LUCERTINI, M.; LUGLI, V. The Italian air force rehabilitation programme for airsickness. **Acta Otorhinolaryngologica Italica**. Roma, v. 24, n. 4, p. 181-187, 2004.

KENNEDY R., et al. Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness. **Journal of aviation psychology**. Philadelphia, v. 3, n. 3, p. 203-220, nov. 2009.

MANTELLO, E. B. et al. Efeito da reabilitação vestibular sobre a qualidade de vida de idosos labirintopatas. **Rev. Bras. Otorrinolaringologia**. São Paulo, v. 74, n. 2, p. 172-180, abr. 2008.

MARIOTTO, L. D. F. **Avaliação vestibular em adolescentes com cinetose**. 2007. Dissertação (Mestrado em Pediatria)–Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/96114>. Acesso em: 20 set. 2017.

MATSANGAS, P.; MCCAULEY, M. E.; BECKER, W. The effect of mild motion sickness and sopite syndrome on multitasking cognitive performance. **Human Factors**. New York, v. 56, n. 6, p. 1124-1135, set. 2014.

OLIVEIRA, J. L. **Aerocinetose na aviação civil e suas implicações na formação do piloto comercial**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Aeronáuticas)–Faculdade de Tecnologia e Ciências de Salvador. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/jhonnaas?utm_campaign=profiletracking&utm_medium=sssite&utm_source=ssslideview>. Acesso em: 03 fev. 2018.

PAILLARD, A. et al. Motion sickness susceptibility in healthy subjects and vestibular patients: effects of gender, age and trait-anxiety. **Journal of Vestibular Research**. v. 23, n. 4-5, p. 203-209, nov. 2013.

REASON J. T, BRAND J. J. **Motion Sickness**. London: Academic Press. 1975.

RHOADES, R. A.; TANNER, G. A. **Fisiologia médica**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A., 2005.

SHERMAN, C. R. Motion Sickness: Review of causes and preventive strategies. **Journal of Travel Medicine**. London, v. 9, n. 5, p. 251-256, set./out. 2002.

SAMUEL, O.; TAL, D. Airsickness: etiology, treatment, and clinical importance – a review. **Military Medicine**, Washington, v. 180, n. 11, p. 1135-1139, nov. 2015.

SANG, F. D. Y. P. et al. Behavioral methods of alleviating motion sickness: effectiveness of controlled breathing and a music audiotape. **Journal of Travel Medicine**. London, v. 10, n. 2, p. 108-11, mar/abr. 2003.

VOLTOLINI, M. M. F. D. Avaliação da aerocinetose em cadetes da Aeronáutica brasileira. **Revista da UNIFA**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 33, p. 6-14, dez. 2013.

....

**Apêndice- Questionário aplicado aos alunos e egressos habilitados como pilotos privados.**

1) Antes de iniciar seu treinamento prático de piloto privado, você utilizou algum desses meios de transporte? Assinale as opções abaixo considerando a frequência com os enjoos aconteciam:

| | NU[1] | NE[2] | RA[3] | AV[4] | SE[5] |
|---|---|---|---|---|---|
| Carros | | | | | |
| Ônibus/Vans | | | | | |
| Trens | | | | | |
| Aviões | | | | | |
| Barcos | | | | | |
| Navios/Balsas | | | | | |

*([1])Nunca utilizou; ([2])Nunca ficava enjoado; ([3])Raramente ficava enjoado; ([4])Às vezes ficava enjoado e ([5])Sempre ficava enjoado*

2) Durante seu treinamento para obter a habilitação de piloto privado, você sentiu algum desses sintomas mencionados abaixo? Assinale com um X considerando a frequência com que isso ocorreu:

| Sintomas | N[1] | R[2] | F[3] | S[4] |
|---|---|---|---|---|
| Mal-estar | | | | |
| Cansaço/Fadiga | | | | |
| Dor de cabeça | | | | |
| Vista Cansada | | | | |
| Aumento da salivação | | | | |
| Sudorese | | | | |
| Enjoo | | | | |
| Dificuldade de Concentração | | | | |
| Tontura | | | | |
| Vertigem | | | | |
| Desconforto Abdominal | | | | |
| Soluço | | | | |

*([1])Nunca; ([2])Raramente; ([3]) Frequentemente e ([4])Sempre.*

3) Você foi reprovado em alguma missão de voo devido aos sintomas assinalados na questão anterior?

a) Sim
b) Não
c) Não Aplicável

4) Se sua resposta foi sim, qual a atitude do seu instrutor em relação a isso?

Resposta:_____

5) Caso seu instrutor tenha proposto alguma solução, este conselho resultou na diminuição dos sintomas sentidos em voo?

a) Sim
b) Não
c) Não Aplicável

6) Durante seu treinamento, em algum momento foi recomendado a você, pelo seu instrutor de voo ou pela coordenação de instrução do aeroclube/escola de aviação, para que procurasse algum médico ou tratamento especializado?

a) Sim
b) Não
c) Não Aplicável

7) Você se sentiu desmotivado durante sua instrução de voo devido às complicações que os sintomas traziam?

a) Sim
b) Não
c) Não Aplicável

8) Em algum momento você chegou a pensar em desistir da carreira devido aos efeitos que o voo provocava?

a) Sim
b) Não
c) Não Aplicável

9) Durante o treinamento de piloto privado, a partir de quantas horas de voo você sentiu a redução na intensidade dos sintomas?

a) Dentro das primeiras 10 horas de instrução
b) Dentro das primeiras 20 horas de instrução
c) A partir de 20 horas de instrução
d) Não percebeu redução nos sintomas durante o programa de instrução
e) Não Aplicável

10) Você considera que os sintomas desencadeados em voo tenham prejudicado seu desempenho durante as missões?

a) Sim
b) Não
c) Não Aplicável

11) Geralmente o desconforto começava após quanto tempo de voo?

a) Dentro dos primeiros 15 minutos
b) Dentro dos primeiros 30 minutos
c) Após 30 minutos de voo
d) Próximo ao término do voo
e) Não aplicável

12) Qual manobra de voo te trazia mais desconforto ou fazia com que os sintomas se manifestassem?

a) Curvas de pequena inclinação
b) Curvas de média inclinação
c) Estol sem motor
d) Estol com motor
e) Pane simulada
f) “S” sobre estrada
g) Glissagem alta
h) Oito ao redor de marco
i) Curva de grande inclinação
j) Arremetida no ar
k) Não Aplicável

13) Após o início dos sintomas, você procurou assistência médica?

a) Sim
b) Não
c) Não Aplicável

14) Você iniciou algum tratamento para a doença? Se sim, de que tipo?

a) Medicação
b) Reabilitação Vestibular
c) Não Aplicável
d) Outros:_____

# Análise e Previsão de Índices de Segurança Operacional

*Paulo M. Razaboni* [1, 2]

1 Embraer SA
2 paulo.razaboni@embraer.com.br

**BIOGRAFIA:**

Atua como especialista em Segurança Operacional na Embraer em São José dos Campos, nas áreas de Inovação e Ciência de Dados. Engenheiro Eletricista pela USP, cursou MBA em Gestão da Produção pela Universidade Federal de São Carlos e Gestão Empresarial Competitiva pelo INPG. É membro credenciado Fator Material do SIPAER (Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos), com especialização em Segurança Operacional pela Embraer e *Black-belt* em *Six-sigma*. Ministra cursos na área de Segurança Operacional e projeto. Representa a empresa junto a entidades internacionais, como IATA, ICAO, FAA.

**RESUMO:** É impossível gerenciar o que não se consegue medir. Dessa forma, cada vez mais nos deparamos com a necessidade da determinação de índices representativos para as ocorrências relevantes, dentro do processo estabelecido em que se constitui o Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional. Dentro de um dos pilares deste sistema, chamado de Gerenciamento de Risco, existe o componente de identificação do risco e, dentro dele, o método preditivo, que busca melhorar a Segurança Operacional através do monitoramento dos dados de voo de operações normais. Estamos gerando uma quantidade progressivamente maior de dados, esperando extrair deles as informações para tomadas de decisão quanto à melhor alocação de recursos, a fim de atingir os objetivos estratégicos. A metodologia aqui descrita apresenta o progresso de práticas que se demonstraram válidas para séries temporais, podendo o método ser aplicado a conjuntos de tamanhos variados, que apresentem variações em nível, tendência e sazonalidade. Uma característica chave é a eliminação da subjetividade na análise, ao utilizar-se de critérios estatísticos objetivos, sendo o método apto à inclusão em sistemas computadorizados. Os resultados permitem identificar também o momento em que o comportamento dos dados sofre alteração significativa, além de prover meios para projetar valores futuros a partir do seu histórico. Este conjunto de informações visa prover ao analista os argumentos necessários à tomada de decisão para o elenco de ações no sentido de elevar o nível de segurança para metas estabelecidas, além de se constituir em uma solução adequada à comprovação da eficácia das ações tomadas.

**Palavras Chave: A**nálise, Índices, Previsão.

# Analysis and prediction of Operational Safety indexes

**ABSTRACT**: It is impossible for one to manage what one cannot measure. Therefore, we are increasingly faced with the need to determine representative indexes for relevant occurrences, within the established process in which the Operational Safety Management System is constituted. Within one of the pillars of this system, namely Risk Management, there is the component of risk identification, and within it the predictive method, which seeks to improve Operational Safety by monitoring flight data of normal operations. We are generating a progressively larger amount of data, hoping to extract from these data the pieces of information for the decision-making process aimed at the best allocation of resources to achieve the strategic objectives. The methodology described here presentes the progress of practices that have been demonstrated to be valid for time series, and the method can be applied to assorted sizes, varying in level, trend and seasonality. A key feature of the method is the elimination of subjectivity in the analysis, by using objective statistical criteria, being the method suitable for inclusion in computerized systems. The results also allow us to identify the moment when the behavior of the data undergoes significant change, and provide us with means to project future values from their history. This set of pieces of information aims to provide the analyst with the arguments necessary for decision-making for the list of actions, in order to raise the level of safety for established goals, in addition to being a suitable solution for verifying the effectiveness of the actions taken.

**Keywords:** Analysis. Indexes. Prediction.

**Citação:** Razaboni, PM. (2018) Análise e Previsão de Índices de Segurança Operacional. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 95-105

## 1 INTRODUÇÃO

Uma necessidade básica existe para todos os sistemas que exigem monitoramento e controle: a adequada interpretação da informação obtida. Em um universo em que oceanos de dados encontram-se progressivamente mais disponíveis, deve-se aprimorar a técnica de extrair informações úteis a partir deles. Termos como "*big data*" são comuns, e muitas técnicas de tratamento e consolidação dos dados já foram desenvolvidas. A intenção deste trabalho não é descrever o tratamento de grandes volumes de dados, mas sim ilustrar técnicas que se mostraram úteis na prática para interpretar os resultados extremamente condensados obtidos a partir destes.

A análise realizada sobre uma tabela de valores numéricos pode produzir noções sobre o comportamento de determinada grandeza. Uma representação gráfica fornecerá melhores recursos visuais. Porém, para tomada de decisão, por muitas vezes,

acaba-se por confiar em interpretações visuais que podem induzir a erros ou então a soluções pouco otimizadas. Uma avaliação de desempenho também fica comprometida se não existe uma base para comparação das situações, projetada e obtida. Nesse sentido, algumas soluções foram selecionadas e combinadas, tendo como alvo principal a projeção de indicadores de desempenho de Segurança Operacional. O método numérico aqui descrito, se resguardadas as suas características, pode ser aplicado a várias outras situações.

## 2 METODOLOGIA

Os índices de desempenho utilizados como base apresentam as características a seguir, necessárias para a aplicação do método aqui descrito:

- São séries temporais, tomados a intervalos regulares;
- Definem taxas ou contagens (valores positivos);
- Podem apresentar alterações de nível, tendência ou mesmo cíclicas ao longo do tempo (sazonalidade);
- Por consolidarem informações de uma grande massa de dados, não mudam de comportamento de forma abrupta.

Tomemos por base um conjunto de valores, como na **Tabela 1** a seguir. Fontes típicas são índices de desempenho calculados a partir da análise de eventos ocorridos em voos de aeronaves, sendo consideradas de milhares a milhões de operações para a consolidação destes em um único valor mensal.

**Tabela 1:** Dados de entrada

| Mês \ Ano | 2014 | 2015 | 2016 |
|---|---|---|---|
| Janeiro | 377 | 337 | 297 |
| Fevereiro | 343 | 273 | 246 |
| Março | 266 | 226 | 216 |
| Abril | 238 | 204 | 180 |
| Maio | 256 | 209 | 203 |
| Junho | 256 | 237 | 227 |
| Julho | 292 | 244 | 235 |
| Agosto | 320 | 280 | 269 |
| Setembro | 343 | 300 | 301 |
| Outubro | 387 | 332 | 312 |
| Novembro | 413 | 338 | 342 |
| Dezembro | 385 | 313 | 314 |

Os valores da **Tabela 1** representam taxas de eventos em que foram excedidos os limites estabelecidos para desvios de aproximação, velocidade, taxa de descida, atitude etc. É clara a dificuldade de se tomar decisões assertivas com base apenas em uma análise visual dos números.

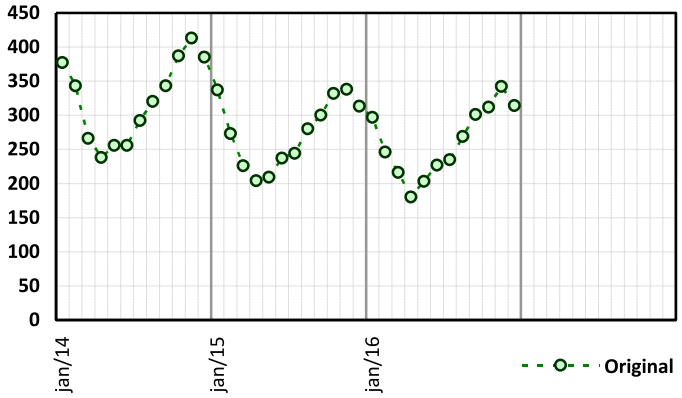



**Gráfico 1:** Dados de entrada originais

Utilizando-se a representação do **Gráfico 1**, pode-se notar alguns aspectos, como a variação periódica (sazonalidade) e uma tendência de queda no longo prazo. A avaliação, ainda subjetiva, sugere comportamento similar para o próximo ciclo. É possível identificar um período típico, que não raro ocorre neste tipo de indicador (no caso, anual). Valores em torno de abril de cada ano apresentam-se consistentemente menores, e em torno de novembro, mais elevados.

Tais indicadores, por refletirem grandezas de diferentes naturezas, podem apresentar faixas de valores muito amplas, resultando na dificuldade de comparação quando dispostos em um mesmo painel ("*dashboard*"). Assim, decidiu-se normalizar

o conjunto de dados, tomando-se por base o valor médio de todo o intervalo de entrada, o que equaliza a representação visual de todos, estabelecendo porcentagens de variação. O valor médio do intervalo será:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \quad (1)$$

$\bar{y}$ : valor médio do intervalo

$y_i$ : leituras individuais

$n$ : linhas da tabela (36, no caso da Tabela 1)

Assim, cada valor normalizado pode ser calculado por:

$$y_i' = \frac{y_i}{\bar{y}} \quad (2)$$

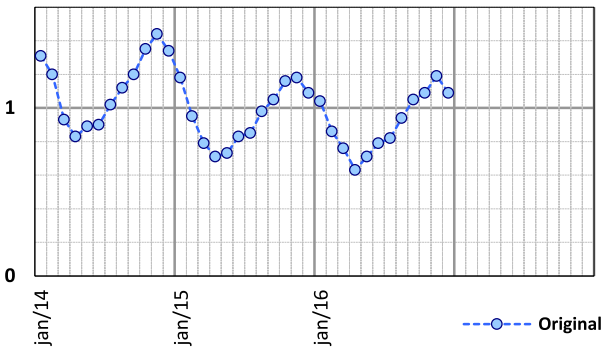



**Gráfico 2:** Dados de entrada normalizados

Ao dividir-se cada valor pela média do intervalo, estes passam a se distribuir em torno do valor unitário, como no **Gráfico 2**. Para uma previsão sobre o próximo período, utilizou-se a suavização exponencial tripla de Holt-Winters (HOLT, 1957) (WINTERS, 1960). Esta técnica de regressão decompõe a curva original em três componentes: nível, tendência e sazonalidade. Assim, cada ponto futuro será um reflexo dos pontos anteriores, exponencialmente suavizados por coeficientes independentes para cada um desses componentes. O método de Holt-Winters aditivo, aqui utilizado, é aplicável quando a amplitude do ciclo sazonal independe do nível local da série, levando-se em conta que os dados já se encontram normalizados. Seja um modelo cuja série sazonal, de período $p$, tem seu valor ($Z$) formado pela soma de nível ($L$), tendência ($T$), um fator sazonal ($S$) e um erro aleatório ($\varepsilon$), dados por:

$$Z_t = L_t + T_t + S_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

para $t = 1, 2...$

As projeções dos valores futuros da série são efetuadas através da função de previsão representada por:

$$\hat{Z}_{t+n} = L_t + nT_t + S_{t-p+n} \quad (4)$$

para $n = 1, 2...$

Onde $\hat{Z}_{t+n}$ é a previsão para $n$ períodos à frente ($t+n$), e $p$ é o tamanho do período típico da série temporal.

Nesse método, além da função (4) que calcula a previsão, três outras funções são utilizadas para estimar o nível, a tendência da série no período atual e os valores do fator sazonal correspondente ao último período de sazonalidade, conforme eq. (5), (6) e (7) respectivamente,

$$L_t = \alpha(Z_t - S_{t-p}) + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (5)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-p}) + (1-\beta)T_{t-1} \quad (6)$$

$$S_t = \gamma(Z_t - L_t) + (1-\gamma)S_{t-p} \quad (7)$$

com: $0 < \alpha < 1$ , $0 < \beta < 1$ , $0 < \gamma < 1$

Aqui, $\alpha$, $\beta$ e $\gamma$ são constantes de suavização que controlam o peso relativo ao nível ($L_t$), à tendência ($T_t$) e à sazonalidade ($S_t$), respectivamente. Quanto mais próximo de zero forem essas constantes, menor o peso da observação atual e maior o peso

dos valores anteriores na determinação da estimativa. As eq. (5) e (7) assumem que, no período de tempo *t*, existe uma estimativa do índice sazonal no período de tempo *t-p* ou que existe um valor $S_{t-p}$. É possível utilizar-se estimativas a partir das leituras do primeiro período, para assim calcular os valores do segundo período em diante.

Um método numérico de aproximação pode ser utilizado para determinar a combinação das constantes de suavização ($\alpha$, $\beta$ e $\gamma$) que produz uma curva de previsão com o menor erro em relação à curva original. Neste exemplo, utilizou-se o recurso "*Solver*" do Excel®. A previsão é calculável a partir do segundo período, com o primeiro servindo de base. Assim, no exemplo em que temos três períodos sucessivos de um ano cada, utiliza-se os valores do período 1 para estimativa e calcula-se os períodos 2 e 3 ajustando os coeficientes para que os valores previstos apresentem o menor erro possível em relação aos reais. A seguir, projeta-se um quarto período. Os valores obtidos, sobrepostos aos dados originais, encontram-se no gráfico a seguir.

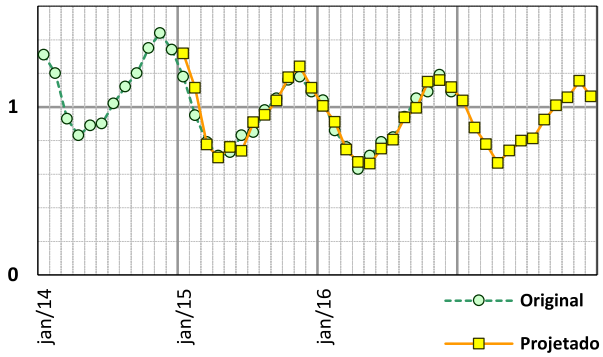



**Gráfico 3:** Dados de entrada e valores projetados

O aspecto visual corrobora a expectativa de tendência dos valores nos três aspectos: nível, tendência e sazonalidade. O passo a seguir é a translação dos dados para que a média do intervalo inicial seja igual ao valor zero. As variações em torno do zero podem ser representadas como porcentagem.

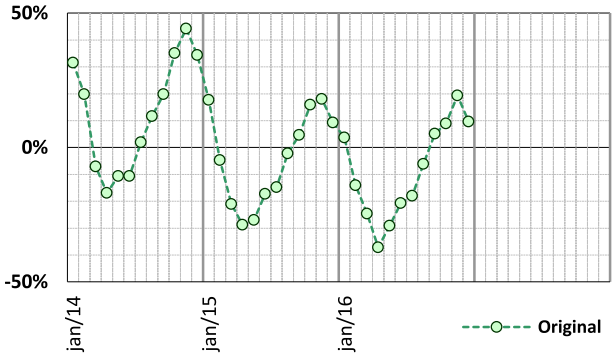



**Gráfico 4:** Dados de entrada ajustados para média zero

Para a caracterização numérica da sazonalidade, optou-se por buscar a melhor curva senoide que se aproxima destes pontos, excluindo-se a tendência de longo prazo. Para isso, na prática, é realizada a média de todos os valores que apresentam mesma posição relativa no período (no caso, média dos índices nos "janeiros", "fevereiros" etc.).

$$y_m = \frac{\sum_{i=1}^{k} y'_{(i-1)*p+m}}{k} \qquad (8)$$

$$\text{com: } k = Int(n/p) \qquad (9)$$

$y'$ : valor mensal do índice (normalizado)
$p$ : tamanho do período (no caso, 12)
$n$ : linhas da tabela (no caso, 36)
$k$ : períodos no intervalo (parte inteira de 36/12 = 3)
$m$ : índice do mês (no caso, 1..12)

Com os valores obtidos, determinou-se os coeficientes para:

$$w_m = a \times \sin(x_m) + b \times \cos(x_m) \qquad (10)$$

$w_m$ : valor aproximado para cada mês
$a,b$ : coeficientes da função seno, cosseno
$x_m$ : valor para cada fração do período (de zero até $^{11}/_{12}$ frações do período total da senoide, que é 2π)

Ajusta-se $a$ e $b$ para se obter a menor soma dos quadrados das diferenças entre os valores calculados $w_m$ e os originais, $y_m$. A correlação $\rho$ entre os valores mensais e os aproximados pela senoide pode ser calculada como segue (MUKAKA, 2012):

$$\rho = \frac{\sum_{m=1}^{p}(w_m - \overline{w})(y_m - \overline{y})}{\sqrt{\sum_{m=1}^{p}(w_m - \overline{w})^2} \bullet \sqrt{\sum_{m=1}^{p}(y_m - \overline{y})^2}} \qquad (11)$$

$w_m$ : valor aproximados para cada mês
$\overline{w}$ : média geral dos valores aproximados
$y_m$ : valor médio lido para cada mês
$\overline{y}$ : média geral dos valores lidos
$p$ : tamanho do período (no caso, 12)
$m$ : índice do mês (no caso, 1..12)

**Tabela 2:** Interpretação para correlação ($\rho$)

| Faixa | Interpretação |
|---|---|
| **0,00 a 0,19** | Muito fraca |
| **0,20 a 0,39** | Fraca |
| **0,40 a 0,69** | Moderada |
| **0,70 a 0,89** | Forte |
| **0,90 a 1,00** | Muito forte |

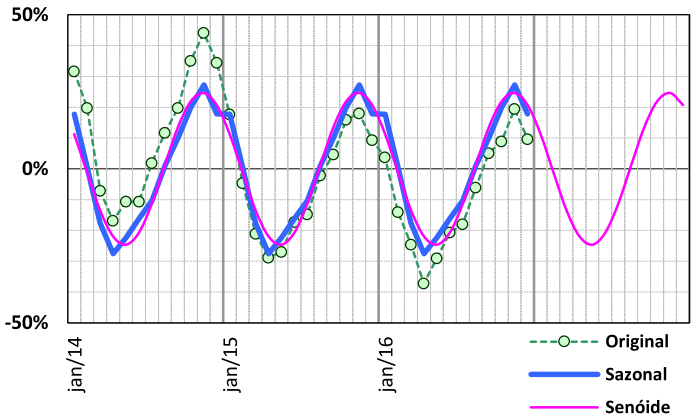



**Gráfico 5:** Dados de entrada e sazonalidade (senoide correspondente à Eq. 10, após o cálculo de $a$ e $b$)

Assim, caracterizada a sazonalidade (**Gráfico 5**), o próximo passo é efetuar a sua compensação sobre os dados originais, subtraindo-se a contribuição sazonal (valor de $w_m$) destes, mês a mês, a fim de isolar e analisar a tendência geral.

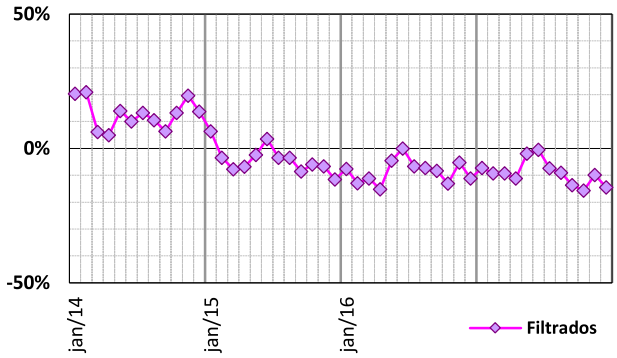



**Gráfico 6:** Tendência para dados sem sazonalidade

A partir do conjunto filtrado de dados (**Gráfico 6**), aplica-se o algoritmo denominado "Ponto de Mudança" ("*Change Point*" - vide APÊNDICE), segundo o qual mudanças com significância estatística podem ser identificadas.

Este algoritmo percorre os pontos da curva buscando instantes em que a colaboração para o valor médio sofre inflexão. Ou seja, caso leituras anteriores a um determinado ponto intermediário produzam contribuições à média do período total em um sentido oposto às leituras posteriores, este ponto é identificado como candidato.

A sua validação é feita produzindo-se uma série de combinações aleatórias das leituras do intervalo sob análise. Caso a disposição original dos pontos produza um efeito maior que as combinações aleatórias geradas, em determinado grau (no caso, considerou-se pelo menos 95% dos casos), o ponto pode ser caracterizado como "de mudança" (já que seu efeito é maior do que combinações aleatórias). No caso, cada candidato a ponto de mudança é testado contra 10.000 combinações de leituras combinadas aleatoriamente. Caso seu efeito seja mais apreciável que pelo menos 9.500 combinações (95% de 10.000), é identificado como ponto de mudança.

A seguir, calcula-se a média das leituras no sub-intervalo anterior e no posterior. Então, cada subintervalo é pesquisado recursivamente em busca de pontos de mudança de nível seguinte. Este procedimento é aplicado até que exista uma quantidade de pontos no subintervalo acima de um valor mínimo, ou que determinada profundidade de níveis já tenha sido alcançada. (RAZABONI, 2015).

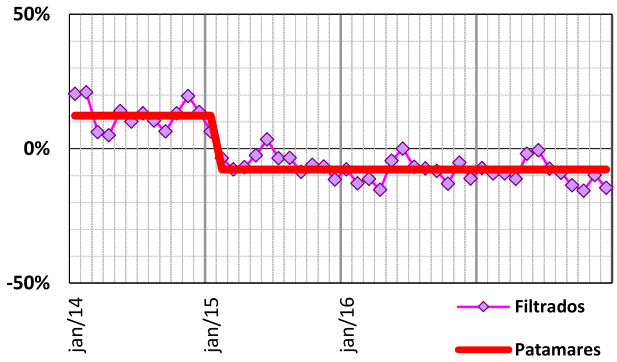



**Gráfico 7:** Representação gráfica do ponto de mudança

No caso deste trabalho específico, como valor prático, definiu-se um intervalo mínimo de 10 leituras e até 5 níveis de busca. Aqui, a mudança posicionou-se de janeiro para fevereiro de 2015 (com grau de confiança ≥95%). A média dos valores anteriores e dos posteriores está representada visualmente no Gráfico 7.

Em resumo, os dados (excluída a sazonalidade) apresentam um comportamento médio de 12,3% acima da média geral do intervalo de amostragem até janeiro de 2015, passando a 7,7% abaixo a partir de fevereiro de 2015.

Como os dados projetados para o quarto período (ano de 2017) foram considerados e integrados ao universo de cálculo, a análise aponta que não é esperada uma mudança significativa até o horizonte do estudo, ou seja, durante o ano seguinte, 2017.

Para uma melhor visibilidade, nem todos esses resultados intermediários precisam ser exibidos. Uma visualização sucinta pode ser apresentada, como no **Gráfico 8** a seguir:

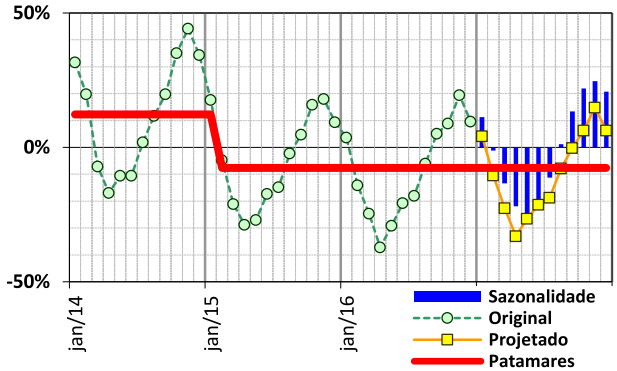



**Gráfico 8:** Dados de entrada e valores projetados

O valor obtido para correlação (**Eq. 11**) foi de 0,98. A partir de todas essas informações, é possível afirmar:

"O conjunto de dados dos últimos três anos, incluindo-se uma projeção para o próximo ano, apresenta uma mudança de patamar entre janeiro e fevereiro de 2015, de 12,3% acima para 7,7% abaixo do valor médio para o intervalo de amostragem. Considerando-se periodicidade de doze meses, os valores apresentam uma alta correlação sazonal (0,98), de amplitude média 25%, com máximos em torno de novembro e mínimos em torno de maio. As projeções para o próximo ano (2017), com resolução mensal (apresentadas no **Gráfico 8**), refletem uma redução no valor de pico esperado. Como ações possíveis em busca da redução deste índice, pode-se investigar a influência de fatores com variação anual no comportamento dos dados, bem como a ocorrência de eventos significativos (com efeito positivo, ou seja, de redução do valor médio) cuja influência foi observada a partir de fevereiro de 2015. O resultado de ações tomadas no momento presente, a serem refletidas no próximo período, pode ser comparado a esta previsão para verificação de sua efetividade."

Em função destas informações, pode-se realizar a alocação de recursos para programar as ações de mitigação no tempo adequado, bem como buscar identificar colaborações eficazes, que geraram resultados favoráveis e se constituem em lições positivas aprendidas.

## 3 RESULTADOS

A exemplo do conjunto de dados utilizado para ilustrar o procedimento (taxa de eventos onde foram excedidos os limites estabelecidos para desvios de aproximação, velocidade, taxa de descida, atitude etc., típico de índices obtidos por consolidação de dados de voo de aeronaves), vários outros conjuntos foram testados como forma de confirmar a aplicabilidade do método. Ressalva-se a necessidade de utilizar sempre um universo amostral suficientemente extenso para gerar dados consistentes, o que não se constitui em um inconveniente em se tratando de *big data*.

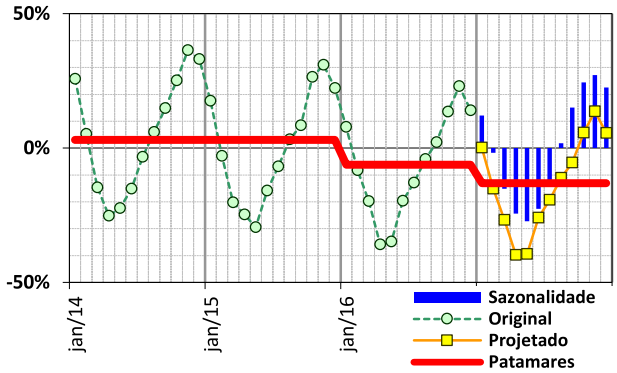



**Gráfico 9:** Exemplo adicional

No **Gráfico 9**, a exemplo do modelo desenvolvido a partir da **Tabela 1**, existe uma forte sazonalidade aliada à queda do nível. Um ponto de mudança em janeiro de 2016 e outro, em janeiro de 2017, foram identificados.

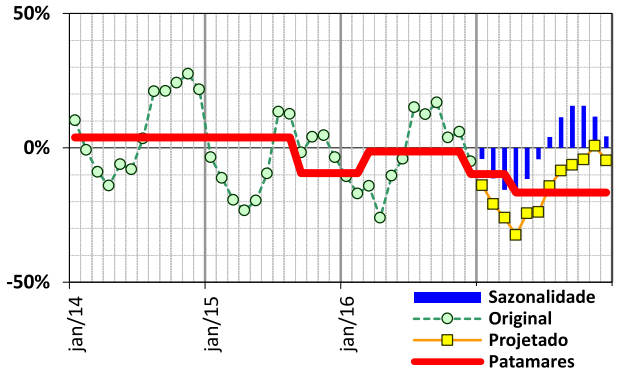



**Gráfico 10:** Exemplo adicional

No **Gráfico 10** observa-se certa sazonalidade. E, conforme ilustra a linha vermelha contínua, quatro pontos de mudança: descida em setembro de 2015, subida em março de 2016, descidas em dezembro de 2016 e abril de 2017.

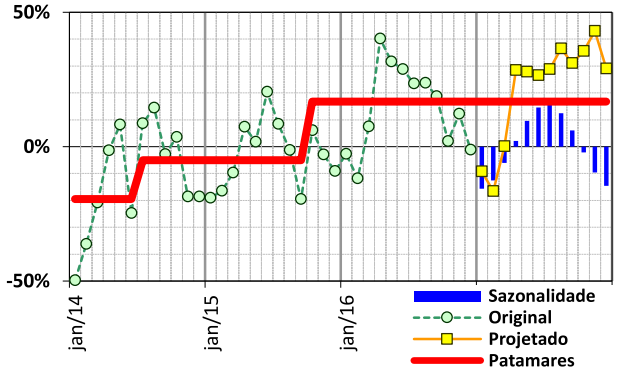



**Gráfico 11:** Exemplo adicional

Já no caso do **Gráfico 11**, torna-se evidente a elevação do nível ainda dentro do universo amostral (julho de 2014 e outubro de 2015), e a previsão para 2017 de um pico de amplitude comparável ao já ocorrido no período anterior, 2016. Os perfis crescentes dentro de cada início de período são dignos de nota. A sazonalidade identificada, embora seja a melhor

correspondência possível para o conjunto de dados fornecido, parece não traduzir bem seu comportamento. Na verdade, não existe um período claramente definido e, nesse caso, os valores previstos podem sofrer grande influência. Métodos de previsão diferentes da proposta deste trabalho podem gerar resultados mais coerentes.

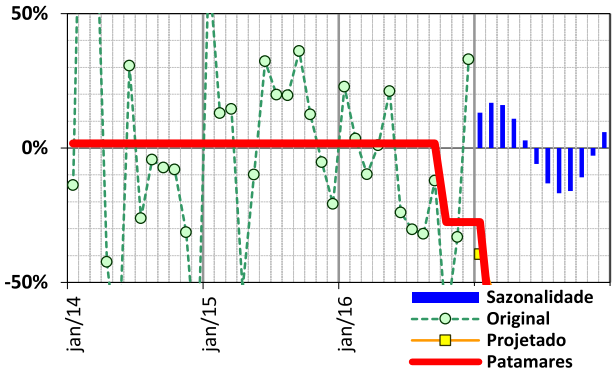



**Gráfico 12:** Exemplo adicional

O **Gráfico 12**, por sua vez, apresenta previsão com comportamento aparentemente incoerente em relação ao conjunto de dados inicial (curva vermelha contínua fora da escala). Nesse caso específico, não foi detectado um período de variação nos dados coincidente com a premissa do cálculo (12 meses), o que gerou este distúrbio. Esse resultado foi mantido assim para enfatizar ao leitor a necessidade de se realizar um teste inicial para determinar a correspondência entre os períodos utilizados no método e o período típico dos dados.

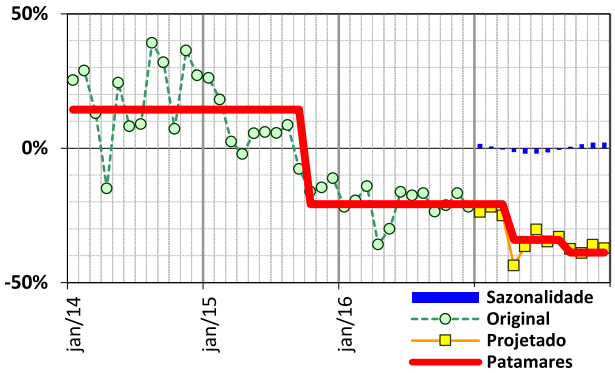



**Gráfico 13:** Exemplo adicional

Já no **Gráfico 13**, devido à sazonalidade calculada com base no período de 12 meses se encontrar a um nível extremamente baixo, ela pouco influenciará no cálculo da projeção para o período seguinte. A verificação do período típico dos dados continua a ser necessária para uma adequada aplicação do método, uma vez que poderia haver um período tal que sua influência fosse mais marcante na projeção final, e que deixou de figurar ao se assumir um período inadequado.

Todos os dados utilizados neste estudo são reais e objeto constante de análise para redução dos índices de eventos, apenas descaracterizados quanto às fontes por necessidade de manutenção de sigilo, porém sem prejuízo do método.

## 4 CONCLUSÃO

O método se apresentou adequado às necessidades iniciais, ou seja, a partir da análise de taxas de eventos relacionados à segurança operacional, fornecer suporte à tomada de decisão, planejamento e avaliação de eficácia de medidas tomadas no sentido de reduzir tais índices. A solução aqui apresentada visa apresentar ao leitor uma ferramenta adicional, que se espera seja útil dentro da busca contínua da excelência.

A exemplo de qualquer outra ferramenta estatística, deve-se ter em mente que a sua aplicação pura não exime o analista de uma comprovação da sua validade dentro da natureza dos dados que manipula. Uma simulação que gere uma previsão ainda dentro de um intervalo passado conhecido pode fornecer um método de validação. Em outras palavras, pode-se utilizar um conjunto total de dados de quatro anos, aplicar o método com os dados dos três primeiros e verificar a aderência do resultado projetado para o quarto ano contra os valores reais. De qualquer forma, parâmetros fora do universo de controle, ou variações pontuais como alterações de produto, incorporação de novas tecnologias etc., podem afetar tal aderência. Um produto em que não se tenha uniformidade de comportamento a ponto de se realizar uma análise estatística, por si só demanda outras ações práticas que estão além do escopo deste trabalho. O analista ainda poderá buscar períodos mais representativos (semanais, por exemplo). Porém, mesmo se caracterizada a imprevisibilidade dos dados, esta é por si uma informação relevante, que poderá demandar as devidas ações a critério do responsável técnico. Ao final, caberá sempre ao analista a avaliação da aplicabilidade

deste método ou de qualquer outro, e decidir se uma projeção baseada simplesmente na média móvel atende à sua necessidade ou se é necessária uma ferramenta mais elaborada.

Assim, esta solução não se propõe cobrir toda a gama de situações que podem ser encontradas na prática, mas provê, dentro de sua gama de aplicação, soluções de alto valor a um custo de processamento extremamente baixo e rápido. Parafraseando o mercado de investimentos, onde "resultado passado, não é garantia de rendimento futuro", não há como definir o resultado futuro, apenas como estimar, mas isso pode ser feito de várias formas, algumas mais adequadas.

Atualmente, esta metodologia encontra-se em fase de implementação em um sistema de análise de dados da frota de aeronaves Embraer acessível aos operadores, e em fase de proposta para um sistema mundial de coleta e análise de dados para monitoramento da segurança operacional.

Na metodologia utilizada, manteve-se algumas premissas:

- As leituras devem ser igualmente espaçadas;
- Se houver periodicidade, esta deve permanecer constante e ser condizente com o tamanho do período assumido;
- O método se aplica a valores positivos, e os resultados são apresentados normalizados;
- A previsão utiliza o método aditivo de Holt-Winters, com coeficientes $\alpha$, $\beta$ e $\gamma$ ajustados automaticamente - isso pressupõe que projeções exponenciais podem ser utilizadas para a série temporal;
- A sazonalidade é estimada por interpolação senoidal, e seu resultado é apenas uma referência, não sendo utilizada para a projeção;
- Para a caracterização de ponto de mudança, é necessário que os candidatos apresentem um nível de confiança ≥95% em 10.000 interações, considerando buscas recursivas até 5º nível, onde cada sub-intervalo utilizado deve possuir ao menos 10 amostras;
- O método de convergência, utilizado para determinação dos coeficientes de ajuste que geram menor erro total, foi o suplemento "*Solver*" do Excel®.

O autor se compromete a remeter a planilha eletrônica utilizada como base ao longo deste trabalho para os interessados, mediante solicitação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos profissionais com quem interajo na realização das minhas atividades, pelos desafios que me apresentaram e levaram ao desenvolvimento deste método em particular. Estendo minha gratidão ao revisor desse artigo, pelo esmero na análise, a qual proporcionou a melhoria do mesmo. Também agradeço à minha família pelo apoio e pelo tempo de convívio que cederam. Finalmente, agradeço a Deus pela oportunidade da vida e pelos meios que me concedeu para buscar compreender um pouco melhor a Sua criação.

## REFERÊNCIAS

RAZABONI, P.M. **Change-Point Analysis Applied to SMS**, ISASI Forum magazine – Journal of the International Society of Air Safety Investigators, Volume 48, Number 4, October–December 2015, p. 26–30. Disponível em <http://www.isasi.org/Documents/ForumMagazines/Forum-V48-N4-LowRes%20Oct%20Dec%202015.pdf>. Acesso em 17 abr. 2018, 10:30:00.

TAYLOR, W.A. **Change-Point Analysis: A Powerful New Tool for Detecting Changes**, 2000. Disponível em <http://www.variation.com/cpa/tech/changepoint.html>. Acesso em 17 abr. 2018, 10:00:00.

WINTERS, P.R. **Forecasting sales by exponentially weighted moving averages**, Management Science, 1960. Vol. 6, p. 324–342

....

### Apêndice - Ponto de mudança

Para um conjunto de dados particular, constituído por uma série temporal, onde os mesmos se encontram regularmente espaçados, pode-se gerar uma representação gráfica como a que se segue (já incluindo o valor médio do intervalo):

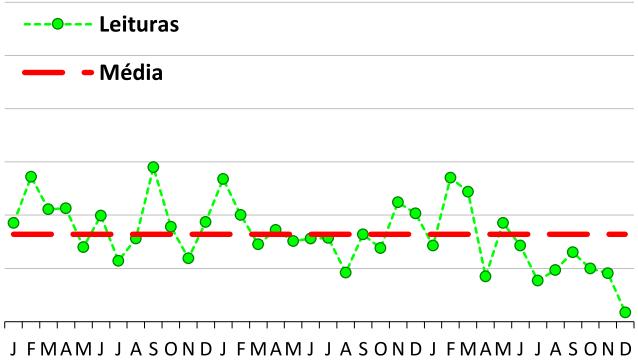


**Gráfico 1:** Conjunto de dados típico, com média

Determinar um ponto de mudança a partir do conjunto de dados acima pode ser desafiador. Vários métodos podem ser tentados. Por exemplo, um conjunto de pontos sequencialmente acima ou abaixo da média... Embora todas as técnicas possam, em princípio, ser implementadas por lógicas, algumas delas poderão gerar resultados discrepantes entre si, e um valor numérico pode ser difícil de se obter.

Para a detecção de pontos de mudança, foi utilizado um algoritmo chamado "Soma cumulativa das diferenças" em relação à média (OAKLAND, 2008). O cálculo realizado a partir do conjunto de dados possui o aspecto mostrado no gráfico a seguir:

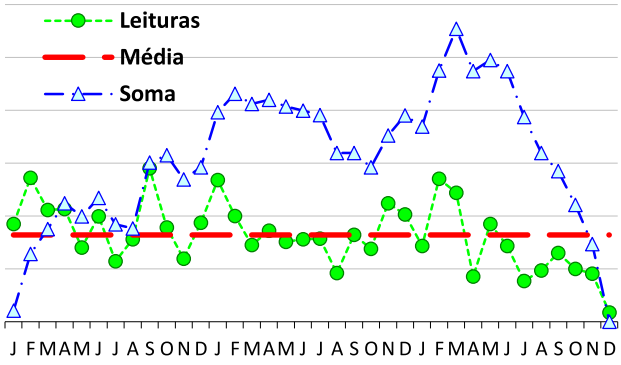



**Gráfico 2:** Soma cumulativa das diferenças

A curva da soma cumulativa das diferenças inicia com a diferença entre a primeira leitura e a média, e necessariamente termina no valor zero, já que, por definição, a soma de todas as diferenças em relação à média é zero. A coordenada "*x*" onde o valor "*y*" encontra-se mais distante da média (acima ou abaixo desta) define o candidato a ponto de mudança. Conceitualmente, a partir desse ponto, os valores passam a contribuir de forma inversa para o valor da média em relação aos predecessores.

Nesse momento, torna-se necessário verificar se a sequência de dados original apresenta um padrão de distribuição suficientemente significativo, não se constituindo meramente em uma sequência aleatória de dados que poderia vir a produzir um valor de pico em algum momento.

A maneira mais direta de fazer isso é forçar essa situação, embaralhando-se os dados e verificando se alguma distribuição aleatória seria capaz de gerar resultados comparáveis (nesse caso, uma amplitude maior na curva de Soma Cumulativa). De acordo com uma das referências (TAYLOR, 2000), proceder desta forma mil vezes deve ser suficiente para classificar o candidato como um ponto de mudança ou não. Por exemplo, se os dados forem aleatoriamente embaralhados e a amplitude da curva cumulativa for calculada 1.000 vezes, e para 950 vezes as amplitudes permanecerem abaixo da original, o candidato pode ser considerado um ponto de mudança com 95% de confiança. De forma análoga, se nenhuma outra distribuição fosse capaz de produzir amplitudes maiores, o candidato seria considerado um ponto de mudança com 100% de confiança. Neste exemplo, um ponto de mudança pode ser atribuído ao processo, da seguinte maneira:

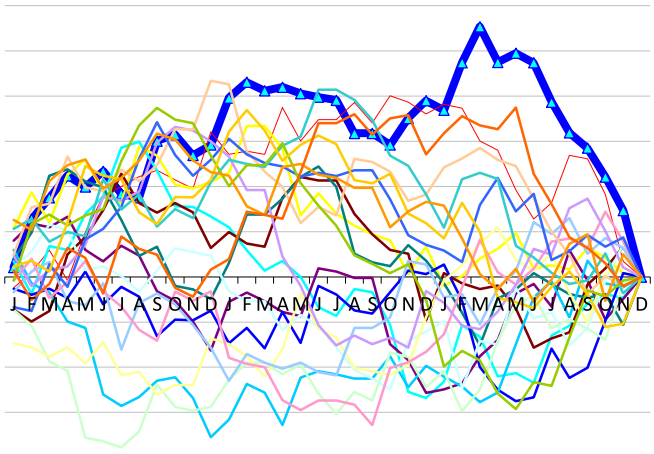



**Gráfico 3:** Soma cumulativa para várias séries

O Gráfico 3 mostra a soma cumulativa das diferenças em relação à média, para vinte conjuntos de dados obtidos a partir da combinação aleatória das leituras originais (estas, indicadas pela linha azul em negrito com marcadores). A amplitude de cada curva (distância em relação à média) é comparada com a original, para determinação do nível de confiança.

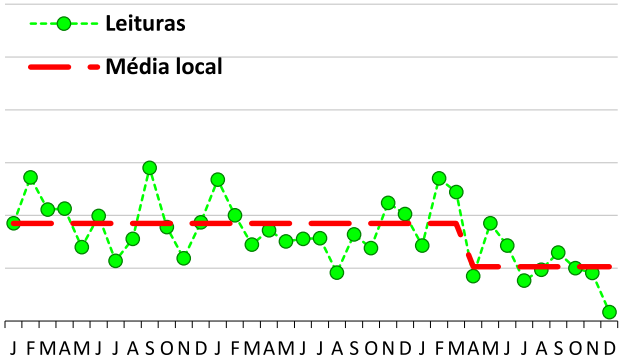



**Gráfico 4:** Representação das médias locais

Como o candidato foi classificado positivamente como um ponto de mudança, ou seja, revelou-se uma mudança de comportamento, calcula-se a média para ambos os sub-intervalos (antes / depois). Uma análise semelhante pode ser executada novamente para cada segmento, de forma recursiva, enquanto condições previamente estabelecidas permaneçam válidas. Como exemplo, pode-se limitar a busca a intervalos não menores que determinada quantidade de pontos, ou o número de níveis de busca. Obviamente, uma análise que não encontre pontos de mudança no intervalo, dentro do grau de confiança estabelecido, é determinante do término da busca.

# Análise Exploratória de Dados de Acidentes Aeronáuticos no Brasil

*João Paulo de Andrade Dantas [1], Jelton Alexandre da Cunha [1], Jamesson Lira Silva [1], Alessandro Oliveira Arantes [1], Vitor Conrado Faria Gomes [1]*

1 Instituto de Estudos Avançados – IEAv

**BIOGRAFIA:**

O Primeiro-Tenente Engenheiro João Paulo de Andrade Dantas concluiu em 2015 a graduação em Engenharia Mecânica-Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Atualmente é aluno de mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Eletrônica e Computação (PG/EEC) do ITA e pesquisador do Instituto de Estudos Avançados (IEAv) no Grupo de Ciência de Dados da Divisão de C4ISR. Contato: dantas@ieav.cta.br, (12) 3947-5301.

O Primeiro-Tenente Engenheiro Jelton Alexandre da Cunha concluiu a graduação em Engenharia de Computação pela ETEP Faculdades, em 2011. Atualmente é aluno de mestrado no Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologia Espaciais (PG/CTE) do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), e pesquisador do Instituto de Estudos Avançados (IEAv), no grupo de Ciência de Dados da Divisão de C4ISR. Contato: jelton@ieav.cta.br, (12) 3947-5301.

O Primeiro-Tenente Fotógrafo Jamesson Lira Silva concluiu em 2015 a graduação em Fotointeligência pelo Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica (CIAAR). Atualmente é aluno de mestrado no Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologia Espaciais (PG/CTE) do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), e pesquisador do Instituto de Estudos Avançados (IEAv), no grupo de Ciência de Dados da Divisão de C4ISR. Contato: jamessonls@ieav.cta.br, (12) 3947-5301.

O DSc. Alessandro Oliveira Arantes concluiu o mestrado em 2008 e o doutorado em 2016, ambos no curso de Computação Aplicada (CAP) pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Atualmente é tecnologista no Instituto de Estudos Avançados (IEAv), atuando no grupo de Ciência de Dados da Divisão de C4ISR. Contato: aarantes@ieav.cta.br, (12) 3947-5312.

O MSc. Vitor Conrado Faria Gomes concluiu o mestrado em 2012 e atualmente é aluno de doutorado no curso de Computação Aplicada (CAP) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Atualmente é pesquisador no Instituto de Estudos Avançados (IEAv), no Grupo de Ciência de Dados da Divisão de C4ISR. Contato: vitor@ieav.cta.br, (12) 3947-5301.

**RESUMO:** O artigo apresenta um ambiente para análise exploratória dos dados abertos disponibilizados pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), onde constam 6.238 ocorrências aeronáuticas notificadas entre os anos de 2006 e 2017. Utilizou-se, para tais estudos, tecnologias abertas que suportam o armazenamento, o acesso e a análise exploratória de dados. Além disso, o ambiente é estruturado de forma a permitir a realização de análise colaborativa e reprodutível. A partir da estruturação do ambiente, o processo ocorreu inicialmente com a leitura dos conjuntos de dados seguido da limpeza e adequação dos mesmos, possibilitando a análise por métodos computacionais. Por fim, foram realizadas visualizações gráficas dos dados, as quais permitiram responder questões acerca da progressão dos acidentes nos últimos anos, e ainda identificar os tipos de ocorrência mais frequentes. Foram verificados fatores como progressão temporal, localidades com maior concentração, dias e horários de maior incidência, fases de voo com momentos mais críticos e, ainda, a análise quantitativa de acidentes com fatalidades. Com isso, foi possível correlacionar essas informações e traçar um perfil de voo com mais frequência de acidentes. O ambiente pode ser utilizado em análises exploratórias de dados a fim do analista compreender melhor seus dados e identificar relações entre as variáveis observadas.

**Palavras Chave:** Acidentes Aeronáuticos, Ciência de Dados, Análise Exploratória de Dados, Ciência Reprodutível.

# Exploratory Analysis of Data on Aeronautical Accidents in Brazil

**ABSTRACT**: This article presents an environment for exploratory analysis of open data made available by the Brazilian Aeronautical Accident Investigation and Prevention Center (CENIPA), where there are 6,238 aeronautical occurrences reported between 2006 and 2017. The studies have made use of open technologies which support storage, access and exploratory analysis of data. In addition, the environment is structured so as to allow collaborative and reproducible analysis. From the structuring of the environment, the process started with the reading of data sets followed by their cleaning and adequation, allowing analysis by computational methods. Finally, graphical visualizations of the data were carried out, allowing to answer questions about the progression of the accidents in the last years, and to identify the most frequent types of occurrence. The study verified factors such as temporal progression, locations with higher concentration, days and times of higher incidence, flight phases with more critical moments, and quantitative analysis of accidents with fatalities. Thus, it was possible to correlate the pieces of information, and to draw a flight profile with the most frequent accidents. The environment can be used in exploratory data analysis so that the analyst can better understand the data available, and identify relationships between the observed variables.

**Keywords:** Aeronautical Accidents. Data Science. Exploratory Data-Analysis. Reproducible Science.

**Citação:** Dantas, JPA, Cunha, JA, Silva, JL, Arantes, AO, Gomes, VCF. (2018) Análise Exploratória de Dados de Acidentes Aeronáuticos no Brasil. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 106-127

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a quantidade disponível de dados tem crescido, motivados por políticas públicas de disseminação de informação e impulsionados pelos avanços tecnológicos em instrumentos de aquisição e sistemas computacionais de armazenamento e difusão (GRUS, 2015; EMC, 2015).

A disponibilização dessas bases de dados tem grande valor para a compreensão de fenômenos naturais, sociais, econômicos e políticos. No entanto, a extração eficiente de informações desses dados não tem acompanhado o mesmo ritmo. Os desafios muitas vezes encontrados por usuários desses dados envolvem questões como capacidade computacional para armazenamento e processamento, ou a dificuldade em obter ou escolher ferramentas para a realização das análises. Frequentemente, o volume, a densidade, e a dimensionalidade também são fatores críticos que dificultam o processo de extração de informações pelo analista (Câmara et al., 2016).

A Análise Exploratória de Dados (EDA, do inglês *Exploratory Data Analysis*) é uma abordagem para analisar conjuntos de dados para extrair suas principais características, muitas vezes, por métodos visuais (EMC, 2015). O objetivo principal é fornecer ao cientista uma primeira compreensão dos dados e, possivelmente, fornecer meios para formular hipóteses ou avaliar a necessidade de coletas de novos dados.

Dada a diversidade de opções disponíveis, documentar a experiência na seleção de tecnologias, técnicas e métodos de visualização de dados ajuda pesquisadores a avaliar como diferentes propostas podem atender suas necessidades de análise de dados (Câmara et al., 2016).

Nesse sentido, esse trabalho apresenta a exploração de um conjunto de dados sobre ocorrências aéreas disponibilizado pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA). A exploração desses dados tem grande valor para a compreensão do panorama histórico desses eventos.

No restante deste trabalho, inicialmente é apresentada a motivação para o uso de EDA aplicada a dados de ocorrências aéreas. Na sequência, é apresentada a metodologia utilizada neste trabalho, onde são apresentados os dados e o ambiente utilizado para a realização da EDA. A seção seguinte é destinada para a apresentação da análise geral dos dados. Essa seção é subdividida em diferentes domínios utilizados para a exploração. Antes de finalizar esse documento, é apresentado um estudo de caso específico, onde são avaliadas informações a respeito do período do dia, dia da semana e porte da aeronave, para caracterizar um perfil de maior ocorrência de acidentes aéreos. Por fim, são realizadas as considerações finais.

### 1.1 Motivação

Para que se possa pensar em medidas que auxiliem a prevenção de acidentes aeronáuticos, é importante se conhecer o panorama histórico dos eventos ocorridos. A motivação deste trabalho é analisar diversos aspectos relacionados aos acidentes aéreos com o intuito de se identificar possíveis padrões e revelar cenários com maior frequência de ocorrências aeronáuticas, baseado nos dados históricos disponibilizados pelo CENIPA. Todavia, não é a pretensão deste trabalho elaborar qualquer recomendação ou norma visando a prevenção de acidentes com base nas informações inferidas pela EDA.

A motivação deste artigo é utilizar um conjunto de técnicas de Ciência de Dados para designar ferramentas, tecnologias, e métodos reprodutíveis capazes de analisar, visualizar, e reconhecer tendências escondidas nos dados que tenham influência na frequência dos acidentes aéreos, como, por exemplo, seus locais, principais tipos de ocorrências, horários, e até mesmo os tipos de aeronaves envolvidas.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Ambiente para Análise Exploratória de Dados

Inicialmente, foi preparado um ambiente de análise para a realização da EDA. Visando a estruturação desse ambiente e a seleção das tecnologias, considerou-se a natureza dos dados e as necessidades dos cientistas. Esses profissionais são conservadores na escolha das ferramentas para a análise de dados. Eles preferem trabalhar com ferramentas simples que permitem novos métodos analíticos com a adição de novos pacotes (Câmara et al., 2016). Dessa forma, foram escolhidas ferramentas livres e que favorecessem a realização da análise de forma colaborativa e que pudessem ser facilmente reproduzidas por outros pesquisadores.

O ambiente de desenvolvimento R e a linguagem de alto nível Python são escolhas frequentes de analistas de dados, por contarem com uma variedade de ferramentas estatísticas, gráficas e de análise numérica. Para o ambiente utilizado no artigo, foi escolhida a linguagem Python. A escolha é motivada pela sua crescente popularidade na comunidade acadêmica (Wagner et al., 2017) e a disponibilidade de pacotes para computação científica (NumPy e SciPy), manipulação e análise de dados (Pandas), manipulação e análise de dados geoespaciais (GeoPandas), visualização de dados (Matplotlib e Seaborn) e produção de mapas de calor sobre o Google Maps (Gmplot).

Para o armazenamento e gerenciamento dos dados, foi utilizado o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL, pelo fato de ser código livre e por suportar manipulação de informações geográficas mesmo em sua versão nativa. Para este trabalho, foram utilizados os módulos *psycopg2* para a conexão e leitura do banco de dados PostgreSQL e o GeoPandas para a conversão dos dados das tabelas do PostgreSQL em data frames georreferenciados.

Para a criação de gráficos, foram utilizados os módulos Seaborn e Matplotlib. Para a geração dos mapas de calor sobre o mapa do território brasileiro foi utilizado o módulo Gmplot.

Como ambiente de desenvolvimento para integrar essas tecnologias, foi selecionado o Jupyter Notebook. Essa plataforma é um ambiente de análise colaborativa, que permite a elaboração de programas que combinam programas, textos formatados e figuras.

## 2.2 Dados

Para as análises realizadas neste trabalho, foram utilizados conjuntos de dados disponibilizados pelo CENIPA no Portal Brasileiro de Dados Abertos[1]. Esses dados contêm informações sobre as 6.238 ocorrências aeronáuticas que aconteceram no Brasil no período de 2006 a 2017. Essa base de dados possui quatro classes de dados: ocorrências, aeronaves, fatores e recomendações. As classes podem ser agrupadas a partir de um atributo em comum, e cada classe de dados é disponibilizada através de um arquivo CSV *(Comma-Separated Values)*. Foram utilizados também os Anuários Estatísticos de Tráfego Aéreo confeccionados pelo CGNA (Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea) e acessíveis no site do Instituto Brasileiro de Aviação[2].

Nesse estudo, foram analisados dados de ocorrências (informações sobre data, tipo de ocorrência, localidade, etc.) e sobre as aeronaves envolvidas nos eventos (informações de tipo de aeronave, fabricante, modelo, total de fatalidades, ano de fabricação, etc.). As Figs. 1 e 2 apresentam duas tabelas que listam os atributos contidos nas bases de dados de ocorrências e aeronaves, respectivamente, e disponíveis para análise. Ambas tabelas são formadas por três colunas: a primeira, que relaciona o nome dos atributos na base de dados; a segunda, que descreve o significado de cada um dos atributos no contexto do CENIPA; e a terceira, que especifica o tipo de dado contido.

| Ocorrências | | |
|---|---|---|
| **Atributo** | **Descrição** | **Tipo** |
| codigo_ocorrencia | Código da ocorrência | numérico |
| ocorrencia_classificacao | Classificação da ocorrência | texto |
| ocorrencia_tipo | Tipo da ocorrência | texto |
| ocorrencia_latitude | Latitude onde aconteceu a ocorrência | numérico |
| ocorrencia_longitude | Longitude onde aconteceu a ocorrência | numérico |
| ocorrencia_cidade | Cidade onde aconteceu a ocorrência | texto |
| ocorrencia_uf | Estado onde aconteceu a ocorrência | texto |
| ocorrencia_pais | País onde aconteceu a ocorrência | texto |
| ocorrencia_aerodromo | Código do aeródromo envolvido na ocorrência | texto |
| ocorrencia_dia | Data da ocorrência | data |
| ocorrencia_horario | Horário da ocorrência | hora |
| investigacao_aeronave_liberada | A aeronave foi liberada? | texto |
| investigacao_status | Status atual da investigação | texto |
| divulgacao_relatorio_numero | Número do relatório do CENIPA | texto |
| divulgacao_relatorio_publicado | O relatório do CENIPA foi publicado? | texto |
| divulgacao_dia_publicacao | Data da publicação do relatório do CENIPA | data |
| total_recomendacoes | Número total de recomendações | numérico |
| total_aeronaves_envolvidas | Número de aeronaves envolvidas na ocorrência | numérico |
| ocorrencia_saida_pista | Houve saída de pista na ocorrência? | texto |
| ocorrencia_dia_extracao | Data de extraçã desta base de dados | data |

**Figura 1 –** Atributos das ocorrências utilizados para análise.

[1] http://dados.gov.br/

[2]http://www.institutoaviacao.org/

| Aeronaves | | |
|---|---|---|
| **Atributo** | **Descrição** | **Tipo** |
| codigo_ocorrencia | Código da ocorrência | numérico |
| aeronave_matricula | Código de matrícula da aeronave | texto |
| aeronave_operador_categoria | Categoria de operação da aeronave | texto |
| aeronave_tipo_veiculo | Tipo de aeronave | texto |
| aeronave_fabricante | Fabricante da aeronave | texto |
| aeronave_modelo | Modelo da aeronave | texto |
| aeronave_tipo_icao | Código ICAO da aeronave | texto |
| aeronave_motor_tipo | Tipo de motor da aeronave | texto |
| aeronave_motor_quantidade | Quantidade de motores da aeronave | texto |
| aeronave_pmd | Peso máximo de decolagem da aeronave | numérico |
| aeronave_pmd_categoria | Categoria de peso da aeronave | texto |
| aeronave_assentos | Número de assentos da aeronave | numérico |
| aeronave_ano_fabricacao | Ano de fabricação da aeronave | numérico |
| aeronave_pais_fabricante | País de fabricação da aeronave | texto |
| aeronave_pais_registro | País que registrou a aeronave | texto |
| aeronave_registro_categoria | Categoria do registro da aeronave | texto |
| aeronave_registro_segmento | Segmento de registro da aeronave | texto |
| aeronave_voo_origem | Aeródromo de origem do voo | texto |
| aeronave_voo_destino | Aeródromo de destino do voo | texto |
| aeronave_fase_operacao | Fase de operação em que houve a ocorrência | texto |
| aeronave_tipo_operacao | Tipo de operação efetuado pela aeronave | texto |
| aeronave_nivel_dano | Nível de dano encontrado na aeronave | texto |
| total_fatalidades | Total de fatalidades resultantes da ocorrência | numérico |
| aeronave_dia_extracao | Data de extração desta base de dados | data |

**Figura 2 –** Atributos das aeronaves utilizados para análise.

A organização dos dados se iniciou a partir da carga dos arquivos no SGBD PostgreSQL. Com os dados carregados, foi realizada a criação chaves e índices nos atributos correspondentes. A partir desse ponto, os dados já estavam disponíveis para serem acessados através do módulo *psycopg2* pelas aplicações de análise.

Os dados carregados através do *psycopg2* foram prontamente convertidos para estruturas de *GeoDataFrame* do *GeoPandas*, a fim de disponibilizar as funcionalidades dessa biblioteca para as análises realizadas nesse estudo.

Inicialmente, foram conduzidos processos de limpeza e extração de novas informações. A limpeza foi utilizada para remover atributos que não foram utilizados na análise, enquanto que novos atributos, como período do dia e dia da semana, foram produzidos a partir dos demais atributos existentes. Além desses, um novo atributo geográfico foi produzido a partir das colunas de latitude e longitude das ocorrências.

Os conjuntos de ocorrências e aeronaves foram unificados pelo atributo *codigo_ocorrencia,* utilizando a funcionalidade de *merge* disponível na estrutura do *GeoPandas*.

## 3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS

Para realizar a EDA, foram estipulados domínios específicos para uma melhor visualização de inferências a respeito dos dados explorados. O processo de análise maximiza a obtenção de informações ocultas na estrutura de dados por meio de técnicas gráficas e quantitativas que detectam, por vezes, comportamentos não esperados e validam hipóteses assumidas, ou ainda justificam a escolha de modelos para determinado estudo de caso. Cada domínio específico de análise será apresentado nas subseções seguintes.

### 3.1 Classificação das ocorrências

Os dados de ocorrências disponibilizados pelo CENIPA são divididos em três classificações: Acidente, Incidente, Incidente Grave. De acordo com a NSCA 3-6 (Norma do Sistema do Comando da Aeronáutica), para classificar uma ocorrência como acidente ela precisa estar relacionada com a operação de uma aeronave que, no caso de aeronave tripulada, 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, ou, no caso de uma aeronave não tripulada, se dê entre o momento em que a aeronave está pronta para se

movimentar com o propósito de voar, até o momento em que cessa a sua movimentação ao final do voo e seu sistema principal de propulsão é desligado na qual, pelo menos, uma das situações abaixo ocorra:

a) Qualquer pessoa sofra lesão grave ou morra como resultado de estar na aeronave, ou em contato direto com qualquer uma de suas partes, incluindo aquelas que dela tenham se desprendido;
b) A aeronave sofra dano ou falha estrutural que afete adversamente a resistência estrutural, o seu desempenho ou as suas características de voo e que normalmente exija a realização de grande reparo ou a substituição do componente afetado; e
c) A aeronave seja considerada desaparecida, ou o local onde se encontre seja absolutamente inacessível.

Incidente, por sua vez, é toda ocorrência aeronáutica, relacionada com a operação de uma aeronave que não chegue a se caracterizar como um acidente aeronáutico grave, mas que afete ou possa afetar a segurança da operação.

Por fim, Incidente Grave trata-se de incidente aeronáutico envolvendo circunstâncias que indiquem que houve elevado potencial de risco de acidente relacionado à operação da aeronave e que:

a) No caso de aeronave tripulada, 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; e
b) No caso de uma aeronave não tripulada, tenha ocorrido entre o momento que a aeronave está pronta para se movimentar, com a intenção de voo, até a sua inércia total pelo término do voo e seu sistema de propulsão tenha sido desligado.

É importante ressaltar, que a diferença entre o incidente grave e o acidente está apenas nas consequências. Há exemplos para melhor entendimento de incidentes graves e de acidentes na MCA 3-6 e no Manual de Notificação de Acidentes/Incidentes.

Na Fig. 3 é possível observar a distribuição das ocorrências de acordo com sua classificação. Constata-se que mais de dois terços das ocorrências são classificadas como incidentes ou incidentes graves. Somente 28,3% das ocorrências foram acidentes (equivalente a 1.764 ocorrências), mas conforme sua própria definição, o acidente representa justamente uma ocorrência mais significativa em termos de perdas materiais e humanas. Por esta razão, as análises apresentadas no restante deste trabalho consideram apenas os acidentes.

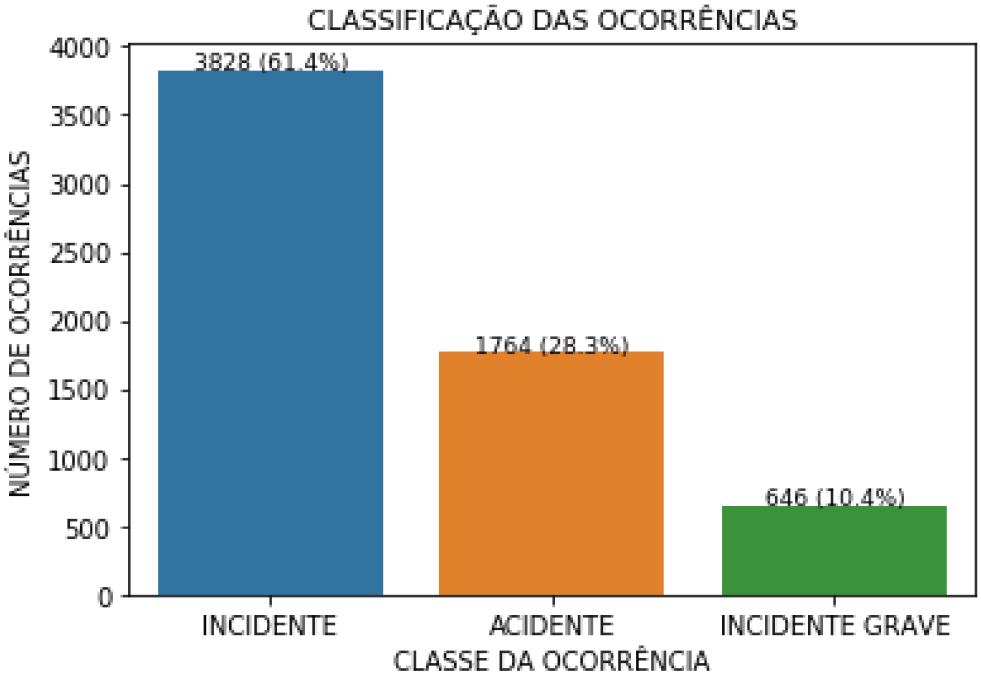



**Figura 3** – Distribuição das ocorrências nas classificações de Incidente, Incidente Grave e Acidente.

## 3.2 Classificação dos Acidentes

De acordo com a estrutura dos dados adquiridos, um acidente pode ser classificado em diversos tipos. A Fig. 4 apresenta a distribuição dos acidentes, por tipo de ocorrência, que ocorrerem entre 2006 e 2017 e que se encontram na base de dados do CENIPA. Observa-se que Falha do Motor em Voo (20,2%), Perda de Controle em Voo (20,1%) e Perda de controle em Solo 13,5%) são os três principais tipos de acidentes registrados no período analisado.

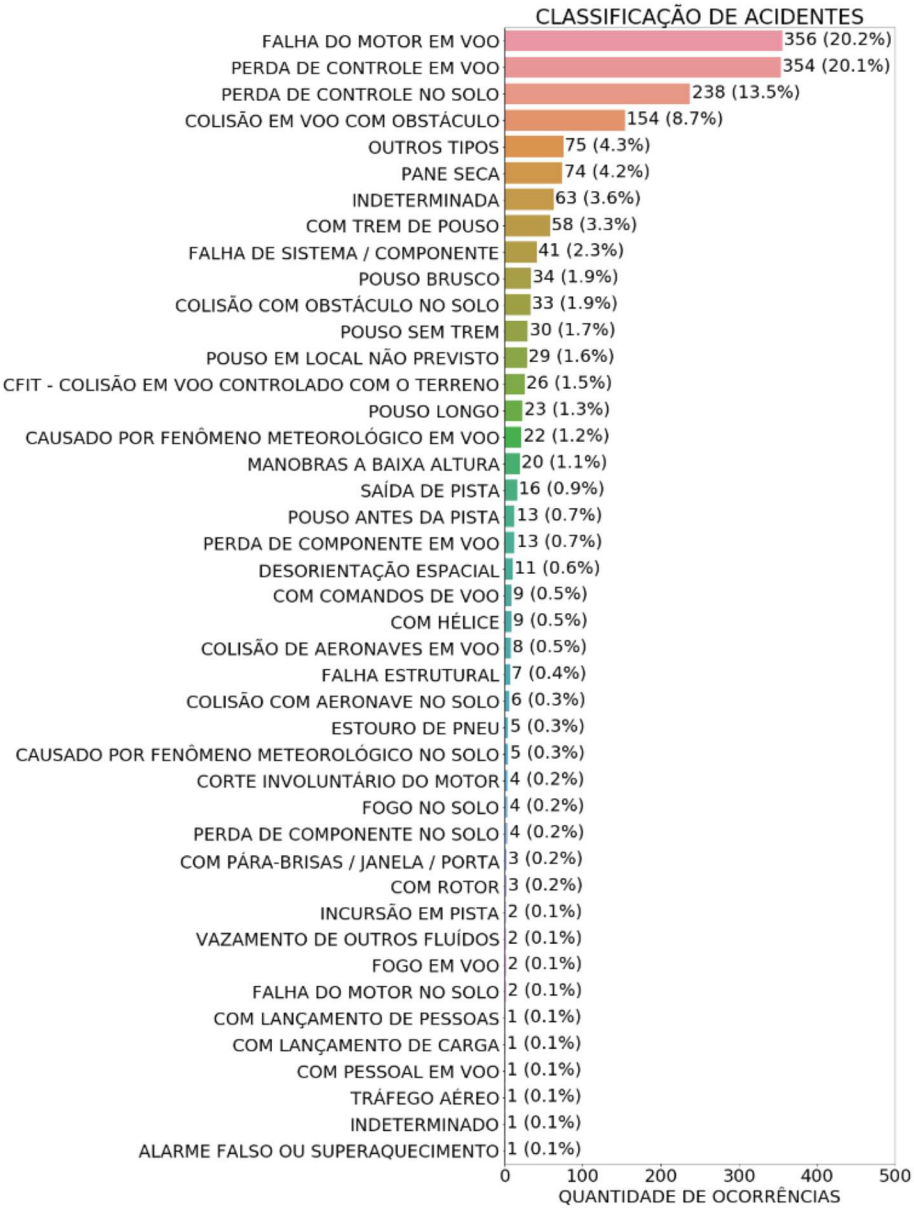



**Figura 4 –** Gráfico dos acidentes divididas por tipo e frequência.

As causas para tais ocorrências não necessariamente são em decorrência de uma falha humana na operação, como uma incompetência técnica por parte do piloto, por exemplo, pois a perda de controle em solo ou em voo pode ser devido a uma falha estrutural, mecânica, ou elétrica na aeronave. É importante mencionar que, apesar de haver apenas uma ocorrência de causa indeterminada, as análises relacionadas a classificação não são capazes de determinar com precisão o fator primário que desencadeou o acidente. Uma falha de motor em voo, por exemplo, pode ser classificada como a causa de um acidente, mas é uma condição que pode ser desencadeada por uma série de fatores como defeitos mecânicos, uso inadequado do equipamento, falta de manutenção, condições climáticas, entre outros. Estes fatores que determinam a origem dos acidentes não são tratados neste trabalho.

### 3.3 Progressão temporal dos acidentes

A Fig. 5 ilustra a progressão das ocorrências aéreas que cresceram, até 2012, de forma surpreendente. A partir de então os números estão retornando a patamares anteriores, sinalizando assim uma estabilização do número de acidentes no Brasil. Enquanto em 2006 houve menos que 80 acidentes, em 2012 esse número subiu para mais de 200. Já em 2017 esse valor está próximo de 140. É interessante observar que em 2006 e 2007 houveram os dois últimos grandes acidentes que mais marcaram a história do país, contudo, foram os anos com o menor número de acidentes no total. Por conseguinte, a maior quantidade de acidentes não necessariamente indica a maior quantidade de fatalidades.

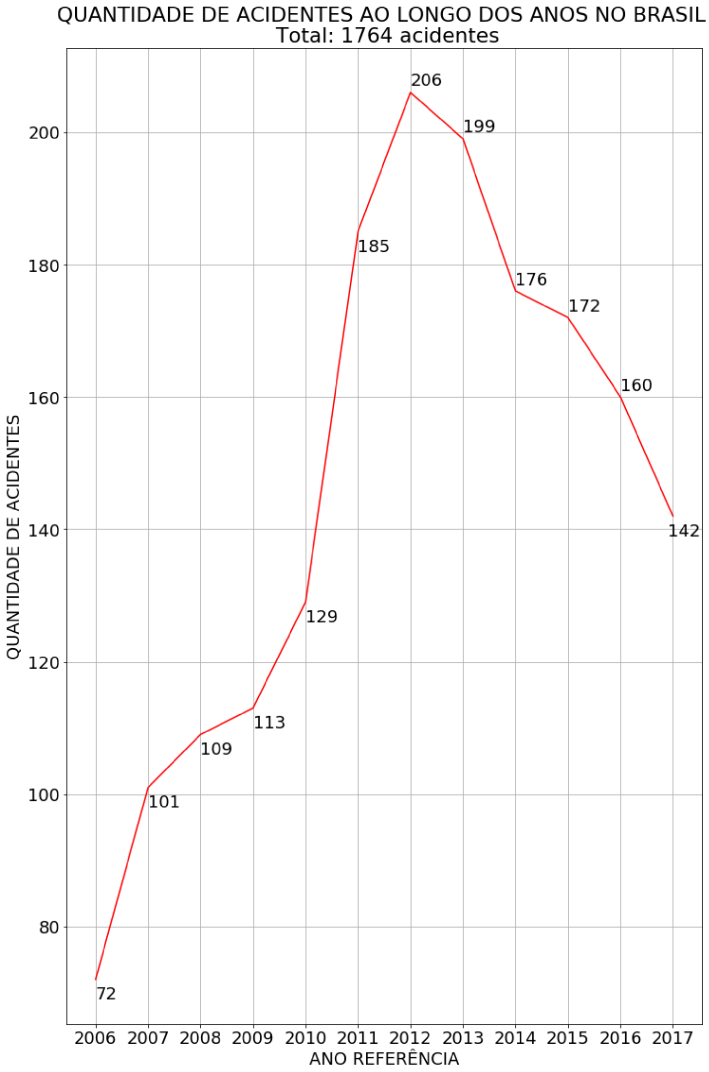



**Figura 5** – Gráfico de progressão temporal das ocorrências.

## 3.4 Acidentes por Tipo de Aeronave

A Fig. 6 mostra que o avião é um tipo de aeronave mais frequente em ocorrências aéreas no Brasil. E, de fato, a quantidade total de ocorrências de aviões é maior do que a soma de todos os outros tipos de aeronaves.

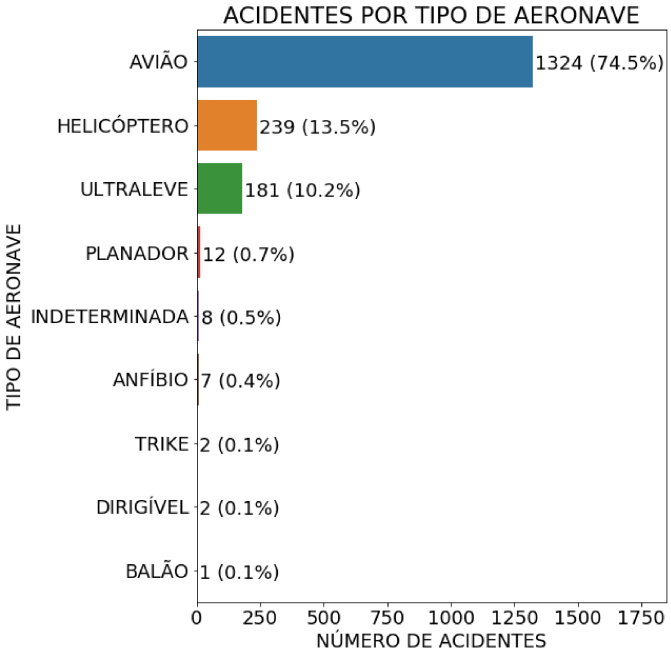



**Figura 6** – Gráfico de acidentes por tipos de aeronaves.

### 3.5 Acidentes por Tipo de Motor

Os motores aeronáuticos são divididos em motores a pistão, a jato, turboélice e os turboeixo. É possível observar, no gráfico mostrado na Fig.7, que os motores a pistão são encontrados em maior frequência nas ocorrências reportadas. Isso provavelmente ocorre, pois, o motor a pistão é o tipo mais antigo e comum em aviões monomotores. Eles possuem um custo reduzido de fabricação e manutenção, sendo semelhantes aos motores dos carros. Porém, com o tratamento, padrão de qualidade, e confiabilidade da aeronáutica, funcionam muito bem em voos a baixas altitudes.

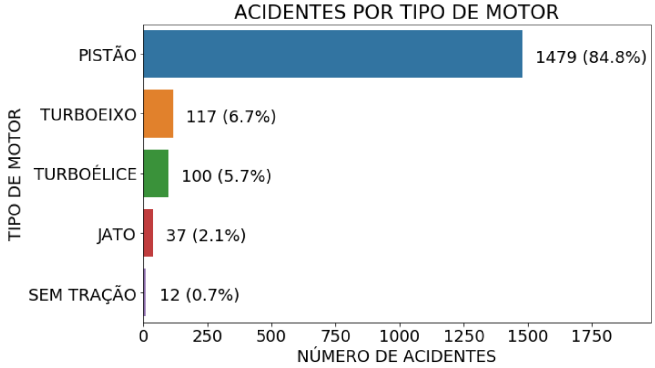



**Figura 7** – Gráfico de ocorrências por tipos de motores.

Em seguida, os tipos de motores com mais ocorrências foram os turboélice e turboeixo. Assim como os motores a pistão, os turboélice também são caracterizados pela hélice que fica à frente do avião. Contudo, trata-se de um motor de reação mista, pois é basicamente um motor a jato acionando uma hélice através de um redutor de velocidade instalado entre o eixo da turbina e a hélice. Já os motores turboeixo utilizam o mesma mecânica dos turboélice, com a diferença de que eles atuam em um eixo vertical que sustenta asas rotativas. Então, na prática, turboélice e turboeixo diferem basicamente no fato de que o primeiro é usado em aviões, e o segundo em helicópteros.

### 3.6 Acidentes por Fase de Operação

O gráfico da Fig.8 mostra que as fases de aproximação, quando o avião começa a descida, até a corrida após o pouso, correspondem aos momentos mais críticos. Cerca de 546 ocorrências, das mais de 1.700 registradas, ocorreram nesta fase. Além disso, vale destacar também que o número de ocorrências durante a decolagem é consideravelmente próximo ao número de ocorrências durante o pouso, fazendo também da decolagem uma fase de operação delicada.

Isso ocorre porque durante essas fases, o avião está mais próximo do chão e mais vulnerável a falhas, sendo assim, qualquer falha humana ou mecânica pode dar início a uma sequência de erros que eventualmente causam um acidente fatal. Aliás, em geral espera-se que na hora do pouso as falhas mais comuns sejam humanas, já que a tripulação está sob maior pressão psicológica e estresse, e tem menos tempo de decisão para manobras de emergência. A decolagem também é considerada um momento crítico, pois na decolagem a aeronave opera em capacidade máxima de potência e sofre grande pressão estrutural. Isso ocorre, pois, o avião está mais pesado, cheio de combustível, ainda está ganhando velocidade, e subindo com uma capacidade de sustentação menor.

**Figura 8 –** Gráfico de ocorrências por Fase de Operação.

Como mencionado anteriormente, nem todo acidente resulta necessariamente na existência de fatalidades, pois uma aeronave seriamente avariada ou perdida também é caracterizada como acidente, mesmo que não haja sequer feridos. Uma análise mais detalhada especificamente das fatalidades ocorridas é mostrada a seguir.

## 3.7 Fatalidades

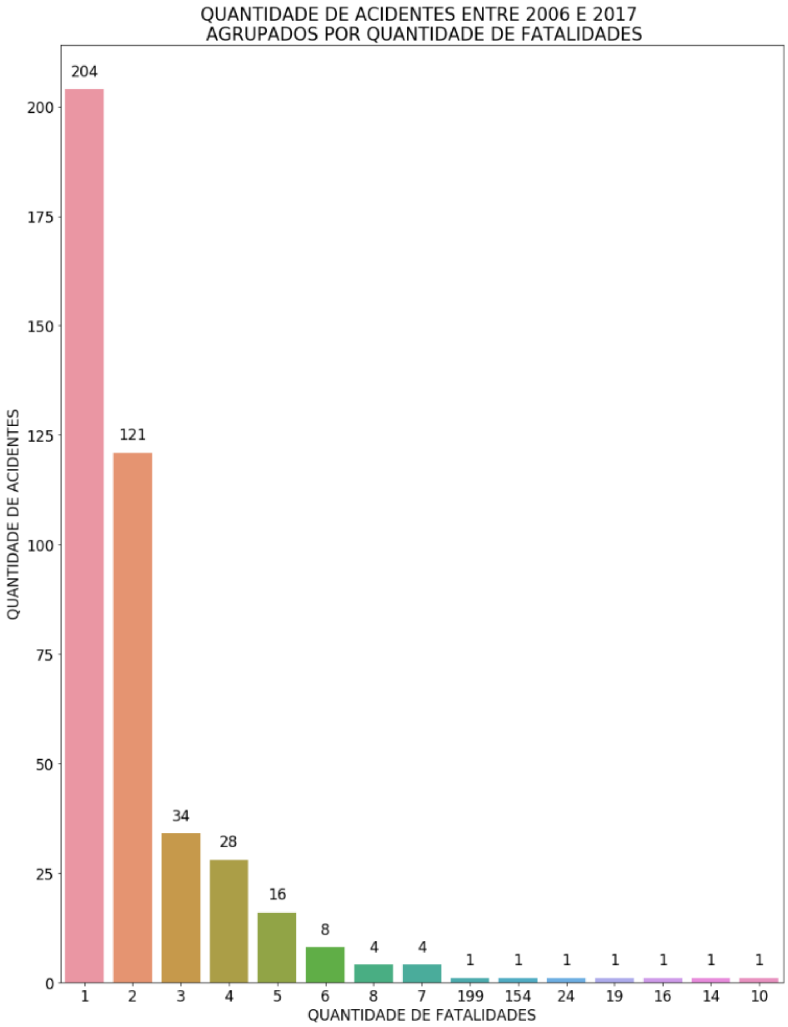



**Figura 9** – Gráfico de fatalidades por ocorrências.

É possível observar também que os dois grandes acidentes que marcaram o Brasil nos últimos anos se destacam no gráfico. Em 2006 um Boeing da Gol voo 1907 chocou-se contra um jato Legacy que se dirigia para os Estados Unidos. Como resultado do choque, a aeronave caiu em uma mata fechada na região de Peixoto de Azevedo, a 692 km ao Norte de Cuiabá. As 154 pessoas que estavam a bordo, entre tripulantes e passageiros, morreram na queda. O outro acidente, ocorreu em 2007 quando um Airbus A-320 que fazia o voo da TAM 3054 não conseguiu pousar na pista principal do aeródromo de Congonhas em São Paulo. Sob chuva, a aeronave ultrapassou os limites do aeródromo, atravessou a avenida Washington Luiz e acabou se chocando contra um prédio da TAM Express. Uma explosão e um grande incêndio seguiram a colisão que vitimou 199 pessoas dentre as que estavam no voo e as que morreram em solo.

## 3.8 Localidade

O gráfico de ocorrências por localidade, mostrado na Fig. 10, constata que o estado de São Paulo foi o que teve o maior número de ocorrências, superando inclusive a soma de todos os acidentes dos outros estados da região sudeste. São Paulo é o estado com mais aeródromos do Brasil, portanto, é de se esperar que como consequência tenha o maior número de voos, permitindo-nos cogitar que este é o motivo de tantas ocorrências. Outros estados, com menos aeródromos, como Goiás, Maranhão, Mato Grosso e Minas Gerais obtiveram um número de ocorrências consideravelmente menor que o estado de São Paulo. Observe também que dois acidentes não constam no gráfico, que computa 1.762 acidentes, pois foram ocorrências fora do território brasileiro, mas com aeronaves nacionais.

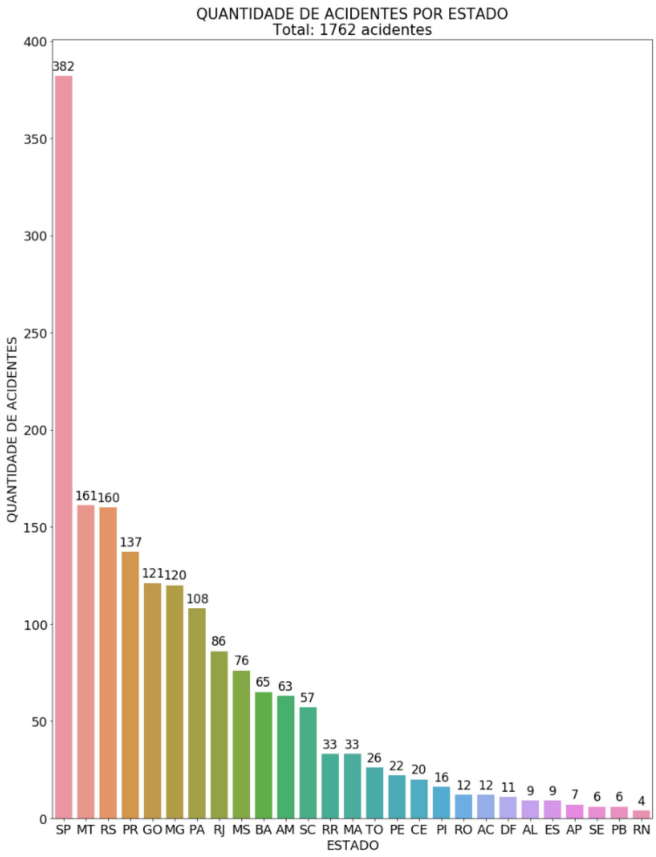



**Figura 10 –** Gráfico de acidentes por localidade.

Com o intuito de analisar a concentração das ocorrências em suas localidades, a Fig.11 mostra uma projeção dos dados com informações geográficas num mapa de calor sobre o território brasileiro visualizado no Google Maps. Mapas de calor são uma das melhores ferramentas de análise exploratória de dados para a visualização da densidade de ocorrências, pois torna fácil a identificação de ilhas onde existe uma elevada concentração de atividade (Choudhary et al., 2015).

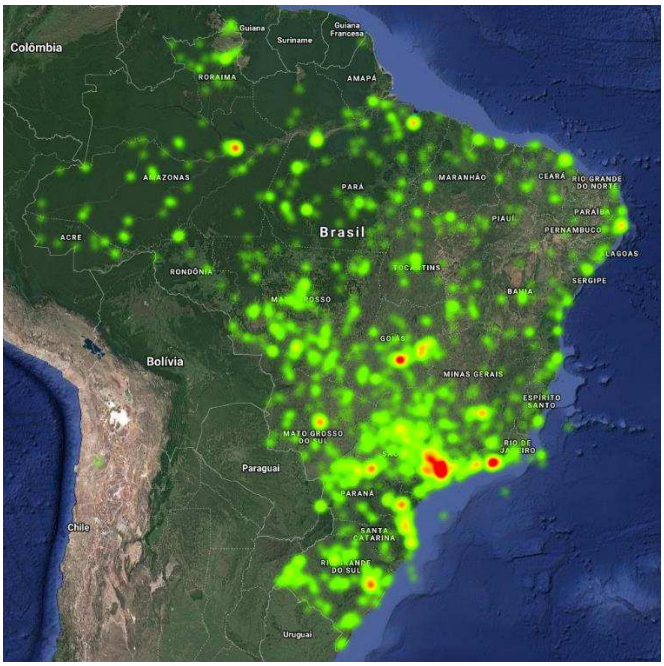



**Figura 11 –** Mapa de calor dos acidentes aeronáuticos ocorridos no Brasil.

Nota-se que a maioria dos acidentes ocorreu nas proximidades dos principais aeródromos do país, reforçando uma tendência já citada neste trabalho. É possível observar também que existem algumas ilhas de concentração onde a ocorrência de acidentes se destaca, como na região entre a grande São Paulo e Campinas, Rio de Janeiro e Goiânia. É elementar deduzir que em São Paulo e Rio de Janeiro a concentração de acidentes seja maior, pois os quatro principais aeródromos destas cidades estão entre os cinco mais movimentados do país, segundo a última atualização do ranking de aeródromos mais movimentados do Brasil feito

pela CGNA em 2016. No entanto, Goiânia causa certa surpresa em aparecer com tanto destaque, já que é apenas o décimo quarto colocado neste mesmo ranking.

De forma menos destacada, a figura mostra também outras ilhas em Porto Alegre, Curitiba, Londrina, Campo Grande, Belo Horizonte, Brasília, Manaus, Recife e Belém. E é interessante observar que Salvador, Cuiabá, Florianópolis e Vitória não aparenta ter muitas ocorrências, mesmo possuindo alguns aeródromos bem colocados no ranking. Por outro lado, Londrina concentra um número elevado de acidentes, tendo em vista que é apenas o vigésimo segundo lugar no ranking.

Outras regiões que se destacam em grau menor são: o litoral de Santa Catarina (região entre Florianópolis, Balneário Camboriú e Joinville), litoral do estado do Rio de Janeiro (região de Paraty, Angra dos Reis e Mangaratiba), Cuiabá, e interior de São Paulo (região entre São José do Rio Preto, Barretos e Ribeirão Preto).

## 3.9 Categoria da Aeronave

O gráfico da Fig.12 mostra a distribuição dos acidentes aeronáuticos no Brasil por categoria de aeronave. Essas definições são importantes para que se possa evidenciar as operações com maior ocorrência de acidentes com base no número absoluto de incidências.

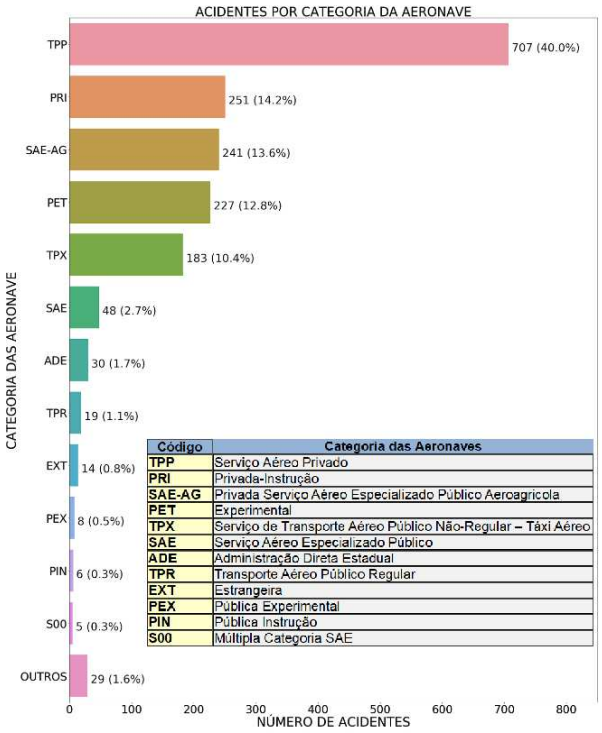



**Figura 12 -** Gráfico de acidentes por Categoria da Aeronave

É possível observar na Fig. 12 que a categoria de aeronave que sofreu o maior número de acidentes foi a de aeronaves de Serviços Aéreos Privados. Porém, é muito importante mencionar que, baseado na definição de voo privado que segue a Resolução nº 293 de 19 de novembro de 2013, da ANAC, a categoria das aeronaves privadas pode englobar vários subcategorias como aeronaves experimentais ou agrícolas, de forma que o valor observado nesta categoria pode representar um sentido dúbio em muitos casos, de acordo com a interpretação da pessoa que preencheu a informação no sistema. Ou seja, na prática, pode-se conjecturar que muitas aeronaves experimentais, agrícolas ou de instrução podem ter sido cadastradas como privadas na base de dados do CENIPA.

À exceção das aeronaves privadas, as categorias que se destacam com o maior número de acidentes são as aeronaves de instrução, agrícola, experimental e táxi-aéreo, respectivamente. As demais categorias apresentam números bem menos significativos.

## 3.10 Acidentes por horário do dia

A distribuição de acidentes por horário do dia está apresentada na Fig.13. Analisar as ocorrências ao longo do dia permite realizar inferências sobre os horários ou períodos específicos do dia com maior incidência de acidentes, o que pode contribuir para políticas de prevenção de acidentes. Analisando a Fig.13, pode-se observar uma maior concentração no número de ocorrências em períodos específicos do dia, como no início da tarde (12h-14h) e início da noite (18h-20h). A maior frequência de ocorrências nesses horários pode estar relacionada, por exemplo, com o maior número de voos nesses horários ou, ainda, com a iluminação solar. A fim de verificar a hipótese de que a maior ocorrência de acidentes no período das 18h às 20h está associada ao crepúsculo vespertino, foi produzido um mapa de calor, apresentado na Fig.14. Caso a hipótese for verdadeira, é esperado

que as ocorrências relacionadas ao pôr do Sol variem de horário durante o ano, uma vez que, no inverno, o Sol se põe mais cedo e, no verão, mais tarde. O mapa da Fig. 14 apresenta o número acumulado de acidentes aéreos para cada mês e cada hora do dia.

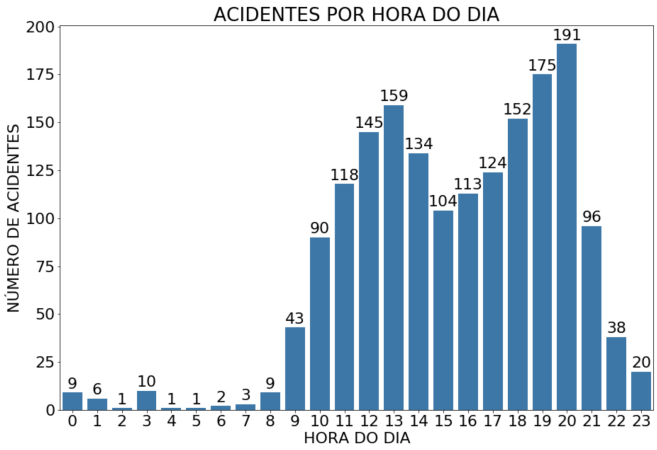



**Figura 13 -** Distribuição de acidentes por hora do dia

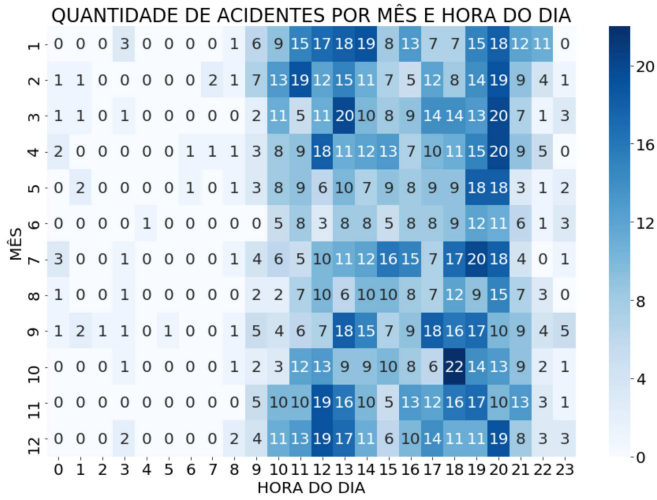



**Figura 14 -** Quantidade de acidentes por mês e hora do dia

Como pode-se observar, os picos de ocorrências no final da tarde não ocorrem com uma hora de antecedência nos meses de inverno, quando comparados aos meses de verão. Em diversos meses (janeiro, fevereiro, abril, março, setembro, novembro e dezembro) o pico de ocorrências no meio do dia (Sol próximo ao zênite) está muito próximo ao acumulado de ocorrências no final da tarde (pôr do Sol).

O panorama da distribuição de acidentes dividido por mês e hora do dia motivou os autores a discretizar períodos do dia de modo a tornar a análise mais perceptível. Para as análises a seguir, e para este trabalho, o dia foi dividido nos seguintes períodos: manhã (entre 6h e 12h), tarde (entre 12h e 18h), noite (entre 18h e 0h) e madrugada (entre 0h e 6h).

## 4 ESTUDO DE CASO

A seção anterior apresentou uma Análise Exploratória dos Dados de ocorrência aéreas no Brasil. Poderíamos observar separadamente cada domínio (variável) a fim de identificar as características que definem o perfil com maior frequência de acidente. Esse tipo de análise resultaria, por exemplo, na conclusão que a maior parte dos acidentes ocorrem com aviões de serviços aéreos privados (TPP), com falhas do motor (à pistão) em voo, durante a decolagem, no estado de SP, por volta das 20h aos sábados. Apesar de haver maior chance do perfil de ocorrência de acidentes possuir essas características, não é possível fazer essa afirmação sem, antes, fazer uma avaliação cruzada entre pares de variáveis, seguida por três, quatro, até o número total de variáveis menos um. Usando seis variáveis, por exemplo, seriam necessárias 56 avaliações cruzadas, que seriam as combinações dois a dois, três a três, quatro a quatro e cinco a cinco das variáveis para certificar o perfil de maior ocorrência.

A fim de apresentar o método da análise dos dados, esta seção apresenta um estudo de caso para identificação do perfil com maior probabilidade de envolvimento em acidente aéreo, considerando as variáveis dia da semana, período do dia e porte da aeronave. A redução do domínio de análise foi realizada a fim de simplificar a complexidade da análise, uma vez que o objetivo do trabalho está mais voltado a fornecer uma primeira compreensão dos dados e documentar tecnologias, técnicas e métodos em Ciência de Dados na análise de incidentes aéreos ocorridos no Brasil.

Em relação ao dia da semana, a distribuição demonstrou que o dia que ocorre mais acidentes é o **sábado**, com 300 ocorrências, e segunda-feira é o dia em que ocorre menos acidentes, apontando 207 ocorrências. A Fig.15 mostra a distribuição de acidentes por dia da semana, com 17,2% dos acidentes ocorridos no sábado.

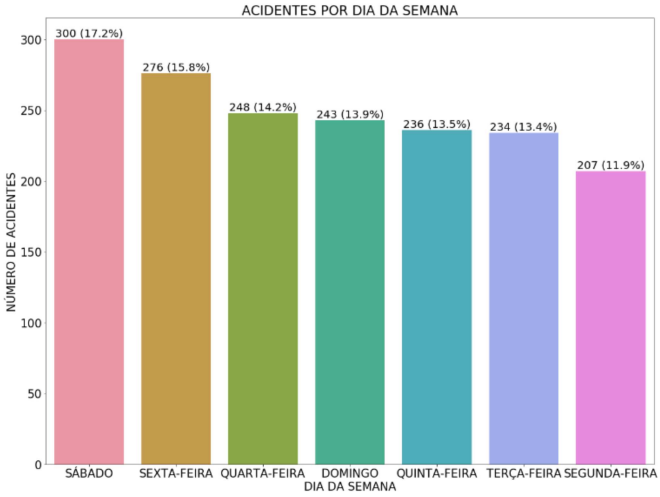



**Figura 15 -** Distribuição por dia da semana

Para isso, em relação ao período do dia, conforme convenção adotada neste artigo, observou-se uma maior incidência de ocorrências no período da **tarde**, ou seja, entre 12h e 18h. Foram um total de 779 ocorrências de acidentes neste período, o que corresponde a 44,6% das ocorrências. O gráfico da Fig.16 mostra a distribuição dos acidentes por período do dia.

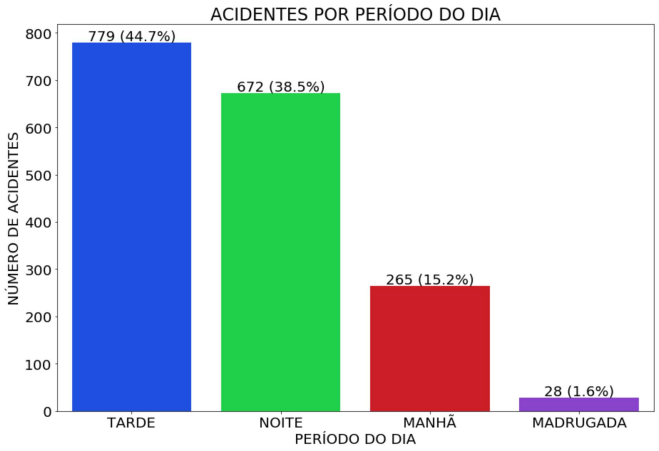



**Figura 16 -** Distribuição por período do dia

Já em relação ao porte da aeronave, o CENIPA (2006, p. 2) classifica as aeronaves em três categorias: leve (com até 2.250kg), média (entre 2.250kg e 5.700kg) e pesada (acima de 5.700kg). Classificando os acidentes de acordo com o porte da aeronave, chega-se a um predomínio dos **aparelhos de porte leve** com um total de 1.493 ocorrências, o que corresponde a 85,6% do total. O gráfico da Fig.17, mostra a distribuição de acidentes pelo porte da aeronave.

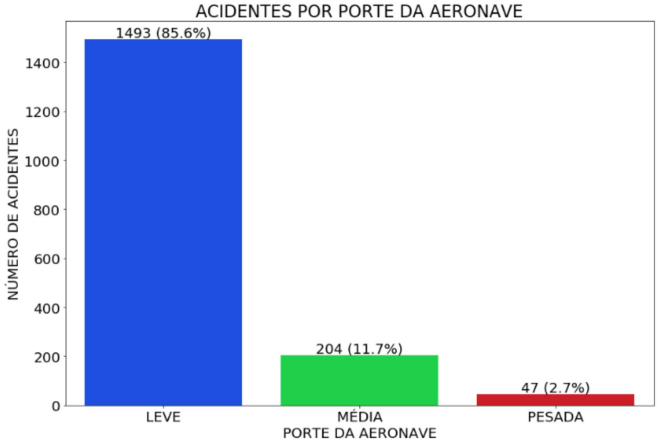



**Figura 17 -** Distribuição por dia da semana

Portanto, considerando as três distribuições anteriores, pode-se traçar um perfil com maior quantidade de acidentes, considerando os atributos mencionados: **aeronave de porte leve, cujo voo ocorre no sábado à tarde**.

## 4.1 Realizando as correlações

O próximo passo foi de confirmar o perfil de criticidade encontrada fazendo as correlações das características encontradas individualmente. Para isso, considerando apenas o sábado, tivemos um total de 138 acidentes no período da tarde, conforme a distribuição encontrada no gráfico da Fig. 18. Por isso, o percentual de ocorrências no período da tarde, para este caso é de 46%.

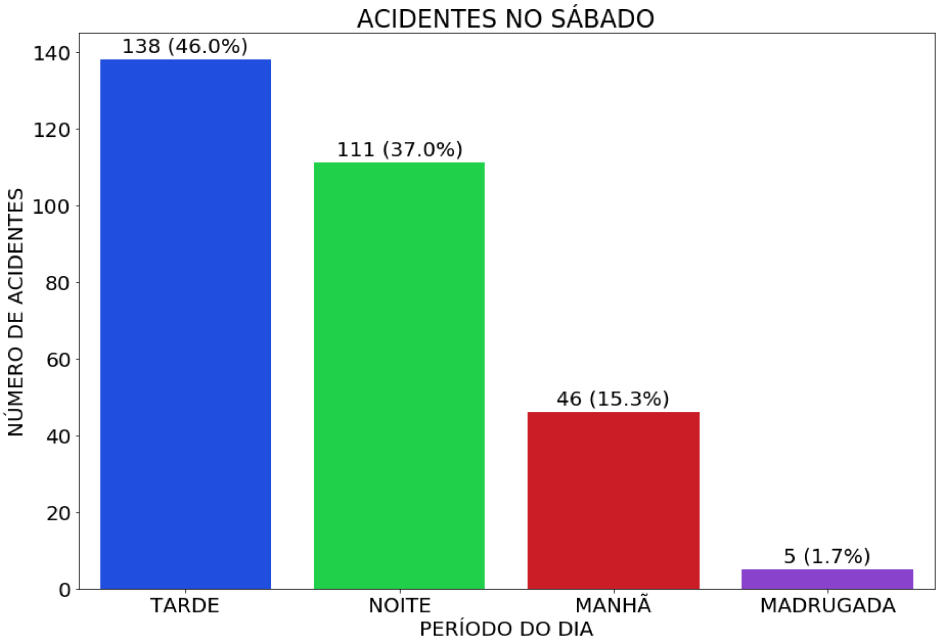



**Figura 18 -** Distribuição por período do dia no sábado

Ainda considerando os acidentes ocorridos no sábado, tivemos um total de 273 acidentes ocorridos com aviões de porte leve. A distribuição dos acidentes no sábado por porte da aeronave pode ser visualizada no gráfico da Fig.19. Destaca-se o significativo aumento do número de acidentes envolvendo as aeronaves do tipo leve aos sábados, representando 91% do total de ocorrências.

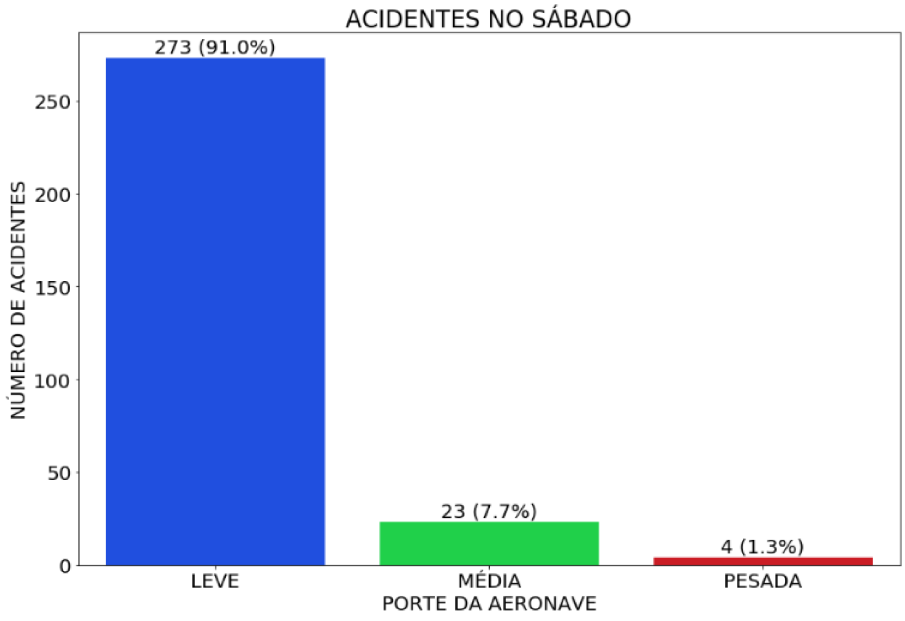



**Figura 19 -** Distribuição por porte de aeronave no sábado

Do mesmo modo, correlacionou-se os acidentes ocorridos no período da tarde com o porte da aeronave. Como resultado, tivemos um total 679 acidentes com aeronaves leves, ou 87,1% das ocorrências, cuja distribuição encontra-se no gráfico da Fig. 20.

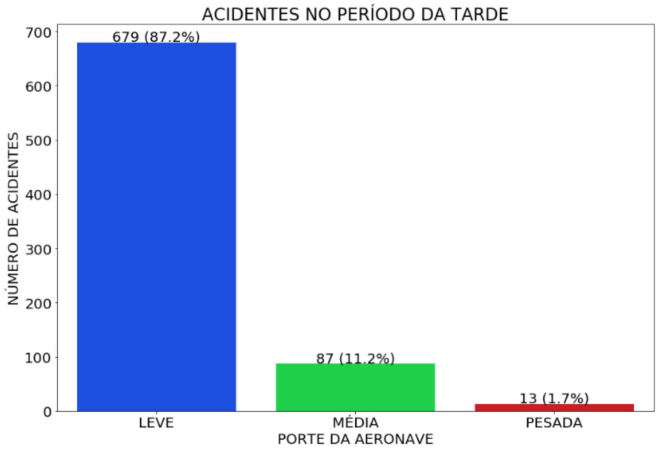



**Figura 20 - Distribuição por porte de aeronave no período da tarde**

Também no período da tarde, foi realizada a correlação considerando os dias da semana. Observando a distribuição das ocorrências, de acordo com a Fig. 21, é possível ratificar a informação de que o dia da semana que mais ocorre acidentes à tarde é sábado, com 17,7% dos eventos.

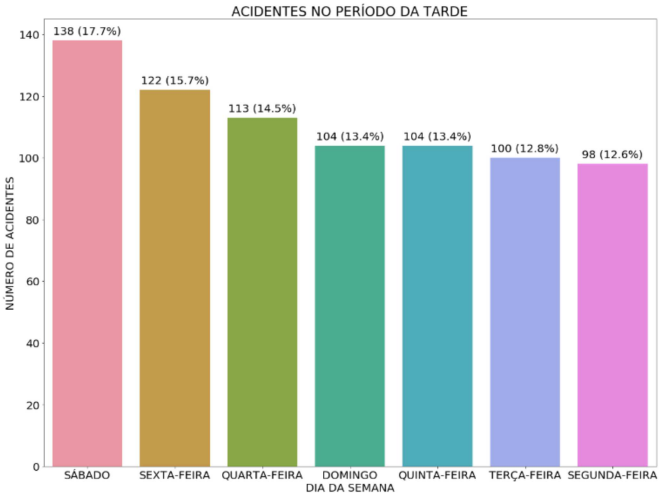



**Figura 21 -** Distribuição por dia da semana no período da tarde

Finalmente, efetuou-se as correlações de acidentes ocorridos com aeronaves de porte leve. A primeira correlação foi com os dias da semana. A distribuição dos dados, conforme mostra a Fig. 22, aponta, mais uma vez, o sábado como o dia da semana com mais ocorrências, com 273 registros, ou 18,3% dos acidentes.

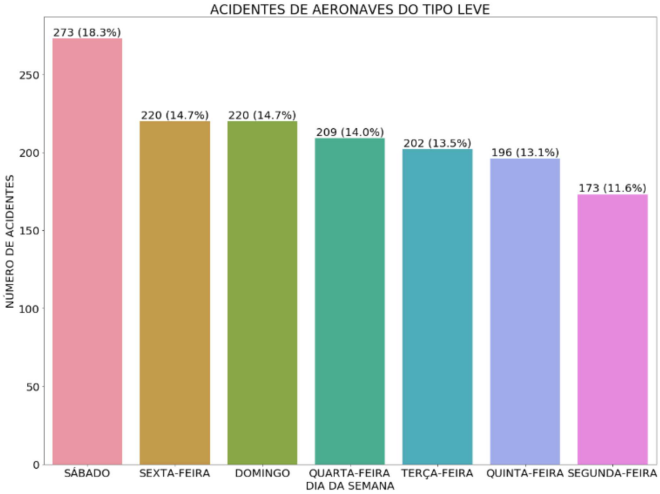



**Figura 22 -** Distribuição por dia da semana de acidentes de aeronave de porte leve

Em seguida, foi efetuada a correlação entre as aeronaves do tipo leve e o período de ocorrência dos acidentes deste tipo de aeronave. Mais uma vez, foi possível constatar que o período que mais ocorre acidentes é o da tarde, ou seja, entre 12h e 18h. Ocorreram um total de 679 ocorrências neste período, seguidos pelos períodos da noite, manhã e madrugada. A distribuição da

correlação é mostrada na Fig. 23. Ratificando as análises anteriores, o período do dia com mais eventos corresponde por 45,5% dos registros.

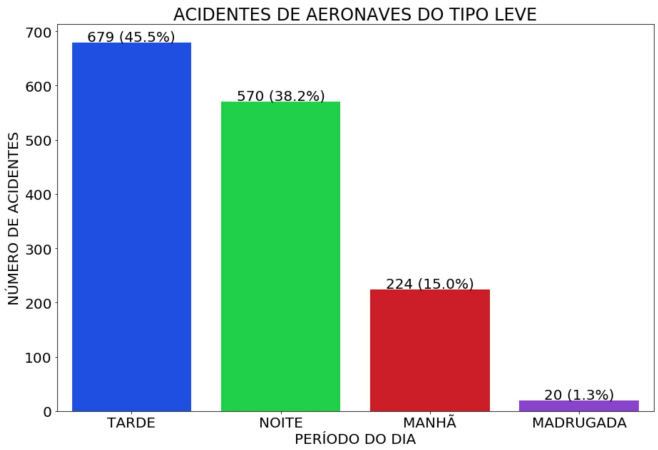



**Figura 23 -** Distribuição por período do dia de acidentes de aeronave de porte leve

Ainda em busca do perfil de voo mais suscetível a um acidentes, foram efetuadas algumas outras correlações. Uma delas foi a correlação entre o tipo da aeronave que mais se acidenta no sábado, considerando apenas o período da tarde. O resultado foi um montante de 126 eventos com aviões do tipo leve, correspondente a 91,3% das ocorrências, conforme mostrado no gráfico da Fig. 24.

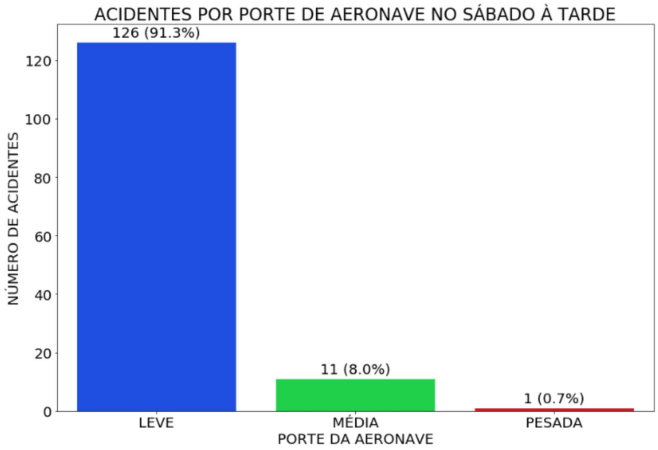



**Figura 24 -** Distribuição por porte da aeronave de acidentes ocorridos no sábado à tarde

A próxima correlação diz respeito ao período do dia dos acidentes envolvendo aviões de porte leve que se acidentam no sábado. O resultado da correlação foi um total de 126 ocorrências no período da tarde, ou 46,2% das ocorrências, conforme aponta a distribuição do gráfico da Fig. 25.

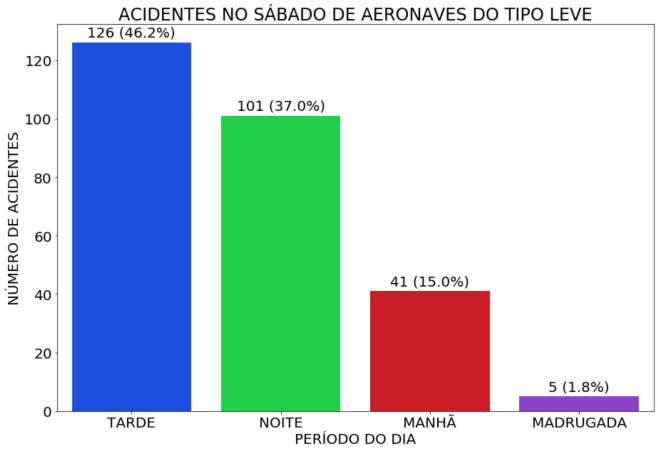



**Figura 25 -** Distribuição por período do dia de acidentes ocorridos no sábado à tarde

A última análise foi sobre o dia da semana com mais ocorrências considerando as aeronaves de porte leve acidentadas no período da tarde. O sábado aparece, novamente, como o dia da semana com mais ocorrências, com 126 eventos. Esse montante faz referência a 18,6% dos acidentes, conforme mostra o gráfico da Fig. 26.

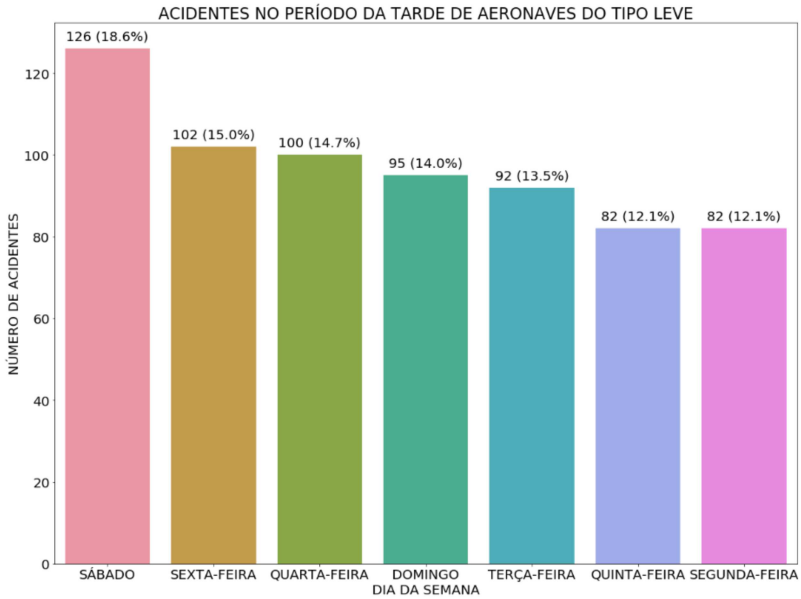



**Figura 26 -** Distribuição por dia da semana dos acidentes de aeronaves leves ocorridos no período da tarde

Portanto, por meio das diversas análises e correlações realizadas, foi possível obter e ratificar o perfil mais crítico de voo considerando as variáveis: dia da semana, período do dia e porte da aeronave. O resultado evidenciou que as **aeronaves de porte leve que voam no sábado no período da tarde** são mais suscetíveis a um acidente aeronáutico.

Não há dados que possam ser analisados para demonstrar essa tendência, mas pode-se conjecturar que o fato dos acidentes serem mais comuns em aeronaves de porte leve que voam no sábado à tarde, seja reflexo do tipo de uso que faz o público alvo dessas aeronaves, que em geral as utilizam como um hobby, para voos panorâmicos, instrução ou viagens. E tais eventos são mais comuns aos finais de semana.

De forma a complementar a análise, buscou-se identificar com informações geográficas os locais onde mais ocorrem acidentes com o perfil crítico supracitado. Como resultado de tal análise, obteve-se o mapa de calor mostrado na Fig. 27, onde é possível identificar alguns núcleos no território nacional com maior índice de acidentes relacionados ao perfil crítico destacado anteriormente.

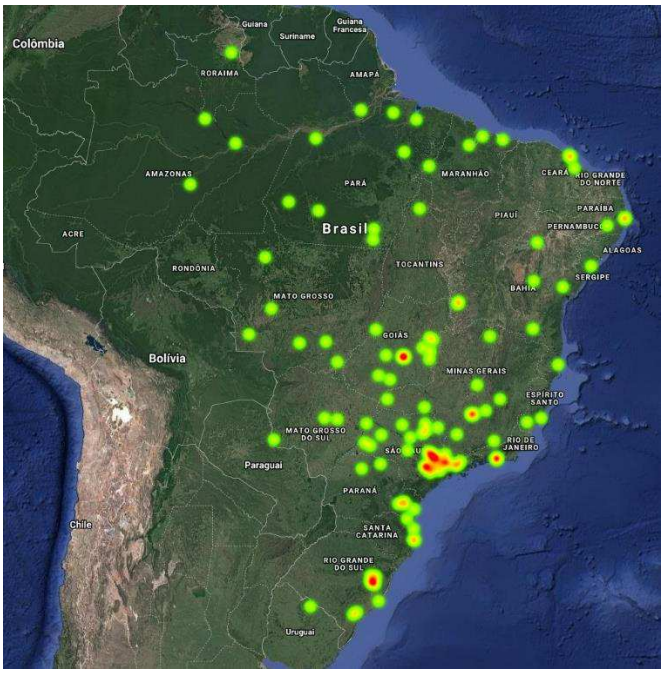



**Figura 27 -** Mapa de calor dos acidentes de aeronaves leves ocorridos no sábado à tarde

O estado de São Paulo, tanto a capital quanto o interior, destacam-se como uma das regiões com maior número de acidentes, conforme é mostrado de forma mais aproximada na Fig. 28.

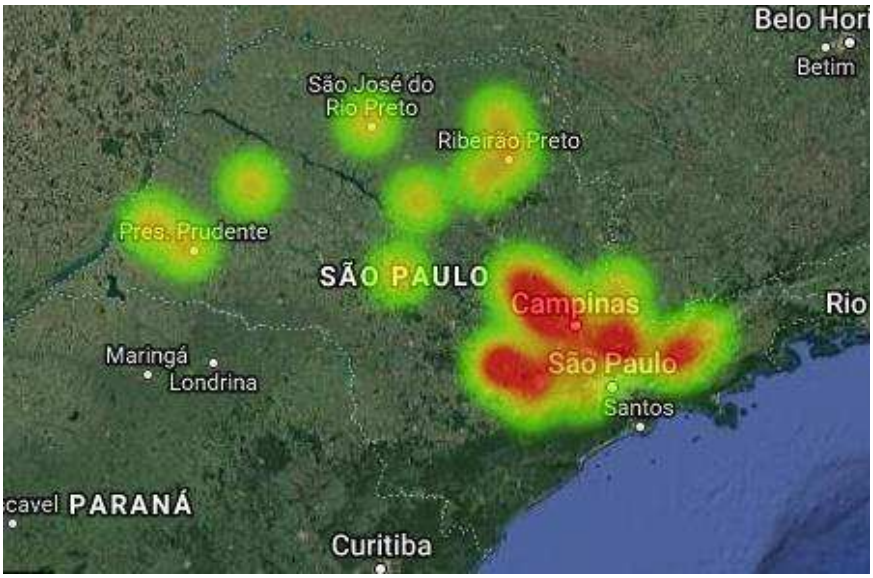



**Figura 28 -** Mapa de calor na região de São Paulo dos acidentes de aeronaves leves ocorridos no sábado à tarde

Os próximos passos deste trabalho serão no sentido de encontrar uma possível tendência ou padrões de comportamento dos acidentes aeronáuticos, mas não só em relação aos dias da semana e períodos do dia, como também em consideração a quantidade de movimentos de aeronaves em alguns aeródromos nestes períodos.

Como essas informações não constam na base de dados do CENIPA, para realizar estas análises foi necessário utilizar a base de dados publicados nos Anuários do Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA). Os dados destes anuários foram coletados tendo como base informações de Aeródromos, a partir de suas respectivas Torres de Controle (TWR) e de TMA (Área de Controle Terminal) e CTR (Zona de Controle), a partir de seus controles de aproximação, órgãos pertencentes ao SISCEAB (Sistema de Controle do Espaço Aéreo).

É preciso destacar que os anuários apresentam os dados de movimentação total pelo dia da semana e por período do dia, porém, não existem dados anteriores a 2012 e posteriores a 2016. Por isso as análises ficarão restritas a este período a partir deste ponto do trabalho.

É importante ressaltar que o movimento de aeronaves em um aeródromo abrange pousos, decolagens, cruzamentos e manobras *Touch and Go Landing* (TGL). Foram submetidas para a análise as TMA I e TMA II do estado de São Paulo (mostrados na Fig.29), por serem as regiões com mais ocorrências no período pesquisado.

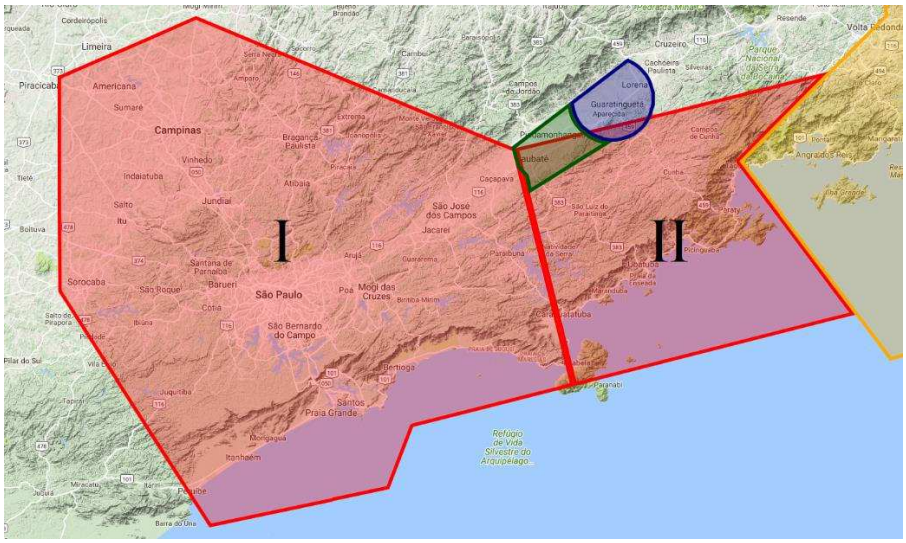



**Figura 29 -** TMA I e II (Áreas de Controle Terminal de São Paulo)

Entre 2012 e 2016, ocorreram quase quatro milhões de movimentos nos TMA I e TMA II do estado de São Paulo. Ao analisar as Figs. 30 e 31, é possível constatar que, apesar de pouco mais de 10% dos voos terem ocorrido aos sábado, este período

é responsável por quase 25% dos acidentes. No entanto, vemos que a terça-feira é o dia da semana com a menor incidência de acidentes (6.3%), mesmo sendo um dos dias com a maior quantidade de voos durante a semana (15.6%).

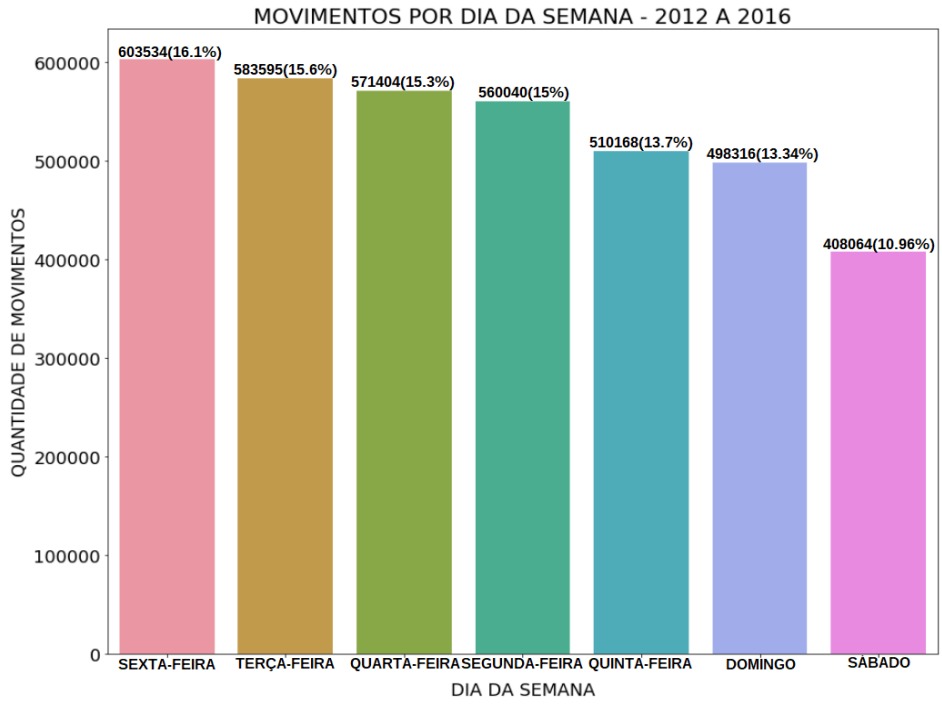



**Figura 30 -** Quantidade de voos por dia da semana

Assim como ocorreu em análises anteriores, mesmo levando-se em consideração o número proporcional de acidentes em relação ao número de movimentos de aeronaves nas TMA I e TMA II, é possível inferir que ocorreram mais acidentes nestas áreas aos sábados do que em outros dias da semana. Essa informação, isoladamente, tem pouca relevância no tocante à prevenção de acidentes aeronáuticos, contudo, quando associada com outras inferências no sentido de identificar perfis críticos, pode servir como um indicativo que auxilie na prevenção de acidentes.

Foi realizado uma segunda análise usando como base os dados do CGNA. Motivado pela ausência de dados anteriores, foi considerado os anos de 2014 a 2016 para a correlação entre acidentes e períodos do dia. Por convenção usamos os períodos madrugada (00h - 06h), manhã (06h - 12h), tarde (12h - 18h) e noite (18h - 24h).

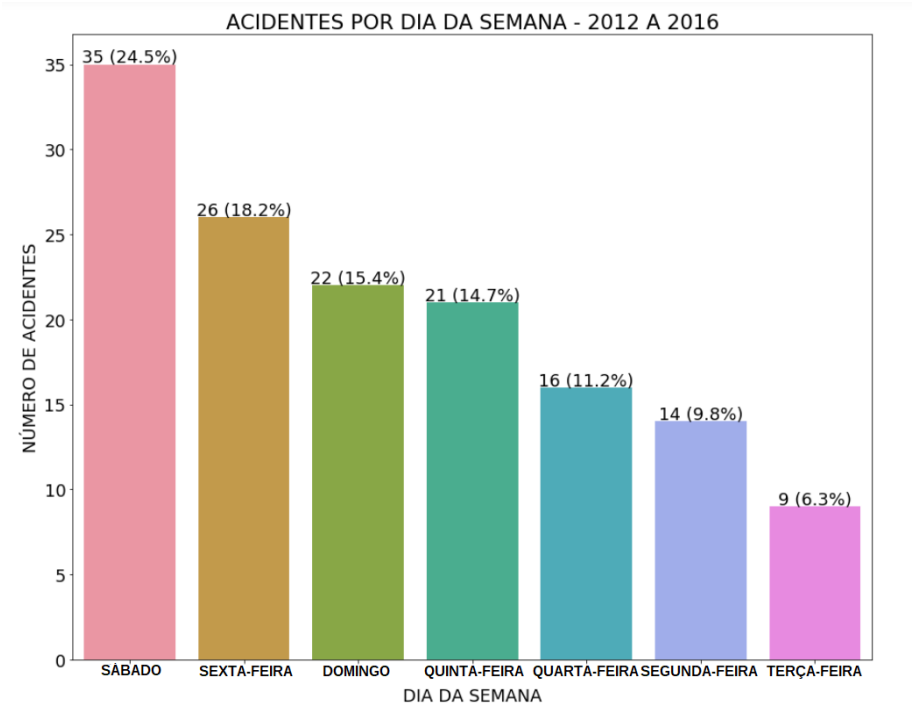



**Figura 31 -** Quantidade de acidentes por dia da semana entre 2012 e 2016

Restringindo novamente às TMA I e TMA II, foi possível constatar pela Fig. 32 que 26,91% dos voos ocorreram no período da noite, mas ao mesmo tempo, pela Fig. 33 mostra-se que 40% dos acidentes ocorrerem no período da noite. Isso revela uma

tendência de que, apesar de ter menos acidente do que o período da tarde em números absolutos, proporcionalmente o período da noite é mais crítico.

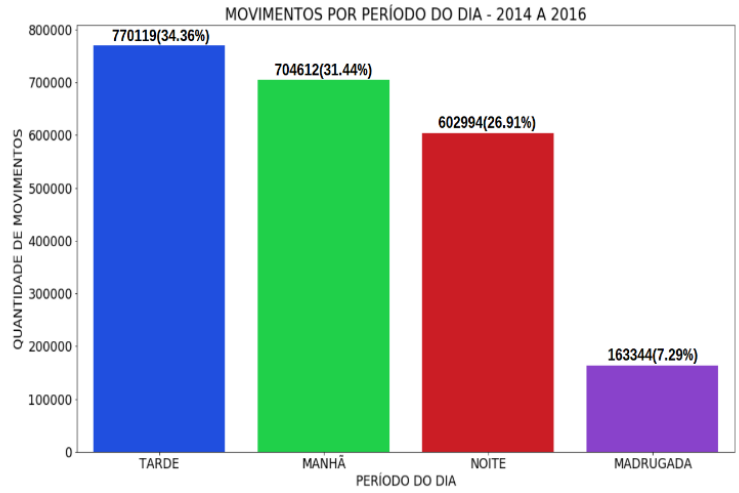



**Figura 32 -** Distribuição de voos pelo período do dia

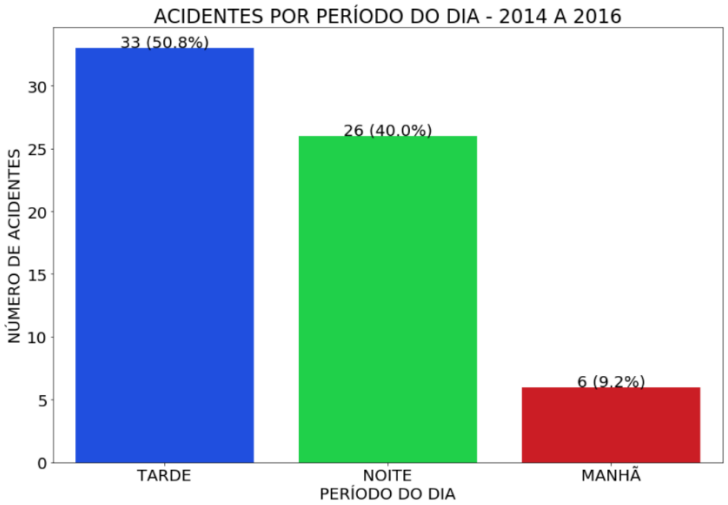



**Figura 33 -** Distribuição de acidentes pelo período do dia

Correlacionando os dados de movimento de aeronaves nas TMA I e TMA II com a quantidade de acidentes computados em cada dia da semana, tem-se a Fig.34 que mostra o sábado, mais uma vez, como o dia da semana mais crítico não só em termos absolutos como também em relação ao número de movimento de aeronaves.

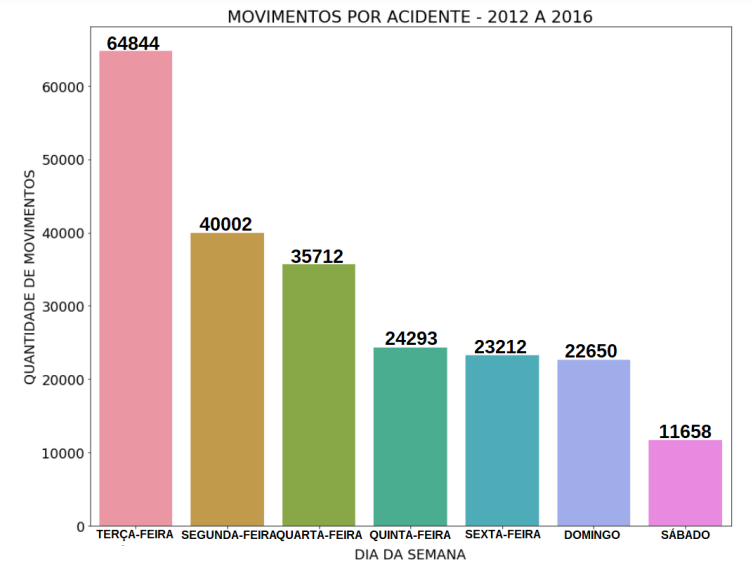



**Figura 34 -** Quantidade de acidentes por movimento de aeronaves nos dias da semana

A Fig. 35 mostra a correlação entre os dados de movimento de aeronaves nas TMA I e TMA II com a quantidade de acidentes computados em períodos do dia. Nota-se que durante o período da madrugada a ocorrência de acidentes é maior do que no restante do dia.

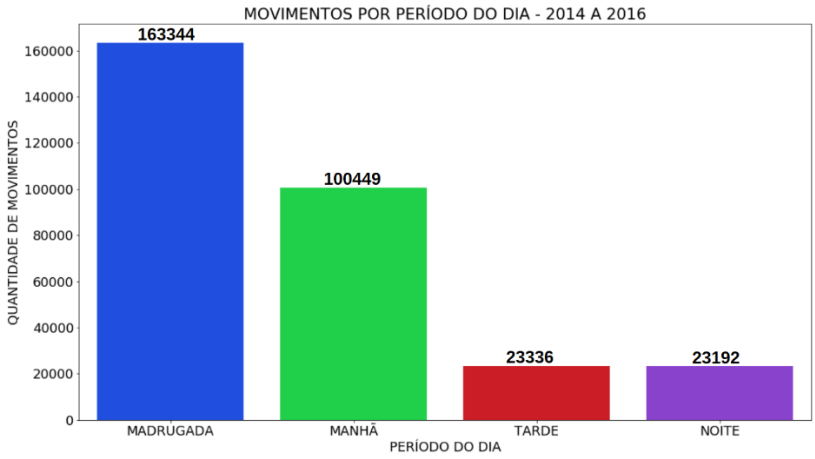



**Figura 35 -** Quantidade de acidentes por movimento de aeronaves nos dias da semana

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da Análise Exploratória de Dados, foi possível extrair percepções dos acidentes aeronáuticos ocorridos no Brasil entre 2006 e 2017. As ferramentas utilizadas atenderam as necessidades dessa fase do ciclo de Ciência de Dados, sendo possível a realização da análise dos dados de forma colaborativa entre os pesquisadores.

Ao verificar os dados disponíveis na etapa de EDA, um conjunto de variáveis foi considerado para a visualização e análise. Como resultado da análise dos atributos dia da semana, período do dia e porte da aeronave, foi possível revelar, por meio das correlações realizadas, que o perfil mais suscetível a um acidente aeronáutico é o de uma aeronave de porte leve que voa no sábado à tarde.

Com o intuito de aprimorar o caso de estudo, e percebendo que o horário do dia pode ter alta influência sobre a ocorrência de acidentes, foi realizada uma análise que pudesse estimar o número exato de acidentes que ocorreram em cada intervalo de hora do dia. E por meio desta, foi possível constatar que o intervalo em que notadamente ocorreu mais acidentes foi no início da noite, e que houve também um acréscimo considerável no início da tarde. Entretanto, uma vez que os picos de ocorrências no início da noite não ocorrem mais cedo nos meses de Inverno, e nem mais tarde nos meses de Verão, não é sustentável afirmar que a variação da iluminação solar tem forte influência no aumento do número de ocorrências.

Identificou-se, também, por intermédio do perfil crítico encontrado, os locais do território nacional onde ocorreram mais eventos. A região do Estado de São Paulo destacou-se como uma das áreas com maior índice de acidentes, tanto na capital do Estado, como no interior. De posse desse resultado, procurou-se novos dados de modo a aprofundar ainda mais o estudo nessa região do país, e encontrou-se o número de movimentos de aeronaves nos principais aeródromos das TMA I e TMA II do estado de São Paulo publicados nos anuários do CGNA.

Não obstante, a ausência de dados apresentou-se como o maior fator limitante deste trabalho, pois sem o número exato de voos das aeronaves de todas as categorias e tipos, é impossível estabelecer uma relação proporcional da frequência de acidentes aéreos. A despeito dos dados do CGNA, estes dizem respeito apenas aos movimentos de aeronaves e não ao número de voos, além de constarem dados somente em relação ao principais aeródromos do país, excetuando-se aeródromos menores como os aeroclubes. Por conseguinte, uma vez que não foi possível nem sequer estabelecer uma relação entre a quantidade de acidentes em relação ao número de voos, não foi possível evidenciar informações com o grau de detalhamento requerido para depreender qualquer ilação que possa servir de base para uma mudança de planejamento dos profissionais que lidam com prevenção de acidentes.

Os resultados obtidos neste trabalho nos motivam a estabelecer uma continuidade visando ampliar as capacidades do ambiente e o aprofundamento da EDA. Assim sendo, para trabalhos futuros, projeta-se a exploração de dados referentes aos fatores mais determinantes para as ocorrências registradas, haja vista de que estes fatores podem demandar uma maior atenção por parte dos órgãos responsáveis, tanto pelo tráfego aéreo, como pela prevenção de acidentes aeronáuticos, visando mitigar o risco associado. Além disso, planeja-se fazer o cruzamento de tais informações com os registros de voo e de rotas aéreas no Brasil, visando uma análise proporcional dos eventos em relação às ocorrências e a identificação das rotas com maior frequência de ocorrências. Esse maior aprofundamento nas relações entre causas e efeitos das ocorrências aéreas, bem como a análise de casos mais críticos que, possivelmente, necessitam de uma maior priorização, permite uma antecipação de ações a serem tomadas e uma maior consciência situacional dos órgãos responsáveis por garantir a prevenção de acidentes aeronáuticos no Brasil.

Quanto às funcionalidades do ambiente para análise dos dados, além do ambiente desenvolvido e utilizado neste trabalho baseado na linguagem Python e seus módulos, foi possível vislumbrar que será vantajoso explorar novas ferramentas capazes de realizar diferentes análises e possivelmente novas inferências sobre os mesmos dados, como a ferramenta Orange[3], Spyder[4] ou a linguagem **R**.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, um especial agradecimento ao Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV) pela oportunidade de divulgação desse artigo no 11º Simpósio de Segurança de Voo (SSV 2018). Destaca-se, ainda, a Divisão de C4ISR do Instituto de Estudos Avançados (IEAv), pelo o apoio de infraestrutura de laboratório e, em especial, a todos os professores, pesquisadores e colaboradores que contribuíram para o desenvolvimento do estudo demonstrado no artigo.

## REFERÊNCIAS

CENIPA, **FCA 58-1 Ocorrências Aeronáuticas: Panorama Estatístico da Aviação Brasileira**. 118p. Centro de Investigações e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. 2016.

CAMARA, Gilberto; ASSIS, Luiz F.; QUEIROZ, Gilberto R.; FERREIRA, Karine R.; LLAPA, Eduardo; VINHAS, Lubia. **Big earth observation data analytics: matching requirements to system architectures.** Proceedings of the 5th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Analytics for Big Geospatial Data. 2016.

CHOUDHARY, Jayvant; OHRI, Anurag; KUMAR, Brind. **Identification of Road Accidents Hot Spots in Varanasi using QGIS.** Proceedings of National Conference on Open Source GIS: Opportunities and Challenges Department of Civil Engineering, IIT(BHU), 2015.

EMC. **Data Science and Big Data Analytics: Discovering, Analyzing, Visualizing and Presenting Data.** Wiley, EMC Education Services, 1st Edition, 2015, 399 p.

GRUS, Joel. **Data Science from Scratch: First Principles with Python.** O'Reilly Media, Inc., 1st ed., 2015, 330 p.

WAGNER, Michael; LLORT, Gérman; MERCADAL, Estanislao; GIMÉNEZ, Judit; LABARTA, Jesús. **Performance Analysis of Parallel Python Applications.** Proceeding of International Conference on Computational Science, ICCS. 2017.

....

[3] https://orange.biolab.si

[4] https://github.com/spyder-ide

# As iniciativas no mundo sobre programas de análise de dados de voo

*Monica Fiumana Martin Falcon [1], Cyntia Cristina de Paula [1], Mailema Celestino dos Santos [1],*

1 EMBRAER S.A.

**BIOGRAFIA:**

**Monica Fiumana Martin Falcon**
Graduada em engenharia da computação com especialização em segurança de voo. Atua no time de segurança de voo da Embraer desde 2001 e atualmente é responsável pelo programa FDM na Segurança Operacional da Embraer.

**Cyntia Cristina de Paula**
Atua no time de Suporte a Operações de Voo da aviação comercial desde 2001. Engenheira Industrial e Mestre em Ciências pelo ITA, com especialização em segurança de voo. Especialista em desenvolvimento de software de desempenho de aeronaves. Trabalha no desenvolvimento de serviços que buscam aumento de segurança e eficiência operacional em empresas.

**Mailema Celestino dos Santos**
Engenheira aeronáutica e Mestre em Ciências pelo ITA em aplicações de redes neurais para aviação. Mais de 10 anos de experiência como engenheira de operações de voo e responsável por desenvolvimento de serviços junto aos clientes.

**RESUMO:** Este artigo apresenta as principais iniciativas no mundo relacionadas aos programas de análise de dados de voo, os quais colaboram com a segurança operacional. Serão apresentados os programas mais utilizados no mundo da aviação, como por exemplo, "*Aviation Safety Information Analysis and Sharing*" (ASIAS), patrocinado pelo "*Federal Aviation Administration*" (FAA) e o programa "*European Operators Flight Data Monitoring*" (EOFDM), um fórum pertencente a "*European Aviation Safety Agency*" (EASA). Tais sistemas visam o monitoramento da frota mundial com o objetivo de identificar e acompanhar a tendência da ocorrência de eventos, relacionados à segurança de voo. A Embraer, como fabricante de aeronaves, acompanha as iniciativas mundiais, participando efetivamente das reuniões dos comitês internacionais. Além disso, seguindo a tendência mundial, a Embraer realiza estudos relacionados à análise de dados de voos, colaborando de forma efetiva com aumento de segurança e eficiência operacional.

**Palavras Chave:** Segurança de Voo. Análise de dados de voo.

# Global initiatives on flight data analysis programs

**ABSTRACT**: This article presents the major initiatives in the world related to flight data analysis programs, which collaborate with operational safety. Two programs are shown: the Aviation Safety Information Analysis and Sharing (ASIAS), sponsored by the Federal Aviation Administration (FAA), and the European Operators Flight Data Monitoring (EOFDM), the latter a forum belonging to the European Aviation Safety Agency (EASA). Such systems aim at monitoring the world fleet in order to identify and keep track of the trend of events related to flight safety. Embraer, as an aircraft manufacturer, follows global initiatives, by effectively participating in meetings of international committees. Besides, in harmony with the worldwide trend, Embraer conducts studies on the analysis of flight data, thus collaborating with the efforts for increased operational safety and efficiency.

**Keywords:** Flight safety. Flight data analysis.

**Citação:** Falcon, MFM, Paula, CC, Santos, MC. (2018) As iniciativas no mundo sobre programas de análise de dados de voo. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 128-132

## 1 INTRODUÇÃO

Nos primórdios da aviação, análise de dados de voo referia-se somente a poucos parâmetros, os quais eram armazenados pelo gravador de dados de voo, chamado de "Flight Data Recorder" (FDR).

Tais parâmetros colaboravam quase que exclusivamente com a investigação de eventos aeronáuticos.

Com a evolução da tecnologia e aumento de conhecimento na área de "Segurança de Voo", qualquer dado extraído do sistema da aviação tornou-se essencial, contribuindo com o aumento da segurança e eficiência operacional.

Com base na visão do ecossistema da aviação (Figura 1), diversas empresas, autoridades e associações, relacionadas à aeronáutica, criam seus próprios bancos de dados, com objetivo de melhorar exclusivamente a segurança operacional. Porém, foi observado que, a falta de integração de dados de voos com informações de sistemas de meteorologia, dados de aeroporto, operadores, entre outros, interfere no tratamento e correção de possíveis desvios. Isso reduz a identificação de situações de risco, dificultando, por exemplo, análise de eventos como "*Controlled Flight Into Terrain*"(CFIT).

**Figura 1** - Ecossistema da aviação

Em paralelo, dentro das empresas aéreas, especialistas em monitoramento de dados de voo buscam mais conhecimento. Dessa forma, entre esses especialistas, a grande maioria pretende criar conceitos de Big Data e Data Science. Porém, poucos realmente conhecem o real significado, ou mesmo são capazes de compreender se essa tecnologia é aplicável ou não ao volume de dados que possuem.

Big data (Grandes dados) é o termo que descreve o imenso volume de dados estruturados e não estruturados, que impactam os negócios no dia a dia.

Embora o termo "big data" seja relativamente novo, o ato de obter e armazenar grandes quantidades de informação para eventual análise não é considerado uma novidade.

O termo Big Data é definido, basicamente, por seis V(s). São estes: Volume, Velocidade, Variedade, Veracidade, Variabilidade e Valor.

Volume. Organizações coletam dados de uma grande variedade de fontes de informação. Na aviação, é possível citar: dados relacionados ao voo, passageiros, rota, tripulação, transações comerciais, informações aeroportuárias, meteorologia, entre outras. No passado, armazenar tamanha quantidade de informação causava certo problema, porém, novas tecnologias têm auxiliado neste assunto.

Velocidade. Os dados fluem em uma velocidade sem precedentes e devem ser tratados em tempo hábil. Etiquetas de identificação, sensores, celulares e contadores inteligentes estão impulsionando a necessidade de lidar com imensas quantidades de dados em tempo real.

Variedade. No passado, a maior parte de dados era obtida de forma estruturada e colocada em tabelas e relações. Hoje, 80% dos dados do mundo não se comportam dessa forma. Com a tecnologia de Big Data, mensagens, fotos, vídeos e sons, que são dados não estruturados, podem ser administrados juntamente com dados tradicionais.

Veracidade. Um dos pontos mais importantes de qualquer informação é que ela seja verdadeira. Com Big Data não é possível controlar cada "*hashtag"* do "*Twitter"* ou notícia falsa na internet, mas com análises e estatísticas de grandes volumes de dados é possível compensar informações incorretas.

Variabilidade. Além da velocidade e variedade de dados cada vez maiores, os fluxos de dados podem ser altamente inconsistentes com picos periódicos. Existe algo em tendência nas redes sociais? Diariamente, picos de dados sazonais ou picos gerados com base em eventos se tornam um desafio, principalmente quando se trata de dados não estruturados.

Valor. O último V é o que torna o termo "Big Data" grandioso. É extremamente relevante ter acesso a uma quantidade massiva de informação a cada segundo, mas isso de nada importa se não gerar valor.

De forma resumida, o importante em Big Data não é simplesmente a quantidade de dados, e sim a qualidade do valor extraído. A tecnologia "*Big Data*" pode ser utilizada para a obtenção de novas ideias, as quais levam a tomada de melhores decisões, direcionando de forma viável o negócio.

Uma frente que contribuiu para o movimento de monitoramento dos dados, visando melhorar a segurança de voo é o *Safety Management System* (SMS).

SMS (Figura 2) é um elemento explícito do sistema de gerenciamento corporativo, o qual estabelece a política de segurança da empresa e define como ele pretende gerenciar a segurança como parte integrante do seu negócio geral.

O SMS é dividido em quatro pilares:

- Política e objetivos de segurança
- Gerenciamento de risco de segurança
- Garantia de segurança
- Promoção de segurança

Dentro do pilar de Gerenciamento de risco de segurança, temos o componente de identificação do risco, do qual faz parte o método preditivo, descrevendo como é possível melhorar segurança através do monitoramento dos dados de voo.

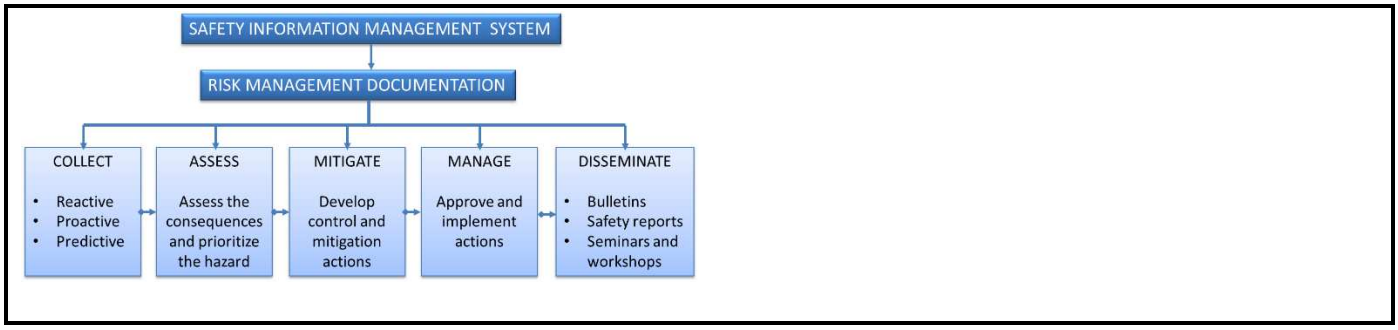



**Figura 2**: SMS ICAO *(Doc. 9859 – Figure 5-3 Hazard documentation and follow-up management process*)

Seguindo a mesma linha de pensamento, a ICAO estabeleceu no DOC 1004, que até 2028, todos os Estados devem desenvolver as práticas de gerenciamento da segurança para desenvolver sistemas avançados de supervisão da segurança, incluindo o gerenciamento de risco preditivo.

A análise de segurança será integrada em todos os aspectos e serão usadas para prever riscos antes da implementação de mudanças operacionais.

Desde 2006, o time de segurança de voo da Embraer utiliza o monitoramento dos dados através do programa *Aircraft Integrity Monitoring* (AIM).

O AIM é um programa criado e mantido pelo time da integridade do produto e tem como objetivo analisar dados enviados pelos clientes participantes, os quais compartilham com a Embraer, seus arquivos de *Quick Access Recorder* (QAR) ou *Flight Data Recorder* (FDR). Desta forma, dados de voo são processados com objetivo de identificar um mal funcionamento nos sistemas da aeronave, que possam vir a afetar a segurança de voo.

Este programa também possui o objetivo de auxiliar o processo de investigação de dificuldades técnicas da aeronave em serviço, além de acompanhar a eficácia das ações corretivas.

Com a evolução do AIM, percebeu-se que, somente os dados gravados pelas aeronaves não são suficientes para identificar todas as condições de risco. Desta forma, iniciou-se um processo de cruzamento de dados de voo com informações de aeroportos e meteorologia.

Apesar desta evolução, a qual demonstrou ser essencial para o AIM, percebeu-se que para ampliar as análises e aumentar a contribuição para a segurança de voo, é necessário e imprescindível buscar a transformação digital para tal programa. O objetivo é de agregar mais valor ao resultado deste processo, aumentando conhecimento do time e possibilitando que atividades realizadas de forma manual possam ser automatizadas, desta forma, otimizando uso de recursos existentes.

## 2 METODOLOGIA

A seguir, serão apresentados os programas de análise de dados de voo coordenados por instituições e associações mundiais.

**ASIAS: *Aviation Safety Information Analysis and Sharing***

O programa ASIAS do FAA coleta e analisa informações de voo de forma a avaliar, de forma proativa, dados amplos e extensivos. O ASIAS alavanca conjuntos de dados de companhias aéreas, fabricantes e demais disponíveis publicamente. Os dados de segurança de empresas aéreas estão sendo salvaguardados pela "*The MITER Corporation*", visando promover a ampla participação e engajamento. Os dois componentes desta atividade são:

- análise de dados agregados
- compartilhamento de informações

Os recursos do programa ASIAS incluem dados de aviação pública e não pública. Fontes de dados públicos incluem dados de gerenciamento de tráfego aéreo, clima e procedimentos. Fontes não públicas incluem dados de-identificados de controladores de tráfego aéreo e operadores de aeronave. Os acordos de governança com os operadores participantes e os proprietários de bases de dados específicas fornecem aos analistas do ASIAS acesso a informação. Governado por um amplo conjunto de acordos, o ASIAS tem a capacidade de consultar milhões de registros de dados de voo e relatórios textuais, de-identificados através de uma rede de comunicação segura. O ASIAS foi o primeiro banco de dados deste tipo, e atualmente é muito utilizado por diversas empresas. A Embraer participa deste programa enviando dados de voo da aviação executiva.

**EOFDM: European Operators Flight Data Monitoring**

O fórum EOFDM é uma parceria voluntária entre os operadores europeus, fabricantes de aeronaves e a EASA. Tem objetivo de facilitar a implementação do monitoramento dos dados de voo pelos operadores e auxiliar operadores a atingir o máximo benefício do seu FDM.

Este fórum é dividido em quatro grupos, conforme apresentado na figura a seguir.

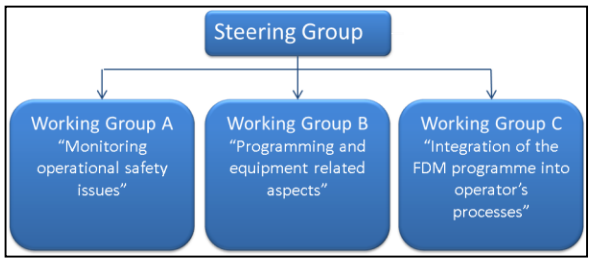



**Figura 3:** Grupos EOFDM da EASA

*Steering group*: Decisões estratégicas e coordenação de trabalho. Composto por líderes da indústria e secretários da EASA.

*Working group A*: Monitoramento de segurança operacional. Responsável pela definição de riscos comuns relevantes. Desenvolve a base para implementações relacionadas ao FDM, as quais são realizadas pelo Grupo de Trabalho B.

Atualmente, a atividade do grupo A é:

- *Mid* Air *Collision* (MAC). Publicação estimada para primeiro trimestre de 2018.

E como exemplo de tópicos anteriores pode-se citar:

- excursão de pista (RE)
- perda de controle em voo (LOCI)
- colisão com o solo em voo controlado (CFIT)

*Working group B*: Programação e aspectos relacionados ao equipamento.

Define e testa eventos de FDM necessários para monitorar problemas operacionais conforme definido pelo EOFDM WGA (*European Operators Flight Data Monitoring - Working group A*). Identifica técnicas úteis para investigar os dados do voo, seja para análise automática, como para análises manuais. Define parâmetros e suas características, por exemplo, taxa de amostragem, resolução de gravação, precisão, entre outros. Realiza investigação de questões relacionadas com *Digital ACMS Recorder* (DAR) e *Quick Access Recorder* (QAR), analisa documentação de *data frame*, *hardware* e *software* de aeronaves. Busca meio para aprimorar a interoperabilidade entre os equipamentos disponíveis no mercado.

*Working group C*: Integração do programa FDM nos processos do operador.

Compila as melhores práticas de inteligência. Desenvolve material de orientação para a integração do monitoramento dos dados de voo, dentro do SMS de um determinado operador. Fornece orientação que suporta o operador no gerenciamento de recursos, relações com os principais gerentes e os sindicatos e aplicação de "cultura justa". Identifica as melhores práticas no que diz respeito ao tratamento de dados.

Atualmente, a atividade do grupo C é:

- Artigo *'Breaking the silos'*, que aborda a combinação de FDM com outras fontes de dados, buscando metodologias além das convencionais. Publicação estimada para 2019.

E como exemplo de tópicos anteriores pode-se citar:

- Indicadores chave de desempenho para um programa FDM
- Memorando de entendimento para um programa de FDM

Objetivo final do programa é auxiliar na identificação de referências, ou seja, suporta ambiente baseado em desempenho e configura um sistema mais preditivo.

Mais especificamente, o programa permite conhecer os riscos, determinar causa-raiz e verificar se as ações de segurança colaboram com aumento do nível de segurança.

O programa, focado no sistema europeu, busca desenvolver a capacidade de descobrir vulnerabilidades baseado em *terabytes* de dados.

## 3 RESULTADOS

A participação da Embraer no grupo do EOFDM da EASA demonstra ser muito produtiva. Consegue-se desta forma, colaborar com a comunidade aeronáutica europeia, suportando o desenvolvimento de lógicas que auxiliam operadores na identificação e análise de eventos. Tal iniciativa também permite ampliar conhecimento por meio do constante contato com lógicas criadas por outros fabricantes e companhias aéreas. Vale ressaltar também que os encontros do grupo EOFDM propiciam a identificação e o estudo de novas necessidades de mercado, no que diz respeito à análise de dados de voo.

Atualmente, a participação da Embraer no ASIAS traz resultados pouco significativos para o FDM da Embraer, porém acredita-se que nos próximos anos o programa oferecerá informações mais maduras.

O programa ASIAS auxilia na identificação de eventos com maior precisão, e colabora com a descoberta de novos fatores contribuintes, suportando a identificação mais precisa da causa-raiz de cada evento. Essas informações suportam as empresas aéreas na busca pela melhoria contínua de processos e treinamentos, como os de *Crew Resource Management* (CRM), por exemplo. O FDM, quando tratado de forma isolada, não reduz os eventos. Em outras palavras, FDM não tem apenas missão de

processar dados e detectar os eventos e seus precursores, faz-se necessário fechar o *loop*. Isso significa que após a detecção do evento é essencial definir ações para que tais eventos sejam reduzidos. O ciclo completa-se quando os resultados das ações são monitorados. É importante ressaltar que sem um programa completo de FDM é extremamente difícil detectar os precursores de cada evento.

Nota-se que, especialistas de monitoramento de dados de voo de empresas aéreas, obtêm grande proveito destas bases, auxiliando no negócio. Os benefícios alcançados se devem à possibilidade de comparação entre a frota mundial, o que leva os especialistas a realizarem refinamento de lógicas e seus limites. Por outro lado, uma pequena quantidade de especialistas ainda não extraem benefícios, e questionam os métodos utilizados para compilação dos dados.

## 4 CONCLUSÕES

Quando uma empresa aérea realiza sua capacitação de monitoramento e análise de dados de voo, permitindo a comparação de seus resultados com outros operadores, observa-se que esse procedimento oferece a clara visão de oportunidades de melhoria, e consequentemente reduz riscos relacionados à segurança de voo.

É possível afirmar que são relevantes os ganhos obtidos através de iniciativas de análise de dados de voo.

Acredita-se que, em curto prazo, tais programas serão essenciais para contínuo aumento de segurança na operação e isso será obtido através da integração entre dezenas de fontes de informação.

Há crescente tendência de aumento do número de participantes, parceiros e colaboradores, sendo fundamental a participação da Embraer.

Recomenda-se à indústria aeronáutica acompanhar os programas existentes, aumentando de forma gradual seu envolvimento, através da colaboração de uma equipe multidisciplinar, formada por especialistas em segurança de voo e engenheiros de operações de voo.

Recomenda-se também, inovar, engajando cientistas de dados e engenheiros de desenvolvimento do produto, pois é fato que os resultados serão cada vez mais expressivos.

## AGRADECIMENTOS

À Embraer, na figura dos gestores e colegas pela alocação de tempo e recursos no desenvolvimento deste trabalho.

Às nossas famílias, pela compreensão quanto à fase em que a ideia foi desenvolvida em períodos extraordinários de trabalho.

## REFERÊNCIAS

Internet

http://www.iata.org/services/statistics/gadm/Pages/fdx.aspx Acesso em: 06 de junho de 2018

https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/news/data4safety-partnership-data-driven-aviation-safety-analysis-europe Acesso em: 06 de junho de 2018

https://portal.asias.aero/web/guest/overview Acesso em: 06 de junho de 2018

https://www.motivaction.nl/en/news/blog/big-data-the-6-vs-you-need-to-look-at-for-important-insights Acesso em: 06 de junho de 2018

https://www.icao.int/safety/iStars/Pages/Accident-Statistics.aspx Acesso em: 06 de junho de 2018

....

# Princípios de *Universal Design* aplicados à Segurança Operacional

*Paulo M. Razaboni* [1,2],

1 EMBRAER S.A.
2 paulo.razaboni@embraer.com.br

**BIOGRAFIA:**

Atua como especialista em Segurança Operacional na Embraer, em São José dos Campos, nas áreas de Inovação e Ciência de Dados. Engenheiro Eletricista pela USP, cursou MBA em Gestão da Produção pela Universidade Federal de São Carlos e Gestão Empresarial Competitiva pelo INPG. É membro credenciado Fator Material do SIPAER (Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos), com especialização em Segurança Operacional pela Embraer e *Black-belt* em *Six-sigma*. Ministra cursos na área de Segurança Operacional e projeto. Representa a empresa junto a entidades internacionais, como IATA, ICAO, FAA.

**RESUMO:** Os "sete princípios de *Universal Design*" (Projeto Universal) foram desenvolvidos em 1997 por uma equipe de arquitetos, projetistas, engenheiros e pesquisadores na Universidade da Carolina do Norte, Estados Unidos, com o objetivo de orientar o projeto de ambientes urbanos, produtos e comunicações, a fim de gerar soluções de melhor usabilidade. A intenção inicial foi atender pessoas dentro de uma gama mais ampla de habilidades. Inclui-se dificuldades ou limitações sensoriais (visão, audição, tato etc.), motoras (ausência, incapacidade ou inabilidade) e cognitivas (relacionadas à leitura, à interpretação, ao raciocínio lógico). Um projeto bem elaborado torna o ambiente adequado a pessoas em toda a gama, sem discriminá-las, de forma que todas se sentem muito mais confortáveis e seguras em utilizá-lo. A aplicação destes princípios à Segurança Operacional visa não apenas a uma melhor utilização das aeronaves pelos passageiros e tripulação, mas também à criação de uma margem adicional de segurança em situações em que pessoas originalmente aptas se encontram sob efeito de circunstâncias que reduzem estas capacidades físicas ou cognitivas. Exemplos incluem prejuízos ao desempenho devidos à presença de fumaça, luz intensa (ou ausência da mesma), ruídos, vibrações, redução do nível de oxigênio, descompressão, efeitos adversos de medicamentos, toxinas, estresse, bem como a redução das habilidades pelo avanço da idade, doenças, condições psicológicas, fadiga etc. Discorre-se sobre as características humanas, causas de erros e os fatores agravantes, citando-se exemplos bem-sucedidos e áreas de potencial interesse para desenvolvimento de soluções.

**Palavras Chave:** Habilidades, Projeto, Segurança, Universal.

# Principles of Universal Design applied to Operational Safety

**ABSTRACT**: The "Seven Universal Design Principles" were developed in 1997 by a team of architects, designers, engineers, and researchers at the University of North Carolina, USA, with the goal of guiding the design of urban environments, products, and communications, capable of generating better usability solutions. The initial intention was to meet the needs of people within a broader range of skills. It included sensory (sight, hearing, touch, etc.), motor (absence, disability or inability), and cognitive (related to reading, interpretation, logical thinking) difficulties or limitations. A well-thought-out design makes the environment suitable for people across the range without discriminating them, so that everyone feels much more comfortable and secure while using it. The application of the same principles to Operational Safety aims not only at a better use of aircraft by passengers and crew, but also at creating additional margins of safety in situations where originally fit persons are under circumstances that reduce their physical or cognitive capacities. Examples include performance impairments due to the presence of smoke, intense light (or absence of light), noise, vibration, reduction of oxygen levels, decompression, adverse effects of medicines, toxins, stress, as well as the reduction of skills by the advancement of age, illness, psychological conditions, fatigue, etc. The article also discusses human characteristics, causes of errors, and aggravating factors, showing successful examples and areas of potential interest for the development of solutions.

**Keywords:** Skills. Design. Safety. Universal.

**Citação:** Razaboni, PM. (2018) Princípios de Universal Design aplicados à Segurança Operacional. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 133-143

## 1 TENDÊNCIAS E DESAFIOS

O transporte aéreo tornou-se uma maneira muito difundida e segura. Como consequência, muitas pessoas que nunca haviam utilizado vieram a bordo. Do ponto de vista operacional, o treinamento da tripulação enfrentou novos desafios, não apenas por causa da demanda crescente, mas também pela necessidade de qualificar equipes para novos modelos de aeronaves e requisitos operacionais, incluindo sistemas com complexidade de projeto sem precedentes. Como um legado de outras áreas de negócios aparentemente não relacionadas, os princípios de *Universal Design*, voltados para pessoas com diferentes graus de habilidades físicas e cognitivas, aparecem como uma forma prática de prover um incremento em segurança operacional nesse cenário. Como efeito colateral, um ambiente projetado de acordo com esses princípios se tornará mais atraente e mais fácil de manusear, mesmo para usuários sem deficiências. Estes princípios aplicam-se especialmente às chamadas pessoas "fisicamente capazes" em

situações em que podem "não estar totalmente funcionais", incluindo dificuldades em ver, ouvir, mover ou concentrar-se em alguma tarefa, por exemplo. Em um ambiente resiliente ao erro humano, as pessoas serão capazes de entender melhor a situação e operar corretamente os controles, a fim de alcançar sua intenção, já que as exigências mentais e físicas menos severas proporcionadas por tal ambiente fornecerão um nível suficiente de consciência e controle da situação.

## 2 ASPECTOS HUMANOS

O cérebro humano é dividido em três zonas. O cérebro reptiliano (o mais primitivo) controla as funções vitais do corpo, como frequência cardíaca, respiração, temperatura corporal e equilíbrio. É confiável, mas tende a ser rígido e compulsivo. O cérebro límbico, que emergiu nos primeiros mamíferos, registra memórias de experiências agradáveis e desagradáveis, sendo responsável por aquilo que chamamos de emoções. É a sede dos juízos de valor, feitos muitas vezes inconscientemente, que exercem uma forte influência sobre o comportamento. Finalmente, o Neocortex assumiu importância em primatas e culminou no cérebro humano com seus dois grandes hemisférios, os quais desempenham um papel dominante. Esses hemisférios têm sido responsáveis pelo desenvolvimento da linguagem humana, pensamento abstrato, imaginação e consciência. É flexível e tem capacidades quase infinitas de aprendizagem.

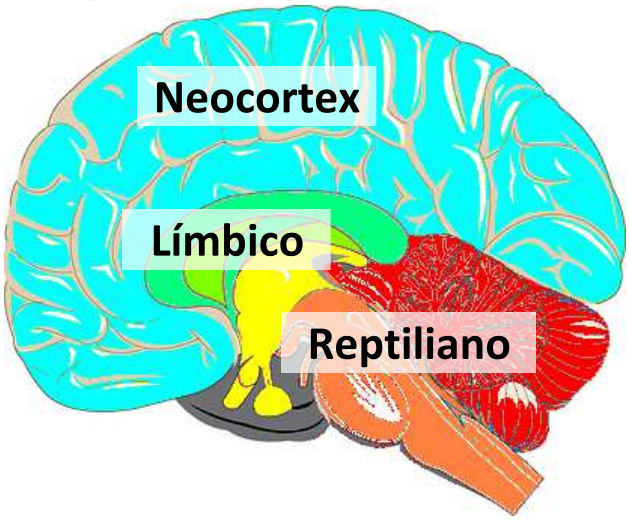



**Figura 1:** Regiões do cérebro humano

Embora essas camadas estejam interconectadas e operem em conjunto, o problema surge quando, ao ser exposto a estresse ou fadiga, o cérebro tende a reverter progressivamente para o núcleo primário, o que significa que as emoções tomarão o lugar da consciência racional e, finalmente, o esforço de sobrevivência vai sobrepujar todos os outros. Algumas situações, em que o estresse gera uma demanda incremental para monitorar as próprias reações, podem até causar um tipo de colapso. É como se sentir nervoso por estar nervoso sobre algo. Assim, em um ambiente onde a informação necessária sobre uma situação for adquirida de forma mais intuitiva, e os meios para assumir o controle forem, sem dúvida, compreensíveis, o cérebro trabalhará mais eficientemente para superar os problemas, mesmo se parte dos sentidos ou as maneiras de executar a ação humana estiverem comprometidos.

O fio condutor é que as pessoas, quando expostas a situações estressantes, tendem a agir mais instintivamente do que racionalmente, de uma maneira comum e até previsível. Então, por que não preparar a interface homem / máquina para acomodar essas reações, reduzindo o estresse autogerado para que as pessoas se sintam mais confortáveis e autoconfiantes em suas ações, permitindo assim uma colaboração mais racional do Neocortex? Imagine um cenário em que, além de todos esses fatores estressantes externos, como iluminação, ruído, tráfego, turbulência, etc., a tripulação deve lidar com uma lógica de controle complicada, alavancas, cores, contrastes ou sons mal projetados, ou o que quer que torne o ambiente estressante para eles (mesmo que não estejam cientes disso). A mesma ideia se aplica a todos os membros da tripulação, assim como aos passageiros, pois todos eles colaboram para alcançar um nível adequado de segurança operacional (por exemplo, durante a operação de abandono da aeronave).

## 3 ASPECTOS HISTÓRICOS

Historicamente, vários artefatos que seguem os princípios de *Universal Design* já foram desenvolvidos. As formas das alavancas dos trens de pouso e dos flapes são um dos exemplos mais emblemáticos. Inicialmente, a semelhança e a proximidade física entre elas (como nas aeronaves Douglas DC-3) levou a vários casos em que uma foi acionada ao invés da outra, com resultado claramente indesejado.

Atualmente, ambas as alavancas refletem uma semelhança física com o elemento controlado, permitindo que os usuários saibam positivamente que a alavanca correta está sendo manuseada. O Código de Regulamentações Federais (CFR) Parte 25 -

Padrões de Aeronavegabilidade: Aeronaves Categoria Transporte §25.777 Controles da cabine, diz: "(a) Cada controle da cabine deve estar localizado para proporcionar operação conveniente e evitar confusão e operação inadvertida."

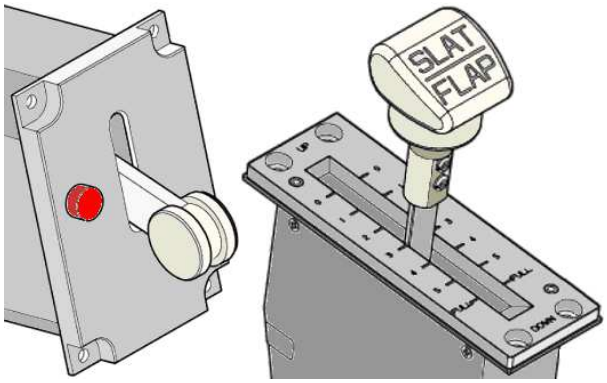



**Figura 2:** Alavancas de trens de pouso (esquerda) e flapes (direita) de uma de aeronave atual (Embraer E-195).

No limite, assumindo que um ambiente de cabine foi projetado para ser operado por uma pessoa cega, alguém que está "temporariamente cego" enfrentará menos dificuldade para obter um resultado positivo. Essa cegueira pode se originar de fumaça, condensação, poeira, iluminação intensa ou ausente, ilusões visuais, distração ou simplesmente da necessidade de se concentrar em outro campo visual. O último é exatamente o que acontece diariamente quando os pilotos usam as alavancas ilustradas na Figura 2. Esta operação usa múltiplas entradas para confirmar a ação desejada, além da visão: tátil (toque / força, proprioceptiva / movimento), som (ruído, clique), aceleração (desaceleração da aeronave) etc. Assim, a utilização de mais do que um canal sensorial é fundamental neste caso. E é correto supor que mesmo um piloto qualificado pode estar propenso a acionar a alavanca errada algum dia, se estas forem próximas e semelhantes.

Assim, ainda há muito espaço para melhorar a vida da tripulação e dos passageiros, projetando um ambiente que os faça sentirem mais confortáveis, mesmo que eles não possam dizer especificamente por que um determinado item parece mais intuitivo ou atraente. O resultado final é que a interface do usuário será conectada às suas três camadas cerebrais, para que eles a entendam, apreciem-na e confiem nela.

Este artigo correlaciona os princípios do Projeto Universal com algumas das causas mais conhecidas de erro humano na aviação, avaliando ideias para elevar o nível geral de segurança operacional. Equipamentos, instruções, *software*, cores, formas, sons ou quaisquer interfaces com a tripulação ou passageiros estão implícitos. Como já foi dito, espera-se que o nível geral de estresse seja reduzido, mantendo o cérebro com as três camadas trabalhando juntas, otimizando os aspectos de capacidade de sobrevivência, afinidade e racionalidade, aumentando assim a segurança geral e a melhorando a experiência do usuário.

## 4 FONTES DE ERRO HUMANO

Não há intenção de se cobrir aqui todas as fontes de erro humano. Algumas delas, com papel significativo nos propósitos deste artigo, serão referenciadas.

Começando pela hipóxia (falta de oxigênio para áreas do corpo onde é solicitado em um momento específico), alguns estágios podem ser definidos (REINHART, 1996):

- **Indiferente**: A visão (especialmente a noturna) deteriora-se, mesmo em pressões típicas de altitudes inferiores a 5.000 pés, sem que o indivíduo perceba.
- **Compensatório**: O corpo e a mente podem ser severamente afetados e de maneira crescente e sutil. De 12.000 a 15.000 pés, os sintomas são sonolência e falta de discernimento, e erros sutis frequentes nas habilidades de voo tornam-se aparentes. Mais perigosa é a sensação de bem-estar e indiferença (euforia).
- **Perturbação**: Dor de cabeça, visão periférica prejudicada, hiperventilação, fadiga acentuada, sonolência e especialmente euforia.
- **Crítico**: Inconsciência. Isso pode acontecer dentro de 3 a 5 minutos depois que alguém falhou em reconhecer que estava hipóxico.

A seguir estão alguns dos sintomas mais comuns que podem prejudicar a segurança:

- "Visão afunilada (túnel)" e falta de foco visual.
- Fraqueza nos músculos.
- Sentir-se muito cansado, fatigado, sonolento.
- Diminuição da sensação tátil.
- Dor de cabeça, tontura.
- Coordenação muscular diminuída.
- Gagueira, má comunicação.
- Julgamento prejudicado, pensamento lento.
- Perda de autocrítica, excesso de confiança.
- Agressividade, depressão.
- Tempo de reação diminuído.

- Discriminação de cores extremamente reduzida.

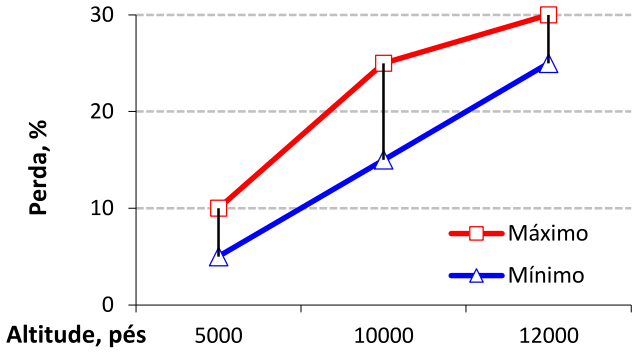



**Gráfico 1:** Perda de visão versus altitude como sintoma de hipóxia - adaptado de (REINHART, 1996)

Em resumo, os sinais e sintomas da hipóxia são muitos e variados, além de imprevisíveis em qualquer momento e altitude. Como é de se esperar, o álcool e o tabaco (ou quaisquer poluentes do ar) também desempenham um papel significativo na diminuição da tolerância do corpo à hipóxia, assim como a temperatura ambiente. Alguns fatores incapacitantes comuns estão relacionados a questões de saúde, sejam elas transitórias ou não.

Um bloqueio no ouvido médio, onde a Trompa de Eustáquio esteja inchada por um resfriado ou alergia, pode causar desconforto suficiente para prejudicar os sentidos humanos. Uma sinusite também pode levar a isso. Mesmo problemas dentários, como abscessos, podem gerar uma sensação de dor incapacitante durante eventos de descompressão rápida, onde dores em articulações também podem estar presentes. Medicamentos, mesmo aqueles sem prescrição médica, podem causar reações indesejáveis, pois muitos deles reduzem a percepção ou a prontidão dos usuários (por exemplo, os anti-histamínicos têm sedação como efeito colateral).

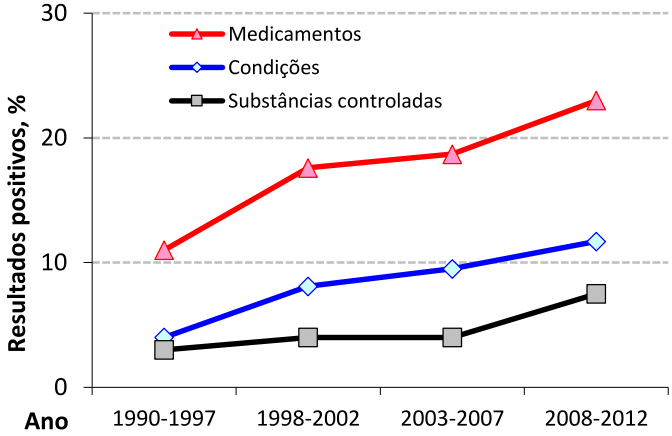



**Gráfico 2:** Resultados positivos para drogas e condições potencialmente prejudiciais e substâncias controladas - adaptado de (NTSB , 2014)

Mesmo indivíduos saudáveis devem lidar com características e limitações do corpo humano, o que é semelhante ao envelope operacional de uma aeronave. E este envelope muda com a idade, geralmente no sentido de reduzir a capacidade. Isto é especialmente verdadeiro para a audição, que afeta mais fortemente homens do que mulheres.

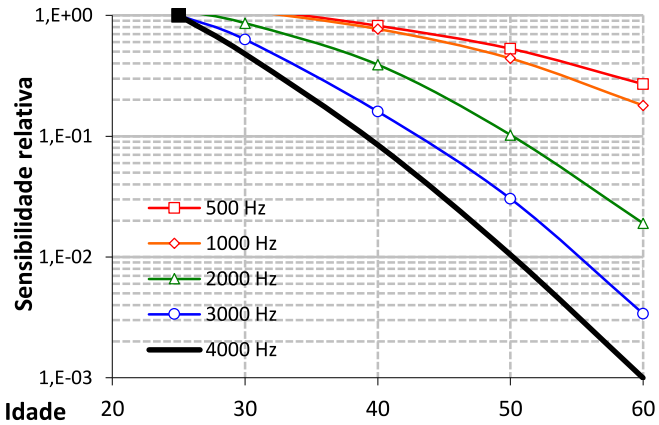


**Gráfico 3:** Perda auditiva com a idade (homem). Todas as curvas são traçadas contra o valor de 25 anos para um tom de 4000 Hz - adaptado de (HAWKINS, 1998)

Estima-se que 50 milhões de americanos têm algum grau de zumbido em um ou ambos os ouvidos; 16 milhões deles têm sintomas sérios o suficiente para consultar um médico ou um especialista em audição. Cerca de 2 milhões ficam tão debilitados que não podem realizar atividades diárias normais (ADOGA, 2013).

A visão também apresenta alguns truques. Além dos pontos cegos físicos para visão diurna (um em cada olho) que normalmente passam despercebidos, há também um ponto cego central na visão noturna. Uma "área livre de bastonetes" (devido à presença massiva de cones) leva a um ponto cego central em luz fraca, com cerca de 1º. Assim, a melhor área de visão durante o dia torna-se a pior delas à noite. A maneira mais comum de superar esse problema é usar a visão descentralizada, ou seja, não olhar diretamente para o assunto. Uma zona de 7º é a mais sensível às formas, enquanto uma zona de 20º responde melhor à luz.

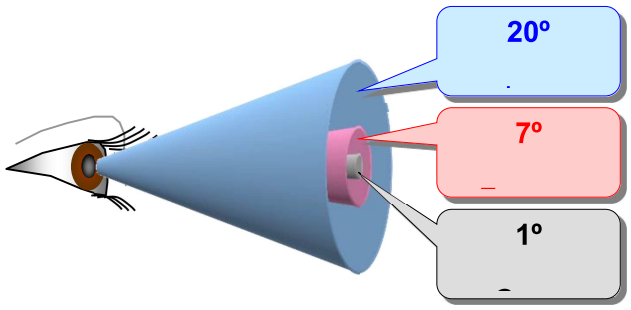



**Figura 3:** Características do olho humano para visão noturna - adaptado de (REINHART, 1996)

A adaptação à escuridão, por exemplo, pode levar de 30 a 45 minutos para ser concluída (piorando com o aumento da idade), se nenhuma condição extrema tiver sido experimentada, como neve, água e areia brilhantes ou luzes estroboscópicas. Alguns efeitos nocivos são cumulativos e podem persistir por dias após a exposição.

Os ritmos circadianos, se não forem respeitados, podem levar à fadiga, especialmente devido ao *jet lag* ou à falta de adequada higiene do sono. Os indivíduos que trabalham à noite ou em turnos rotativos raramente conseguem uma quantidade ideal de sono. De fato, um estudo objetivo inicial mostrou que os trabalhadores dormiam de 1 a 4 horas a menos do que o normal quando trabalhavam à noite. A perda de sono é cumulativa e, no final da semana de trabalho, a dívida de sono (perda de sono) pode ser significativa o suficiente para prejudicar a tomada de decisão, iniciativa, integração de informações, vigilância, planejamento e execução de planos. Os efeitos da perda de sono são insidiosos e até severos, e geralmente não são reconhecidos pelo indivíduo (HUGHES, 2018).

A hipoglicemia, decorrente de hábitos alimentares inadequados ou horário inadequado das refeições, também pode desenvolver fadiga. Quando os níveis de glicose no sangue caem, o mesmo acontece com a cognição. E são as funções cognitivas mais elevadas, como a tomada de decisão e a capacidade de perceber o risco, que se evadem primeiro (LANDRY, 2013). Tal como acontece com a hipóxia, provavelmente o sintoma mais importante da fadiga é a sensação de indiferença, ampliando as tolerâncias e limites de desempenho, o que permite erros ou execuções de tarefas abaixo do padrão.

Um item óbvio, mas às vezes negligenciado, é a diferença entre indivíduos. Diferenças entre homens e mulheres são claras, mas não são apenas as dimensões físicas das pessoas dentro de um grupo étnico que podem variar de geração para geração. Grandes variações podem ser esperadas ao mesmo tempo, seja no tamanho total ou em proporções corporais, por exemplo, troncos e comprimentos de pernas. Se o projeto foi ruim em termos desses itens, a operação pode ser comprometida especialmente durante tarefas realizadas sob condições desfavoráveis.

Como ocorre com qualquer atividade humana, o treinamento é necessário para lidar com tarefas complexas. Uma habilidade é definida como um padrão de atividade organizada e coordenada. Pode ser física, social, linguística ou intelectual. Como alternativa ao treinamento, é possível projetar o trabalho ou a situação para apresentar menos desafios à operação. O objetivo de modificar o trabalho para se adequar ao homem, e não o contrário, é uma atividade central na tecnologia da ergonomia e tem sido frequentemente negligenciado na análise de incidentes e acidentes e nas recomendações subsequentes (HAWKINS, 1998). No caso da tripulação da aeronave, é correto supor que, embora possam ser extensivamente treinados na operação, as situações inesperadas exigem muito mais para serem gerenciadas (LANDMAN, 2017). Aliás, é por isso que uma tripulação está presente (se todas as situações fossem bem definidas, um sistema automático seria capaz de gerenciá-las). Assim, grande parte da aprendizagem (chamada "*expertise*") é obtida no trabalho. Fazemos avaliações sobre o mundo, o que atualiza nosso entendimento

atual. Isso direciona nossas ações no mundo, que mudam a sua aparência, o que, por sua vez, atualiza nosso entendimento e assim por diante (DEKKER, 2008). Mas a nova tecnologia muda as maneiras pelas quais os sistemas falham, adicionando novas vulnerabilidades que não existiam antes.

**Figura 4:** Interfone "clássico" (esquerda), "novo" (direita).

Como ilustrado na Figura 4, em meio a uma ocorrência de fogo em motor no solo, a existência de um modelo diferente de interfone impossibilitou a comunicação entre cabine e piloto, resultando em um abandono com motor ainda girando (NTSB, 2018). As atendentes, apesar de treinadas no modelo "novo", não conseguiram operá-lo naquele momento. Estavam ocupadas com o afluxo de passageiros às saídas de emergência, com a avaliação das condições externas, e não conseguiram se ater a instruções de operação diferentes e pouco intuitivas de um aparelho que não lhes era familiar.

Nas últimas décadas, as habilidades necessárias para pilotar uma aeronave comercial mudaram consideravelmente, principalmente como resultado dos avanços no controle e projeto de interface e na tecnologia de automação. Como um exemplo grosseiro, imagine que muitos de nós talvez tenham tentado puxar uma porta através de uma barra, mesmo que um aviso diga claramente "empurre". Isso pode acontecer simplesmente porque o projeto desta barra induz o usuário a puxá-la. Alguns produtos dependem de manuais de uso para serem corretamente utilizados. Agora, imagine-se um cenário em que a utilização de algum produto ou equipamento seja de natureza esporádica, quando não há tempo ou clareza suficiente para se determinar o correto modo de operação, e que a sobrevivência possa depender disso (Figura 5.).

**Figura 5:** Posicionamento incorreto das máscaras pelos passageiros em evento de despressurização (THE NEWS TRIBUNE, 2018).

A introdução do "*glass cockpit*" nos anos 80 trouxe alguns tipos de erros sem precedentes. A tabela a seguir mostra a porcentagem de pilotos que relataram ter cometido erros comuns nas fases de aproximação e aterrissagem, durante a realização de um pouso automático em um avião comercial com "*glass cockpit*", em 2005.

**Tabela 1:** Erros induzidos pelo projeto reportados - adaptada de (BOY, 2010)

| Erro | % |
|---|---|
| Não baixou o trem de pouso, até ser lembrado | 19,6 |
| Inicialmente, ajustou uma velocidade incorreta na Unidade de Controle de Voo (FCU) girando o botão na direção errada | 39,1 |
| Ajustou o botão de direção em vez do de velocidade | 78,3 |
| Introduziu valor de altitude incorreto na FCU e ativou-o | 15,2 |
| Inseriu uma direção na FCU e não conseguiu ativá-la no momento apropriado | 34,8 |
| Falhou ao monitorar a rampa de planeio e constatou que a aeronave não a havia interceptado | 39,1 |
| Configurou incorretamente o ajuste de pressão barométrica | 45,7 |
| Definiu uma altitude "fora da faixa" e em seguida, por hábito, acionou o botão de altitude | 15,2 |

## 5 PROPOSTA DE *UNIVERSAL DESIGN*

A filosofia é que o produto ou equipamento deve poder ser corretamente utilizado por pessoas com uma ampla gama de habilidades físicas e / ou cognitivas (NSCU, 2018):

- **Uso Igualitário**: O projeto é útil e comercializável para pessoas com habilidades diversas;
- **Flexibilidade no uso**: O projeto acomoda uma ampla gama de preferências e habilidades individuais;
- **Uso Simples e Intuitivo**: O produto é fácil de entender, independentemente da experiência do usuário, conhecimento, habilidades de linguagem ou nível de concentração atual;
- **Informação Perceptível**: O projeto comunica as informações necessárias de forma eficaz ao usuário, independentemente das condições do ambiente ou das habilidades sensoriais do usuário;
- **Tolerância ao erro**: O projeto minimiza os riscos e as consequências adversas de ações acidentais ou não intencionais;
- **Baixo esforço físico**: O projeto pode ser usado de forma eficiente e confortável e com um mínimo de fadiga;
- **Tamanho e espaço para abordagem e uso**: Tamanho e espaço adequados estão disponíveis para abordagem, alcance, manipulação e uso, independentemente do tamanho do corpo, da postura ou da mobilidade do usuário.

Mas, tendo esses princípios sido desenvolvidos em princípio para pessoas com algum grau de deficiência, qual seria a sua utilidade em um universo em que a tripulação de uma aeronave é regularmente avaliada quanto às suas aptidões físicas e mentais?

Olhando-se inicialmente para os passageiros, talvez a necessidade seja mais aparente. De acordo com o Censo dos EUA em 2010, 18,7% da população civil não institucionalizada apresentava alguma deficiência. Cerca de 12,6% tinham deficiência grave, enquanto quase 4,4% necessitavam de assistência com uma ou mais atividades da vida diária, ou atividades instrumentais de vida diária (BRAULT, 2012). Os números são semelhantes para a maioria dos países, piores ainda para alguns deles.

Projetar para pessoas com deficiência é uma necessidade real. Além disso, se você projetar algo para uma pessoa surda, essa solução também se aplica àquelas que estão em um local barulhento (ou muito silencioso). Projetando para uma pessoa cega também atenderá aquelas que não podem olhar diretamente para o produto, ou estão em uma área muito clara (ou escura). Projetar para pessoas que não podem controlar bem seus movimentos também atenderá pessoas com mãos frias, usando luvas ou sujeitas a vibrações ao fazer seu trabalho. Projetar para pessoas com capacidade cognitiva reduzida atenderá pessoas cansadas, fatigadas, sob estresse ou influência de drogas, ou mesmo aquelas que estão em atendimento a uma emergência.

Em muitos aspectos, princípios semelhantes já foram integrados ao projeto de aeronaves e já são necessários para a sua certificação. A proposta agora é dar um passo à frente usando esses princípios para impulsionar efetivamente o projeto, tornando a operação da aeronave ainda mais segura para todas as pessoas, passageiros e tripulação, em condições normais ou anormais, onde possam apresentar redução no nível de quaisquer de suas habilidades. Seguem algumas ideias e muitas perguntas destinadas a desafiar o *status quo*.

Você já pensou em usar uma linguagem clara em documentos escritos, com fontes projetadas para pessoas disléxicas? Você está surpreso com esta ideia simples? Estatísticas do governo mostram que um em cada dez americanos é analfabeto funcional, sendo a principal causa a dislexia (DYSLEXIA, 2018). Estaremos tornando a vida de 10% da tripulação (e passageiros) mais

difícil apenas por causa da fonte escolhida para escrever os manuais e os painéis? Que tal redesenhar painéis, placares, *Quick Reference Handbooks* (QRH), gráficos ou cartões de segurança a bordo? Haveria uma fonte com caracteres dissimilares, mais agradável para todos?

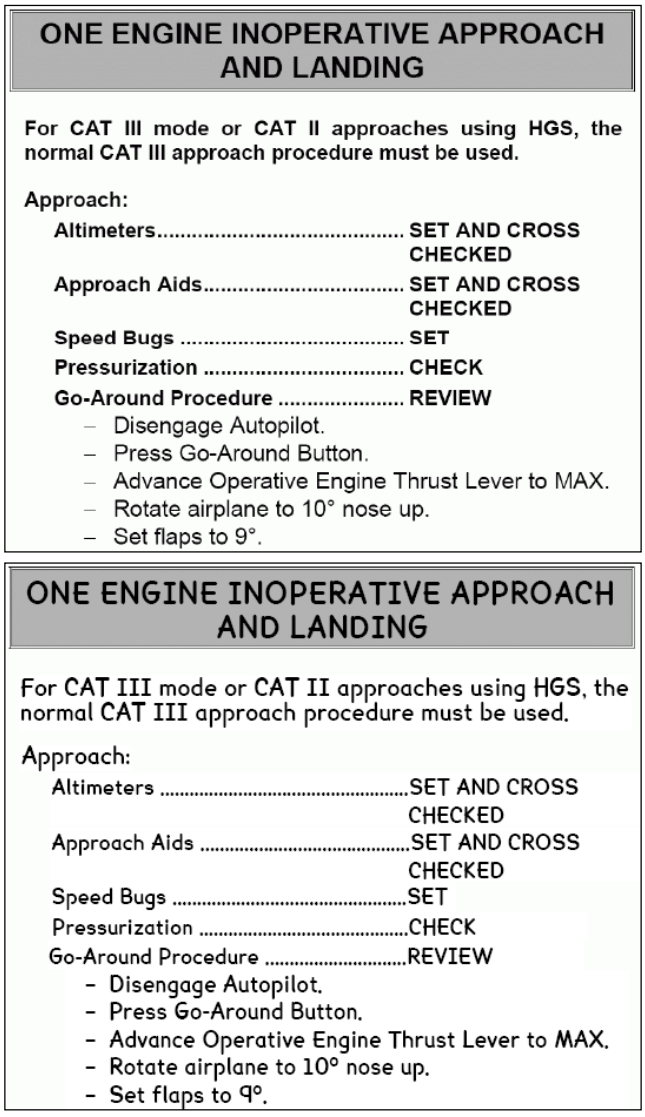



**Figura 6:** Exemplo de QRH: típico (acima) e proposto (abaixo), usando fonte para pessoas disléxicas

Em um ambiente onde as cores verde e vermelha têm significados extremamente opostos, como lidar com o daltonismo, que afeta cerca de 8% dos homens? Deve haver maneiras mais inteligentes de projetar um monitor, comando ou cabine usando esquemas de cores apropriados para eles também...

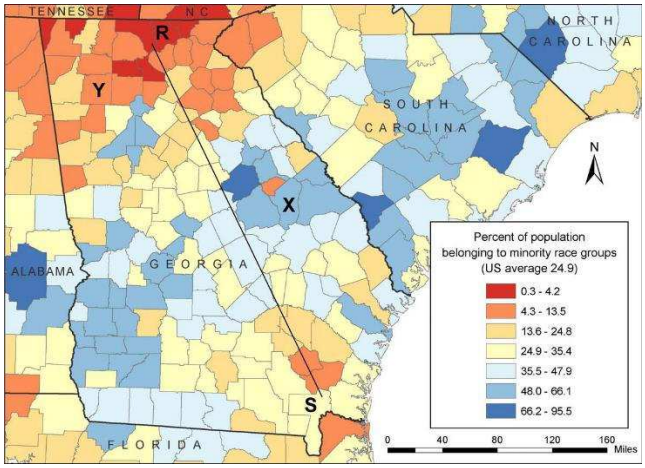



**Figura 7:** Mapa adequado (mas não exclusivo) a daltônicos (GARDNER, 2005)

Todas as pessoas a bordo são capazes de aproveitar ao máximo aquele caríssimo sistema de entretenimento? Além disso, eles devem estar cientes do significado de todos os sinais de emergência em caso de qualquer perigo...

Podemos usar mais confirmações auditivas para operações ou condições críticas? Talvez sentenças completas sejam mais assertivas do que campainhas ou sinos... Imagine um ambiente (aeronaves e pessoas) capaz de comunicar-se positivamente com as pessoas surdas (ou “tornadas surdas”), tanto durante o cruzeiro normal quanto durante qualquer emergência.

A aeronave está totalmente preparada para tripulantes e passageiros idosos (ou "mais experientes"), a maioria com deficiências sensoriais e/ou de movimento? Pense nas saídas de emergência sendo operadas por pessoas “recém-deficientes”. Você realmente considerou que, cada vez mais, os idosos precisam de produtos e serviços (como voar, por exemplo) e, para uma parte significativa deles, pode ser a primeira vez?

As instalações são inteligíveis para pessoas analfabetas? E para os cegos (ou “recém-cegados”), talvez depois de serem atingidos nos olhos por um raio *laser*? Às vezes até as luzes de um estádio podem ser fortes o suficiente para afetar os pilotos, como na Figura 8: Santa Clara, lar do *San Francisco 49ers*, na rota de voo de uma das pistas do Aeroporto Internacional San Jose Mineta (*Silicon Valley, California*).

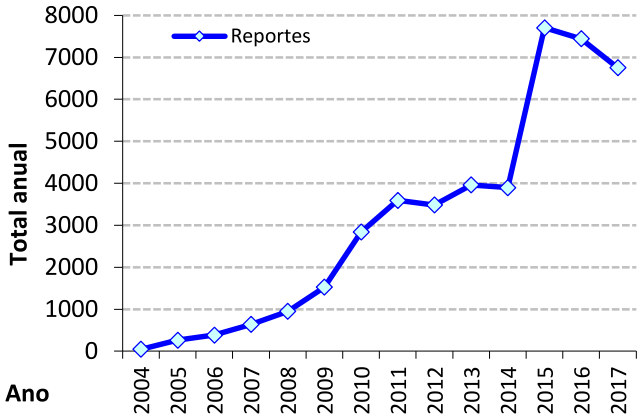



**Gráfico 4:** Reportes de iluminação por raio *laser* feitos ao *FAA (Federal Aviation Administration)* - adaptado de (LASERPOINTERSAFETY, 2018)

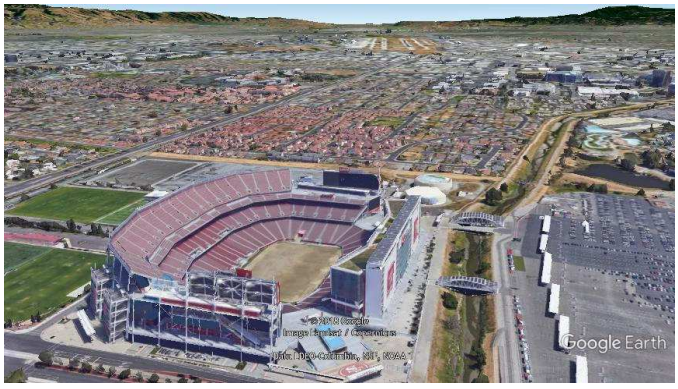



**Figura 8:** Localização de estádio (em primeiro plano) em relação ao aeroporto (ao fundo).

Algumas luzes piscantes causam vertigem (um desequilíbrio na atividade das células cerebrais causado pela exposição a cintilação de baixa frequência ou a lampejos de uma luz relativamente brilhante) em você? Imagine-se dentro de um helicóptero sob o sol (sob a sombra das hélices girando).

Você sabia que a exposição a altos níveis de ruído (acima de 90dB) pode afetar negativamente as tarefas que exigem vigilância, concentração, cálculos e julgamentos ao longo do tempo? Como curiosidade, um cortador de grama pode gerar até 90dB de ruído, um processador de alimentos, 95dB, uma banda de *rock*, 110dB e um *airbag* de segurança, 170dB. Você se sentiria "um pouco surdo" logo após um acidente de carro?

O suprimento de oxigênio será acessível e compreensível para pessoas que sofrem de algum grau de hipóxia, talvez depois de uma rápida descompressão? Esta solução inclui alguém com pneumonia, artrite, sinusite ou um mero resfriado? E não se esqueça dos fumantes e daqueles que podem ter recebido uma taça de Champanhe quando embarcaram, ou beberam vinho ou cerveja durante o voo.

Todos devem estar cientes dos aspectos relevantes da segurança operacional, incluindo os iniciantes. E você realmente conhece todos aqueles itens de segurança, ou "acessórios" dentro do carro que acabou de alugar (e faz bom uso deles)? E na aeronave na qual acabou de entrar, e esta apresentou falha logo na decolagem?

Você está em boa forma? Talvez alguns quilos extras, dor nas costas ou nos dentes, um ouvido zumbindo? Você deixou seu par de óculos na bagagem despachada em vez de trazê-los com você? Ser capaz de alcançar o exterior de uma aeronave rapidamente, mesmo sem óculos, pode salvar sua vida...

Você está bem hidratado (e regularmente vai ao banheiro)? Você está sentado há mais de duas horas, talvez assistindo a um bom filme cheio de efeitos sonoros em alto volume? A trombose pode ocorrer em situações que são tipicamente encontradas em viagens aéreas.

Você dorme bem enquanto está voando (ou entre voos, se você é um piloto)?

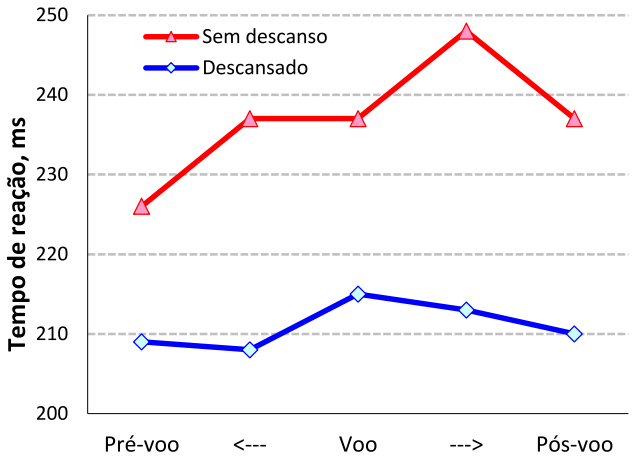



**Gráfico 5:** Tempo de reação para pilotos que tiveram ou não um período de descanso - adaptado de (NASA, 1994)

## 6 CONCLUSÃO

Um produto projetado para ser usado por pessoas com uma ampla gama de habilidades físicas e cognitivas demonstrará sua superioridade sob condições normais e em emergências. Para ambos, reduzir o estresse mental e físico para o seu uso levará a uma melhor conscientização e capacidade de alcançar o resultado desejado.

Soluções que não aumentam os custos são possíveis, desde que sejam bem consideradas. Lidar com limitações e restrições é a atividade diária de bons engenheiros, e cada um deve ter em mente as necessidades não ditas dos clientes e aquelas que podem surgir durante o uso do produto, mesmo em situações imprevisíveis. É aí que a excelência entra em jogo.

E para todas as pessoas que irão interagir com esses itens bem projetados, mesmo que não estejam cientes das razões, eles parecerão mais atraentes, agradáveis e fáceis de usar, durante a vida diária (evitando a fadiga) ou durante emergências (permitindo maior assertividade).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos profissionais com quem interajo na realização das minhas atividades, pelos desafios que me apresentaram e levaram ao desenvolvimento deste método em particular. Também agradeço à minha família pelo apoio e pelo tempo de convívio que cederam. Finalmente, agradeço a Deus pela oportunidade da vida e pelos meios que me concedeu para compreender um pouco melhor a Sua criação.

## REFERÊNCIAS

ADOGA, A.A. **The Association between tinnitus and mental illness, mental disorders - Theoretical and Empirical Perspectives**, InTech, 2013.

BOY, Guy A. **The handbook of human-machine interaction: a human-centered approach**, 1st edition, Ashgate, 2010.

BRAULT, Matthew W. **Americans With Disabilities: 2010**, P70-131, US Census Bureau, issued July 2012.

DEKKER, Sidney. **The Field Guide to Understanding Human Error**, 1st edition, Ashgate, 2008.

DYSLEXIA - Davis Dyslexia Association International, **Adult Dyslexia and ADHD: Effects in the Workplace**, Disponível em: https://www.dyslexia.com/about-dyslexia/understanding-dyslexia/adult-dyslexia-in-the-workplace/, Acesso em 8 Jan 2018, 09:00.

GARDNER, Steven D. **Evaluation of the Colorbrewer color schemes for accommodation of map readers with impaired color vision**, A Thesis in Geography for The Pennsylvania State University, August 2005.

HAWKINS, Frank H. **Human Factors in Flight**, 2nd edition, Ashgate, 1998.

HUGHES Ronda G. **Patient Safety and Quality: An Evidence-Based Handbook for Nurses**. Rockville Agency for Healthcare Research and Quality, 2008. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2651/, acessed on Jan 29th, 2018.

LANDMAN A., **The Influence of Surprise on Upset Recovery Performance in Airline Pilots**, The International Journal of Aerospace Psychology, 27:1-2, 2-14, Publicação online em 04 out 2017, Disponível em: https://doi.org/10.1080/10508414.2017.1365610, Acesso em 07 mai 2018 às 13:20.

LANDRY, Steven J. **Advances in Human Aspects of Aviation**, 1st edition, CRC Press, 2013.

LASERPOINTERSAFETY, **Laser illumination incidents reported to the U.S. Federal Aviation Administration**, Disponível em: http://www.laserpointersafety.com/latest-stats/latest-stats.html, Acesso em 4 Mai 2018, 13:55.

NASA Technical Memorandum 108839 - DOT/FAA/ 92/24 : **Crew Factors in Flight Operations IX: Effects of Planned Cockpit Rest on Crew Performance and Alertness in Long-Haul Operations**, Sep 1994.

NSCU - North Carolina State University, **The Center for Universal Design**, Disponível em: https://projects.ncsu.edu/ncsu/design/cud/, Acesso em 7 Jan 2018, 15:00.

NTSB - National Transportation Safety Board, **Safety Study SS-14/01: Drug Use Trends in Aviation: Assessing the Risk of Pilot Impairment**, NTSB, Adopted 2014.

NTSB - National Transportation Safety Board, **Uncontained Engine Failure and Subsequent Fire - American Airlines Flight 383 - Boeing 767-323, N345AN Chicago, Illinois October 28, 2016**, Disponível em: <https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR1801.pdf>. Acesso em 19 abr 2018 às 13:00.

REINHART, Richard O. **Basic Flight Physiology**. 2nd edition, McGraw-Hill, 1996.

THE NEWS TRIBUNE, **Air disaster proves what flight attendants fear: Many don't listen to safety speeches**, Disponível em:

http://www.thenewstribune.com/news/nation-world/article209281134.html, Acesso em 19 abr 2018 às 13:00.....

# Identificação e Caracterização do Evento "Black Swan" em um Acidente Aeronáutico

*Moacyr Machado Cardoso Júnior* [1,2],

1 Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
2 Grupo de Estudos em Análise de Riscos – GEAR-ITA

**BIOGRAFIA:**

Moacyr Machado Cardoso Junior é atualmente Professor de Gestão de Risco Tecnológico e Métodos Quantitativos Aplicados à Análise de Risco nos cursos de graduação e pós-graduação do ITA. É Analista de Ciência e Tecnologia no Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA e doutor em Engenharia Mecânica-Aeronáutica pelo ITA na área de Produção. Possui mestrado em Máquinas Agrícolas pela Universidade de São Paulo em 1992 e mestrado em Gestão e Tecnologia Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT em 2004. Atua na área de Segurança do Trabalho e Gestão de Riscos com ênfase em métodos estatísticos multivariados.

**RESUMO:** Eventos *Black Swan* são questões críticas na análise de risco. São eventos com probabilidade de ocorrência extremamente baixa e, em geral, descartados do processo de análise de risco. Este artigo tem como objetivo identificar e caracterizar um acidente aeronáutico ocorrido no Brasil com grande repercussão na mídia, que foi o acidente ocorrido durante o voo 1907 da GOL e do Embraer-Legacy em 2006. Após a colisão em voo, todos os ocupantes do voo 1907 morreram. O evento foi classificado como "não era um Black-Swan", "Black-Swan: desconhecido-desconhecido", "Black-Swan: desconhecido" e finalmente "Black-Swan: não se acredita que ocorra". Os dados foram coletados por um processo de elicitação de especialistas. Os especialistas neste caso foram pilotos, controladores de tráfego aéreo e especialistas em análise de risco. Em nenhum momento o evento foi classificado como "Black Swan: desconhecido-desconhecido", o que significa que o evento acidental não foi surpresa para ninguém. O método utilizado foi capaz de atribuir uma classificação do acidente às diferentes classes. A partir de dados extraídos por especialistas, foi possível obter uma distribuição de probabilidade de cada classe. Os resultados mostraram que em 20,8% dos casos, os especialistas classificaram o evento como "Não foi um Black Swan", em 8,3% como "Black Swan: desconhecido-conhecido, e 70,8% como" Black Swan: não se acredita que ocorra". As distribuições de probabilidade obtidas dos especialistas mostraram grande desacordo entre elas e o valor esperado foi considerado baixo, mas, as distribuições obtidas podem ser usadas em análises de risco futuras como uma distribuição a *priori* em uma abordagem bayesiana.

**Palavras Chave:** Acidente aéreo, Análise de Risco, Black Swan, Elicitação.

# Identification and Characterization of the “Black Swan” Event in an Aeronautical Accident

**ABSTRACT**: Black-Swan events are critical issues in risk analysis. They are events with extremely low probability of occurrence and are usually discarded along the risk analysis process. This paper aims to identify and characterize a major aeronautical accident that happened in Brazil in 2006: the inflight collision between flight GOL 1907 and a private Embraer-Legacy. After the collision, all 1907 occupants died. The event was classified as “not a Black-Swan”, “Black-Swan/unknown-known”, “Black-Swan/unknown”, and finally “Black-Swan/not believed to occur”. The data were collected by an expert elicitation process. The experts were pilots, air traffic controllers and risk analysis specialists. At no point, the event was classified as “Black-Swan/unknown-unknown”, which means that the accident event was no surprise for anyone. The method applied was able to assign an accident classification to the different classes. From the data extracted by the experts, it was possible to obtain a probability distribution of each class. The results showed that in 20.8% of cases, the experts rated the event as “not a Black-Swan”, at 8.3% as “Black-Swan/unknown-known”, and at 70.8% as “Black-Swan/not believed to occur”. The probability distribution obtained from the experts showed a great disagreement between them and the expected value was considered low, but those distributions can be used in future risk analysis as an “a priori” distribution in an Bayesian approach.

**Keywords:** Air accident, Risk analysis, Black-Swan, Elicitation.

**Citação:** Júnior, MMC. (2018) Identificação e Caracterização do Evento "Black Swan" em um Acidente Aeronáutico. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 144-151

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto da avaliação de riscos, exige-se que os especialistas conduzam o processo de avaliação de riscos, que envolve identificação, análise, avaliação e tomada de decisões sobre possíveis controles e/ou medidas de mitigação de riscos inerentes a um processo, sistema, equipamentos e outros (ABNT-ISO, 2009). Na fase de identificação, todas as ameaças e/ou riscos inerentes ao sistema são levantadas. Esta fase é crucial porque os eventos potenciais não identificados, não serão analisados e não farão parte do processo de tomada de decisão. Na fase de análise de risco, as causas e suas fontes são avaliadas e as consequências de um evento indesejado são estimadas. A tripla causa-evento-consequência define um risco e, para cada risco, sua probabilidade

de ocorrência é determinada, associada a uma causa e as consequências de sua materialização. Na última fase, a avaliação de risco, os critérios de tolerância ou a atitude em relação ao risco são comparados com os valores obtidos na fase de análise de risco. Essa comparação ajuda o processo de tomada de decisão em relação ao tratamento de risco, bem como sua priorização.

Os eventos descritos por (AVEN, 2013; FLAGE; AVEN, 2015) como Black-Swan são caracterizados pelos seguintes atributos: São considerados *outliers*, ou seja, representam eventos extremamente improváveis com consequências extremas e, via de regra, após sua materialização, são perfeitamente explicáveis e previsíveis pelos especialistas, o que representa um paradoxo.

Esses eventos representam uma ameaça real ao processo de avaliação de risco, pois não farão parte da análise ou, se forem identificados, serão descartados depois disso, devido à sua probabilidade extremamente baixa. Novas estratégias devem ser desenvolvidas para incorporar e manter esses eventos no processo de análise de risco, conforme descrito por (AVEN, 2015).

Um passo fundamental nessa direção é entender como esses eventos são percebidos pelos especialistas, e assim, este trabalho tem como objetivo identificar e classificar os diferentes eventos *Black-Swan* ocorridos em um acidente tecnológico no Brasil, com base na elicitação de especialistas. E consequentemente aponta estratégias gerais que poderiam ajudar os analistas de risco a lidar com os *Black-Swan*.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: Além desta breve introdução e contextualização, na seção 2, com fundamentação teórica sobre os eventos *Black-Swan* e as ferramentas de elicitação. Na seção 3, o método de pesquisa é apresentado. Na seção 4 os resultados e discussão e finalmente na seção 5 as considerações finais e propostas para novas pesquisas neste tema.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 *Black Swan*

A teoria dos eventos Black Swan vem de uma metáfora que descreve um evento que é uma surpresa e tem um enorme impacto negativo. O termo "Black Swan" vem da ideia de que esses animais não existiriam na natureza, o que mais tarde foi negado pela descoberta desses animais na Austrália no ano de 1967 (TALEB, 2010).

Segundo (AVEN, 2013) o termo foi popularizado por Taleb (2007) em seu livro "The Black Swan", e destacou três atributos associados ao termo: 1) É um outlier, no sentido de que não se pode esperar a ocorrência desse evento com base em eventos anteriores; 2) Envolve um impacto extremo e 3) Após a sua ocorrência, pessoas e especialistas inventam explicações lógicas, tornando o evento explicável e previsível.

O primeiro atributo é questionado por alguns pesquisadores, porque se o evento é um outlier na interpretação da teoria da probabilidade, até mesmo pequenas probabilidades de ocorrência podem ocorrer devido ao espaço de tempo considerado.

(AVEN, 2013) conclui que o conceito de "Black Swan" pode ser visto de duas formas: (i) um evento raro com consequências extremas; e (ii) um evento extremo e surpreendente em relação ao conhecimento e/ou crença atual, e que este último pode ser mais apropriado.

(FLAGE; AVEN, 2015) classifica os eventos "Black Swan" em três tipos básicos: (i) eventos que são completamente desconhecidos no meio científico, denominado desconhecido-desconhecido, como uma referência ao fato de serem desconhecidos para os analistas de risco e também para a ciência; (ii) Eventos que não estão na lista de analistas de risco, mas estão na lista de especialistas e/ou ciência (desconhecidos); (iii) Eventos conhecidos por analistas de risco, mas julgados como tendo probabilidade insignificante de ocorrência e, portanto, não são passíveis de análise, uma vez que são considerados "não se acredita que ocorram". O autor também cita alguns exemplos dos três tipos: O uso da talidomida em 1957, uma droga que causou malformação congênita dos membros superiores, que era totalmente desconhecida por médicos e cientistas. O ataque às Torres Gêmeas em 11 de setembro pode ser considerado como tipo (ii) e, finalmente, o tsunami que destruiu o reator nuclear de Fukushima como um exemplo do tipo (iii).

Na Figura 1, apresenta-se o mapa conceitual da questão focal: o que são "Black Swan", que resume o que foi discutido até aqui.

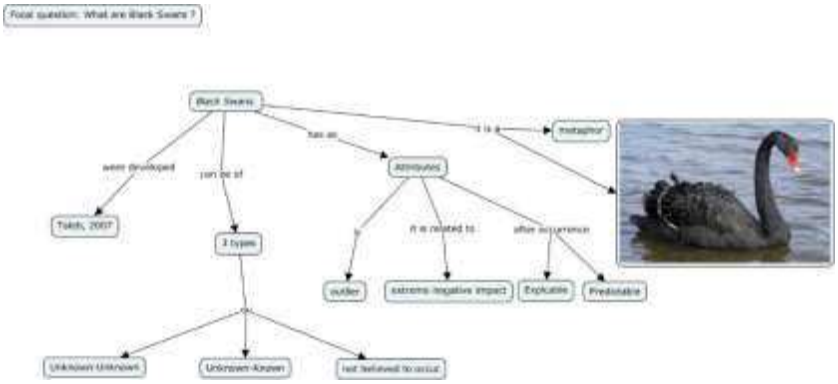



**Figura 1** – Mapa Conceitual de "*Black Swan*".

(PATÉ-CORNELL, 2012), apresenta o conceito de "Tempestade Perfeita" para designar um evento raro envolvendo incerteza, e isso é representado pela aleatoriedade de eventos conjuntos, mas conhecidos. Difere do termo "Black Swan" porque este último envolve incerteza epistêmica ou falta de conhecimento, ou seja, não apenas a falta de conhecimento da distribuição de probabilidades, mas a ignorância do fenômeno em si. O autor conclui que o gerenciamento proativo com alertas precoces, detecção rápida e respostas principalmente ágeis permitem que os analistas cumpram a Lei XLV de Augustine, ou seja, "Deve-se esperar que o esperado possa ser evitado, mas o inesperado deveria ser esperado"

### 2.2 Elicitação de Probabilidades

A elicitação é um processo de construção de distribuições de probabilidade a partir da extração de crenças e conhecimento especializado sobre uma ou mais incertezas.

(GARTHWAITE; KADANE; HAGAN, 2005) argumentam que grande parte da literatura sobre elicitação se preocupa em construir uma distribuição de probabilidade para modelar incertezas quando há dados insuficientes para construir um modelo. Como exemplo, os autores citam o caso da tomada de decisão onde a incerteza em relação ao tema deve ser representada por uma distribuição de probabilidades para maximizar a utilidade esperada.

No processo de elicitação, a figura de um facilitador é de vital importância, uma vez que nem todos estão cientes das probabilidades e distribuições e, desta forma, o processo deve ser cuidadosamente conduzido para evitar os vieses e heurísticas que podem afetar o resultado final.

(GARTHWAITE; KADANE; HAGAN, 2005) sugerem que as pessoas são afetadas por heurísticas e vieses em como elas respondem a questões de incerteza.

(BURGMAN et al., 2006) descrevem algumas heurísticas que influenciam o processo de elicitação, tais como: a representatividade, ou seja, à medida que a quantidade de detalhes em um determinado cenário aumenta, sua probabilidade só pode diminuir, embora devido à sua representatividade a probabilidade aparente cresça.

Outra heurística citada pelos autores é a disponibilidade, isto é, eventos comuns são mais prováveis, ou mais recentes ou mesmo aqueles que foram muito explorados pela mídia. E finalmente a heurística de ancoragem, que afirma que quando uma pessoa é solicitada a estimar um número, porcentagem ou faixa de valores, as pessoas ancoram em valores que foram previamente sugeridos ou surgiram de outros julgamentos.

A grande vantagem do processo na utilização dos resultados para o processo de tomada de decisão e, nesse contexto, a captação de opinião de especialistas é fundamental. E a possibilidade de construir a distribuição prévia para inferência em um processo bayesiano (GARTHWAITE; KADANE; HAGAN, 2005).

Diversos autores utilizaram a elicitação de probabilidades em diferentes aplicações, como probabilidades de explosão em diferentes cenários (MACDONALD; SMALL; MORGAN, 2008), que solicitaram aos especialistas estimativas dos limites de probabilidade superior (U) e inferior (L), e ainda que fornecem o valor modal ou valor mais provável e, em seguida, divida o intervalo [L, U] em seis subintervalos. Os autores encontraram falta de consenso entre os especialistas. Elicitação preditiva de distribuições subjetivas de probabilidade foi usada para avaliar a eficácia da Opção de Controle de Risco (RCO) para reduzir o risco de colisões de navios no Mar Territorial da Austrália e Zona Econômica Exclusiva (HOSACK; HAYES; BARRY, 2017). IOANNOU et al., (2017) usaram 13 especialistas internacionais para elucidar as respostas de uma armação de concreto armado moldada quando expostas a diferentes intensidades de fogo, e então para julgar o nível de resposta que seria necessário para causar um dado nível de dano. A elicitação oferece um método viável para gerar evidências para a informação que falta, mas há uma série de questões-chave que devem ser analisadas no processo real de elicitação, como ponderação, agregação e outras (BOJKE et al., 2010).

Em um processo de elicitação de especialistas, incertezas climáticas, energéticas e econômicas (USHER; STRACHAN, 2013) descobriram que, embora os especialistas concordassem com a estrutura dos parâmetros incertos, a forma das distribuições representando suas crenças mostrou ampla variação, refletindo as diferentes perspectivas dos entrevistados. Decompor a estrutura dos parâmetros e explorar a influência da dependência de respostas de especialistas pode ajudar a explicar algumas dessas diferenças. No entanto, as crenças combinadas são insensíveis aos pressupostos de ponderação que compensam o viés e as correlações dentro e entre os especialistas.

Um dos métodos usuais para a elicitação de probabilidades é o do quartis. Em que especialistas são solicitados a atribuir o valor médio para a distribuição e, em seguida, avaliar outros pontos da distribuição. Os métodos de quartis são os melhores para amortecer heurísticas e vieses de especialistas, segundo (GARTHWAITE; KADANE; HAGAN, 2005) (MORRIS; OAKLEY; CROWE, 2014)

A agregação de distribuição de especialistas normalmente depende de esquemas de combinação muito simples, como a atribuição de ponderação igual a todos os especialistas participantes. (ASPINALL, 2005). E, embora outras formas, como o método clássico de Cooke, que é uma média aritmética ponderada das distribuições de probabilidade dos especialistas. Mas em muitos estudos simulados não foram melhores do que a maneira mais simples de uma média aritmética simples (CLEMEN, 2008).

## 3 METÓDO

Para a identificação e caracterização dos eventos *Black Swan*, foi aplicado um questionário de pesquisa de elicitação com base no acidente aéreo - GOL-Legacy em 2006; que será detalhado da seguinte forma:

O voo 1907 da Gol era uma rota comercial doméstica, operada pela Gol Airlines, usando um Boeing 737-8EH. Em 29 de setembro de 2006, a aeronave partiu do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, em Manaus, para o Aeroporto Internacional do Galeão, no Rio de Janeiro, com uma parada intermediária no Aeroporto Internacional Juscelino Kubitschek, em Brasília. Ao sobrevoar o estado de Mato Grosso, ele colidiu em pleno voo com um Legacy 600 da Embraer. Todos os 154 passageiros e tripulantes a bordo do Boeing 737 morreram depois que o avião caiu, após colisão em uma área de floresta fechada, enquanto o Legacy, apesar de ter sofrido graves danos à sua asa e estabilizador horizontal esquerdo, pousou com segurança e seus sete ocupantes ilesos no Campo de Prova Brigadeiro Velloso, em Novo Progresso - PA. O CENIPA concluiu que o acidente foi causado tanto por controladores de tráfego aéreo quanto por erros de pilotos do Legacy, enquanto o *National Transportation Safety Board* (NTSB) determinou que todos os pilotos agiram corretamente e foram colocados em rota de colisão para vários erros de controladores de tráfego aéreo. (WIKIPEDIA, 2017)

Os especialistas foram escolhidos com base em sua formação profissional, para que o evento fosse analisado. Utilizou-se amostragem do tipo "*snow-ball*", uma vez que cada especialista foi convidado a indicar outro especialista que pudesse participar da pesquisa. Os formulários do Google foram usados para enviar os questionários. Uma breve contextualização da pesquisa, destacando o que são eventos *Black Swan* e o cenário analisado foi apresentado, para que os especialistas estimassem a probabilidade de que o evento descrito seja enquadrado em uma das classes: "Não foi um *Black Swan*", "*Black Swan*: desconhecido-desconhecido", "*Black Swan*: desconhecido-conhecido" e "*Black Swan*: que não se acredita que ocorra".

O método do quartis foi utilizado no processo de elicitação, a fim de minimizar os vieses e heurísticas dos especialistas. O ajuste das distribuições de probabilidade e agregação individuais foram realizados com o pacote SHELF: "*Tools to Support the Sheffield Elicitation Framework"* (OAKLEY, 2017), do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017). Pesos iguais foram atribuídos aos diferentes especialistas, de modo que a distribuição de probabilidade final foi obtida pelo algoritmo de agregação linear.

## 4 RESULTADOS

Este acidente foi analisado por 23 especialistas, incluindo controladores de tráfego aéreo, pilotos de aeronaves e especialistas em segurança da aviação. Destes, apenas 1 foi descartado da análise devido à incoerência no processo de elicitação de probabilidades.

Como resultado geral, os especialistas classificaram o acidente conforme apresentado na Tabela 1, ou seja, a grande maioria (70,8%) considerou este tipo de evento perfeitamente previsível, mas com uma probabilidade muito baixa, representando assim um evento inacreditável, classificando-o como "*Black Swan*: que não se acredita que ocorra" Essa visão pode ser confirmada nas justificativas dos especialistas, dentre os quais destacamos os seguintes:

- Especialista A: "Eu considero causas conhecidas, mas de probabilidade muito pequena".
- Especialista B: "Acredito que a falta de treinamento e investimento fez com que a possibilidade de um acidente parecesse estar subestimada, apesar do fato de todos os órgãos responsáveis falarem que esse cuidado é um dos pilares do sistema de controle da aviação no país. "
- Especialista C: "porque nunca aconteceu antes desse jeito".
- Especialista D: "Com as tecnologias atuais do TCAS, entre outros, os responsáveis assumem que a colisão entre duas aeronaves em voo é algo quase impossível de ocorrer e acabam negando os riscos dessa situação. "
- Especialista E: "Todos sabiam que isso poderia acontecer, mas ninguém acreditava que isso aconteceria. "
- Especialista F: "Devido à existência de equipamentos do tipo *transponder* e TCAS, por exemplo, este tipo de acidente é conhecido por analistas de ciência e risco, mas sua probabilidade de ocorrência é muito improvável. "

**Tabela 1:** Distribuição da classificação do evento ocorrido com o Acidente - Gol 1907 - Legacy - ano: 2006.

| "Não foi *Black Swan"* | "*Black Swan*: desconhecido desconhecido" | "*Black Swan*: desconhecido - conhecido" | "*Black Swan*: que não se acredita que ocorra" |
|---|---|---|---|
| 20,8% | 0% | 8,3% | 70,8% |

A segunda classe, com 20,8%, foi classificada como não-*Black Swan* pelos especialistas, e a justificativa foi:

- Especialista A: "A evolução tecnológica da navegação aérea forneceu uma rota quase perfeita no meio das vias aéreas, quase sem desvio lateral. Então a aeronave, devido ao avançado equipamento de navegação a bordo, mantendo o mesmo nível de voo, passou no mesmo ponto. "
- Especialista B: "Vários relatórios de risco (RELPREV), agora conhecidos como Relatórios de Prevenção, concluídos antes do acidente, já indicavam que algo assim poderia ocorrer. Eu preenchi muitos.

- Especialista C: “Os fatores que causaram o acidente são conhecidos, mas as conjunturas do sistema (falhas humanas e de equipamentos) foram determinantes para que ocorresse”.

E finalmente a menor (8,3%) foi classificada como sendo um *Black Swan* de natureza desconhecida pelos analistas e conhecido pelos especialistas.

Alguns relatórios de especialistas:

- Especialista A: “A indicação de TCAS OFF com baixa visibilidade pode estar associada a erro humano. A coincidência das rotas era previsível pela precisão da tecnologia. Questão de montar as coisas, o que não é trivial”.
- Especialista B: “Os operadores de tráfego geralmente conheciam os riscos e contornavam-no”.

Vale ressaltar que nenhum especialista considerou o evento como sendo do tipo *Black Swan* Desconhecido- Desconhecido.

Obteve-se também os resultados do processo de elicitação da distribuição da probabilidade subjetiva dos especialistas em cada classe, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2:** Ajuste obtido no processo de elicitação de probabilidade - "p" para o evento - Gol 1907 – Legacy – year: 2006.

| Classe de *Black Swan* | Especialista | Melhor ajuste (soma erro quadrático) | Parâmetros do Modelo |
|---|---|---|---|
| “Não foi *Black Swan*” | A | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.9999813<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.000008 |
| | B | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 1.6925468<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.196452 |
| | C | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 2.4078168<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.310733 |
| | D | Normal | μ = 0.1538458<br>σ = 0.1140464 |
| | E | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 4.3184044<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 2.683653 |
| “Black-Swan desconhecido-conhecido” | A | Normal | μ = 0.2499995<br>σ = 0.1853250 |
| | B | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.4265952<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 0.5049448 |
| “*Black Swan* que não se acredita que ocorrra” | A | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.8971646<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 0.3533580 |
| | B | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 7.6919001<br>$\boldsymbol{\beta}$ =1.5864494 |
| | C | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 1.6352622<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 0.6040447 |
| | D | Normal | μ = 0.4285489<br>σ = 0.2115726 |
| | E | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.7982027<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.4190533 |
| | F | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 1.1738755<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 0.6334071 |
| | G | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.9999813<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.0000085 |
| | H | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.9999813<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.0000085 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | I | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.5234347<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.2619953 |
| | J | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.9999813<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.0000085 |
| | K | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.7329743<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 0.3972961 |
| | L | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.9999813<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.0000085 |
| | M | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.6203376<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.0806761 |
| | N | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.3533580<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 0.8971646 |
| | O | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.9999813<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.0000085 |
| | P | Beta | $\boldsymbol{\alpha}$ = 0.9999813<br>$\boldsymbol{\beta}$ = 1.0000085 |

Na Tabela 2 é possível identificar para cada classe de *Black Swan* a distribuição que forneceu o melhor ajuste de acordo com o critério de mínimos quadrados entre o modelo ajustado e os dados de cada especialista. E finalmente os valores obtidos para os parâmetros. Três modelos de probabilidade foram utilizados neste ajuste: distribuições Beta, Gama e Normal que possuem suas formas funcionais definidas por: Beta: p ~ Beta( α, β), onde A Função Densidade-Probabilidade - fdf é definida:

$$\boldsymbol{f(p) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} p^{\alpha-1}(1-p)^{\beta-1}} \qquad \text{Eq. 1}$$

α, β > 0 ; p ∈ [0,1]
α, β são os parâmetros de forma.

$$\boldsymbol{f(p) = \frac{\beta^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)} p^{\alpha-1} e^{-\beta p}} \qquad \text{Eq. 2}$$

α, β > 0 ; p > 0
α: Parâmetro de forma.
β: Parâmetro de escala.

Γ: é a função gama, definida:

$$\boldsymbol{\Gamma(z) = \int_0^{\infty} x^{z-1} e^{-x} dx} \qquad \text{Eq. 3}$$

Normal: p ~ Normal(μ ,σ^2)

onde:

$$\boldsymbol{f(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left(\frac{p-\mu}{\sigma}\right)^2}} \qquad \text{Eq. 4}$$

μ, σ: representa a média e o desvio padrão respectivamente.

Na Figura 2, apresenta-se, como exemplo, o resultado para o processo de elicitação da classe "não foi *Black Swan*".

Nesta classe, quatro dos cinco melhores ajustes foram Beta e apenas um era Normal, então decidiu-se considerar a distribuição Beta para todos os casos, incluindo "*Black Swan*: desconhecido-conhecido" e "*Black Swan*: que não se acredita que ocorra". Esta decisão é possível porque os valores para "p" estão entre [0,1], então Beta é tecnicamente melhor que Normal.

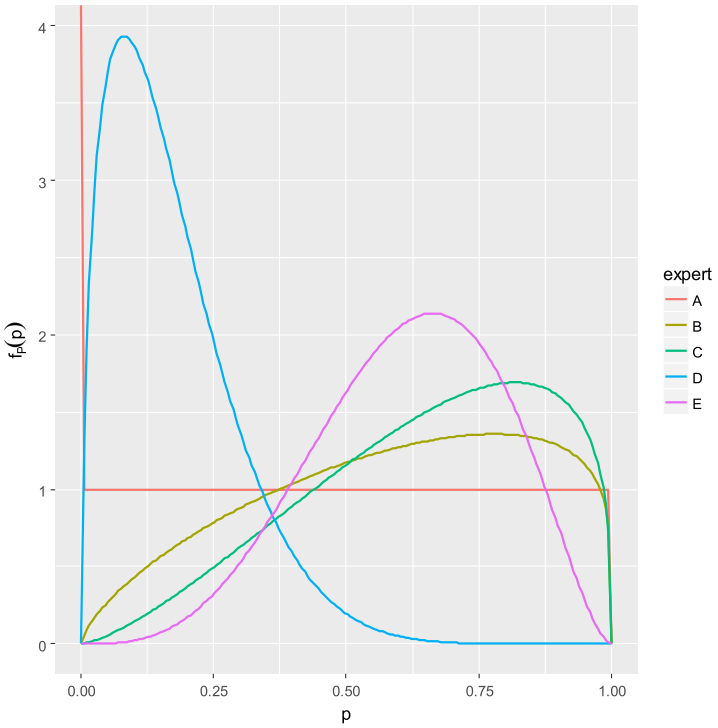



**Figura 2:** Resultado do processo de elicitação para distribuição de probabilidade Beta para "não um *Black Swan*", para Acidentes de Aeronaves - Gol 1907 - Legacy - ano: 2006, para todos os especialistas considerados.

Na Tabela 3, os valores dos quantis para os especialistas são fornecidos considerando a distribuição Beta, e pode-se ver que não há muita concordância entre os especialistas para o valor "p" e que a classe de *Black Swan* considerada não foi fortemente evidenciada.

**Tabela 3:** Valores de "p" - probabilidade de que o evento com o Acidente de Aeronaves - Gol 1907 - Legacy - ano: 2006 não foi "*Black Swan*", ajustado pela distribuição Beta, para os quantis 0,25; 0,50; 0,75 e 0,95.

| Quantil | Especialista | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E |
| 0.25 | 0.250 | 0.394 | 0.492 | 0.0801 | 0.497 |
| 0.50 | 0,500 | 0.608 | 0.676 | 0.1470 | 0.628 |
| 0.75 | 0,750 | 0.796 | 0.828 | 0.2380 | 0.748 |
| 0.95 | 0,950 | 0.949 | 0.954 | 0.3990 | 0.879 |

Calculou-se a média dos valores esperados de cada especialista, obtendo-se os seguintes valores: E [p] = 0,5193, para a classe *Black Swan* do tipo "não se acredita que ocorra"; E [p] = 0,5042 para "não um *Black Swan*" e E [p] = 0,3644 para o tipo "*Black Swan*: Desconhecido-Conhecido". A agregação do valor esperado de diferentes especialistas foi realizada por agregação linear.

A conclusão é que, embora os especialistas tenham classificado o evento em diferentes tipos de *Black Swan*, eles não foram capazes de produzir um valor "p" consistente com sua classificação, denotando a grande discrepância entre os especialistas.

O processo de elicitação foi capaz de produzir a distribuição agregada dos valores "p". Estes valores podem ser utilizados no futuro como distribuição a priori para estudos futuros na análise de risco de eventos dessa natureza.

## 5 CONCLUSÕES FINAIS

Conforme proposto nos objetivos, isto é, identificar e classificar diferentes tipos de Black Swan, este artigo chegou a esse resultado. Para o evento analisado foi possível extrair de especialistas as diferentes classificações: "não foi Black Swan", "Black Swan desconhecido-desconhecido", "Black Swan desconhecidas-conhecido", e "Black Swan: que não se acredita que ocorram". Para todos os casos, "Black Swan desconhecido-desconhecido" nunca foi relatado por nenhum dos especialistas. É possível concluir que o evento nunca representou um evento completamente desconhecido, tanto pelos analistas de risco quanto pela ciência, ou seja, não representa surpresa para ninguém. Este fato contradiz o tipo (ii) - um evento extremo e surpreendente em relação ao conhecimento e / ou crença atual, como afirmado em (Aven, 2013).

Um dos atributos dos eventos *Black Swan*, ou seja, após sua ocorrência, pessoas e especialistas fornecem explicações lógicas, tornando um evento até então desconhecido em um evento perfeitamente previsível, o que está de acordo com (AVEN, 2013).

Na maioria das vezes, especialistas classificaram eventos como "*Black Swan* que não se acredita que ocorram", o que significa que os eventos são em geral bem conhecidos, mas como sua probabilidade é considerada extremamente baixa, os eventos são descartados na análise de risco. Isso leva a concluir que o evento analisado às vezes pode ser classificado como *outliers* e isso representa um problema para a análise de risco.

O processo de elicitação mostrou grande desacordo entre os especialistas. O valor esperado, ou seja, o mais provável, foi consistentemente baixo em todos os casos analisados. Esse problema pode representar uma falha na elicitação, que precisará de mais pesquisas para confirmar ou descartar. Mas ainda assim, acredita-se que o processo foi útil e poderia servir de base para futuros estudos de análise de risco, como a distribuição de crenças à *priori* em uma análise bayesiana.

Pesquisas futuras devem analisar outros eventos em diferentes contextos, e talvez analisar a ocorrência do *Black Swan* usando redes de crenças bayesianas, isto é, estudando fatores que afetam as crenças dos especialistas no processo de elicitação.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece a todos os especialistas anônimos que dedicaram algum tempo a responder aos formulários específicos, dando sua contribuição valiosa para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABNT-ISO. NBR-ISO 31000: Gestão de Riscos – Princípios e Diretrizes, 2009.

ASPINALL, W. P. Chapter 2 Structured Elicitation of Expert Judgment for Probabilistic Hazard and Risk Assessment in Volcanic Eruptions. In: In: Mader, H.M., et al. (Eds.), Statistics in volcanology. Special Publication of IAVCEI. [s.l.] Geological Society of London., 2005. p. 1–31.

AVEN, T. On the meaning of a black swan in a risk context. Safety Science, v. 57, p. 44–51, 2013.

AVEN, T. Implications of black swans to the foundations and practice of risk assessment and management. Reliability Engineering and System Safety, v. 134, 2015.

BOJKE, L. et al. Eliciting distributions to populate decision analytic models. Value in Health, v. 13, n. 5, p. 557–564, 2010.

BURGMAN, M. et al. ACERA Project 0611 Eliciting Expert Judgments. Risk Analysis, p. 1–71, 2006.

CLEMEN, R. T. Comments: Comment on Cooke's classical method. Reliability Engineering and System Safety, v. 93, n. 5, p. 760–765, 2008.

FLAGE, R.; AVEN, T. Emerging risk – Conceptual definition and a relation to black swan type of events. Reliability Engineering & System Safety, v. 144, n. August, 2015.

GARTHWAITE, P. H.; KADANE, J. B.; HAGAN, A. O. Statistical Methods for Eliciting Probability Distributions. Journal of the American Statistical Association, v. 100, n. 470, p. 680–701, 2005.

HOSACK, G. R.; HAYES, K. R.; BARRY, S. C. Prior elicitation for Bayesian generalised linear models with application to risk control option assessment. Reliability Engineering and System Safety, v. 167, p. 351–361, 1 nov. 2017.

IOANNOU, I. et al. Expert judgment-based fragility assessment of reinforced concrete buildings exposed to fire. Reliability Engineering and System Safety, v. 167, p. 105–127, 1 nov. 2017.

MACDONALD, J. A.; SMALL, M. J.; MORGAN, M. G. Explosion probability of unexploded ordnance: Expert beliefs. Risk Analysis, v. 28, n. 4, p. 825–841, 2008.

MORRIS, D. E.; OAKLEY, J. E.; CROWE, J. A. A web-based tool for eliciting probability distributions from experts. Environmental Modelling and Software, v. 52, p. 1–4, 1 fev. 2014.

OAKLEY, J. SHELF: Tools to Support the Sheffield Elicitation Framework, 2017. Disponível em: https://cran.r-project.org/package=SHELF

PATÉ-CORNELL, E. On "Black Swans" and "Perfect Storms": Risk Analysis and Management When Statistics Are Not Enough. Risk Analysis, v. 32, n. 11, p. 1823–1833, 2012.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical ComputingVienna, AustriaR Foundation for Statistical Computing, , 2017. Disponível em: <https://www.r-project.org/>

TALEB, N. N. The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. 2. ed. [s.l.] Random House, 2010.

USHER, W.; STRACHAN, N. An expert elicitation of climate, energy and economic uncertainties. Energy Policy, v. 61, p. 811–821, 2013.

WIKIPEDIA. (2017). Voo Gol 1907. Retrieved from https://pt.wikipedia.org/wiki/Voo_Gol_190

# Treinamento Negativo

*Antonio Mendes Neto* [1,2]

1 Auditor Aeroespacial
2 AIRJOB Auditores e Consultores Independentes

**BIOGRAFIA:**

Piloto de Helicópteros desde 1978, exerceu a função de instrutor de voo para adaptação de operações em áreas restritas e transporte de cargas externas por helicópteros entre 1982 e 1994, tendo somado mais de 11.000 horas de voo em comando de helicópteros mono e bimotores. Tem formação de Agente de Segurança de Voo pelo CENIPA, Gestor de Segurança Operacional pela ANAC, Auditor Aeroespacial (NBR ISO 15100) com certificação pela RAB-QSA International e Auditor-Líder da Qualidade com reconhecimento pela International Register of Certificated Auditors. É facilitador de treinamentos em CRM Corporate e PBN - Performance Based Navigation. Participou de várias Comissões de Investigação de Acidentes e Comitês Nacionais de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Fundou em 1994 a AIRJOB Auditores e Consultores Independentes, ocupando o cargo de diretor executivo e Auditor-Líder desde então.

**RESUMO:** Em qualquer atividade de risco o treinamento é uma das três únicas ferramentas possíveis para mitigar a probabilidade da ocorrência de eventos não desejáveis, bem como as suas severidades caso aconteçam. As outras duas são regulamento e tecnologia. Assim, poderíamos afirmar que todos os treinamentos colaboram para essas mitigações? Infelizmente a resposta é não. A falta de critérios claros para aprovação de treinamentos e a falta de auditorias periódicas em protocolos utilizados por instrutores pode levar a um tipo de treinamento conhecido como "treinamento negativo", que é aquele que simula uma situação limite, desnecessária em treinamentos técnicos. Normalmente os treinamentos negativos acontecem em reciclagens periódicas de treinamentos práticos. Adicionalmente, a complacência e falta de assertividade de alguns tripulantes em relação a solicitações de checadores/avaliadores quando em voos de reciclagens ou de revalidação de suas licenças, que pedem manobras não previstas e em muitos casos declaradas como proibidas em manuais de voo, também são fatores contribuintes para eventos não desejáveis causados por treinamentos negativos. Existem muitos históricos de acidentes fatais, em voos de treinamentos ou de renovação de licenças, causados por manobras “ensinadas” ou “solicitadas” que contrariam manuais de voo aprovados e/ou normatizações específicas. O presente trabalho tem como objetivo elevar o nível de percepção de todos os envolvidos, desde o diretor de ensino até o instruendo, para a importância em seguir treinamentos aprovados em manuais de voo, especialmente os contidos no capítulo “emergências”, bem como da importância em gerenciar periodicamente se os protocolos atuais aprovados para treinamentos continuam adequados aos objetivos e resultados esperados após a sua aplicação e incentivo aos instruendos em usando da maior assertividade possível para fugir de um estado complacente, evitando - assim - as armadilhas de um "treinamento negativo".

**Palavras Chave:** Protocolos de Segurança de Voo, Treinamentos, Violação Operacional.

# Negative Training

**ABSTRACT**: In any risk activity, training is one of the only three possible tools to mitigate the likelihood of occurrence of undesirable events, as well as their severity if they occur. The other two are regulation and technology. So, could we say that all training contributes to these mitigations? Unfortunately, the answer is no. The lack of clear criteria for the approval of training, and the lack of periodic audits of protocols used by instructors, can lead to a type of training known as "negative training", which simulates a limit situation, unnecessary in technical training. Usually, negative trainings take place in periodic recurrence of practice training. In addition, complacency and lack of assertiveness on the part of some pilots following requests from checkers / evaluators on flights for purposes of continued training or revalidation of licenses, with requirement of unplanned maneuvers and, in many cases, maneuvers that are declared prohibited in flight manuals, are also contributing factors to undesirable events caused by negative training. There are many fatal accident cases on flights either for training or license renewal purposes, caused by maneuvers "taught" or "requested" that contravene approved flight manuals and / or specific regulations. The aim of this study is to raise the awareness of all those involved, from the teaching director up to the pilot under training, as to the importance of complying with approved training listed in flight manuals, especially those contained in the chapter on "emergencies", as well as to the importance of periodically monitoring whether the protocols in use approved for training remain adequate to the objectives and results expected after their implementation, besides encouraging pilots under training to apply the highest possible assertiveness to escape a complacent state, thus avoiding the pitfalls of "negative training".

**Keywords:** Flight Safety Protocols. Training. Operational Violation..

**Citação:** Neto, AM. (2018) Treinamento Negativo. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 152-158

## 1 INTRODUÇÃO

Em 12 de novembro de 2001, apenas 8 semanas após o evento de “11 de Setembro”, o maior atentado terrorista em território americano, uma aeronave da American Airlines (voo AA 587) caiu sobre casas no Queens. Este acidente é considerado até os dias de hoje como o 2º pior acidente da história dos EUA.

Todos achavam na época que era mais um ataque terrorista.

Após o final da investigação pelo NTSB – National Transportation Safety Board, concluiu-se que o fator contribuinte e principal do acidente foi a aplicação de comandos de uma maneira tão extrema pelo piloto para correção da atitude de sua aeronave, que estava na esteira de turbulência de um 747 da JAL – Japan Airlines à sua frente, que ocasionou a ruptura do comando de leme.

Um outro piloto da companhia, entrevistado durante as investigações, informou que este tripulante, um piloto com boa experiência, havia agido da mesma maneira há 7 anos atrás em uma situação semelhante. Quando os investigadores perguntaram do por que aquele tripulante havia agindo daquela maneira, ele respondeu: "... eles nos ensinaram a responder assim nos treinamentos...".

Os instrutores da companhia aérea ensinavam, por meio de simulador de voo da aeronave, uma situação onde não existia um histórico de recorrências, um cenário impossível era apresentado aos treinandos. Eles eram treinados a se recuperar de uma inclinação de asas de quase 90 graus, uma ocorrência sem históricos!

Para deixar o exercício mais eficaz os simuladores usados pela companhia foram reprogramados para não responderem a qualquer ação do piloto nos primeiros momentos. A este fator contribuinte e principal do acidente com o AA 587 chamamos de "treinamento negativo".

## 2 QUAL A GÊNESE DE UM TREINAMENTO NEGATIVO?

"*Não há nada mais inútil do que fazer eficientemente algo que não deveria simplesmente ser feito*".

(Peter Drucker, escritor, professor, consultor Austríaco - 1909/2005)

O treinamento negativo é, em quase a sua totalidade, apresentado de maneira extraoficial, sem documentação para rastreabilidades. O acidente anteriormente citado com o AA 587 foi um dos raríssimos casos em que temos um "treinamento negativo" que fazia parte de um protocolo seguido por instrutores, ou seja, documentado. A companhia estava dando intencionalmente um "treinamento negativo" aos seus tripulantes.

Uma questão que não tem uma resposta fácil é: o departamento de ensino da empresa cometeu um ERRO ou uma VIOLAÇÃO?

**Figura 1** - Erro e Violação - Fonte: ensino AIRJOB

Por que um treinamento inadequado era dado aos tripulantes da empresa, onde se simulava uma situação que não era prevista em nenhum manual do fabricante da aeronave, um cenário quase impossível apresentado aos treinandos?

Existem fortes evidências de que um dos motivos foi negligenciar a análise periódica de riscos sobre os treinamentos aprovados pela empresa.

**Figura 2** - Análise de Tolerabilidade
**Fonte:** Ensino AIRJOB

Treinamentos Negativos são falhas latentes. Você pode realizá-los por muito tempo sem que algum problema aconteça, como foi o caso do piloto da AA que teve um acidente fatal após 7 anos da aplicação de comandos de maneira agressiva em uma situação semelhante.

Certamente durante este lapso de tempo ele realizou seus treinamentos periódicos, e com o protocolo errado, sem um evento não desejável neste período. Mas o problema estava lá, latente, somente esperando a soma de outro fator contribuinte como gatilho para uma falha ativa.

No estudo de caso do AA 587, o que se esperaria do setor de ensino da companhia é que a tripulação fosse treinada para agir de forma adequada para inclinações de asas a partir de 5 graus, e não condicionada para agir com amplitudes de comandos necessárias para correção de inclinações de asas de quase 90 graus. Os comandos extremos e necessários para correção de uma inclinação de asas a quase 90 graus, não prevista pelo fabricante da aeronave, e assim não publicadas como um protocolo de treinamento, são incompatíveis para a correção de uma inclinação de asas de 5 graus.

Depois do acidente com o AA 587 a companhia mudou seu protocolo para treinamentos de turbulência de esteira.

## 3 COMO SÃO ESCRITOS OS TREINAMENTOS?

*"Talvez você não tenha a mínima chance em uma emergência complicada. Mas, se a tiver, saber o que fazer fará a diferença"*

(Antonio Mendes, CEO AIRJOB)

**Figura 3** - Objetivos dos Treinamentos Periódicos
**Fonte:** ensino AIRJOB

Treinamentos periódicos, sejam teóricos ou práticos, elevam o nível de percepção de todos os envolvidos, auxiliando na manutenção dos mais elevados níveis de proficiências individuais e de equipes.

Conforme descrito na norma ISO 10015 – Diretrizes para Treinamentos, mais especificamente em seu parágrafo 4.2, *"... Os insumos para especificação das necessidades de treinamentos devem ser extraídos do documento que contém a lista de requisitos de competência..."*

Assim, um treinamento tem que especificar, com precisão, os objetivos e resultados esperados do treinamento. Por que se treinaria algo que não é previsto, ou fora da árvore de probabilidade de acontecer?

Situações anormais e emergenciais descritas em treinamentos consideram a razão da "probabilidade" de acontecerem. Se elas tiverem uma probabilidade alta de acontecer – no caso da aviação normalmente abaixo de 1:1. 000.000 – deve-se ter protocolos de treinamentos aprovados para mitigar os possíveis resultados negativos deste evento não desejável.

A conceituação de "evento não desejável" é bem simples: aquilo que possui particularidades ou características não desejáveis.

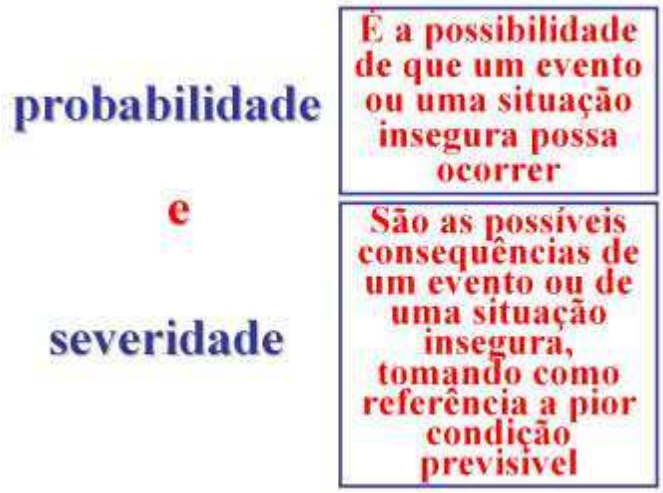



**Figura 4** - Probabilidade e severidade
**Fonte:** ensino AIRJOB

Esses protocolos de treinamentos são escritos para serem executados, com sucesso, na figura do piloto mediano. Deve-se prever uma margem de segurança para o início da reação de tripulantes quando em uma situação específica.

Ninguém vai esperar que uma aeronave esteja muito próxima de um ponto de irreversibilidade para que seus tripulantes iniciem um procedimento proativo.

E essas situações específicas são descritas pelos fabricantes, e não pelo “sentimento” e "bom senso" de instrutores.

"*Bom senso é o conjunto de regras não escritas*"

"*Para o que está escrito não cabe bom senso*"

Agindo desta maneira o índice de sucesso, quando realizados conforme protocolos aprovados, será muito próximo de 100%.

## 4 MELHORIAS EM PROTOCOLOS DE TREINAMENTOS

Na vida só existem duas maneiras de aprendizado: através do conhecimento e do sofrimento.

Quando uma política de segurança de voo falha (proatividade) nós temos o dever de entender o que aconteceu para que isso não mais se repita ou, na pior das hipóteses, mitigar a sua recorrência ao máximo (reatividade).

*“A única coisa boa que tiramos de um acidente são os seus ensinamentos!”*

*(CENIPA)*

Protocolos de padronização operacional e de treinamentos não são engessados, imutáveis. Eles podem, e devem, ser revisados, ou até criados do zero, quando um padrão operacional ou de treinamento, que até então era avaliado como o mais correto, efetivamente se mostre inadequado.

*“Quem investiga também previne!"*

*(CENIPA)*

Temos vários casos de ensinamentos tirados de relatórios de acidentes e incidentes que foram responsáveis por mudanças em protocolos operacionais e a criação de novos treinamentos como um bloqueio efetivo para a sua recorrência, em que podemos destacar o acidente com o TAM 402 (Fokker 100) e o AF 447 (Airbus).

No caso do acidente com o TAM 402, de 1996, que teve como um dos fatores contribuintes o "fator material" após a mudança no sistema elétrico dos reversores, que fez com que a probabilidade de um evento não desejável aumentasse de "1 para 1 bilhão" para "1 para 1 milhão", foram criados treinamentos para abertura do reverso na decolagem.

No caso do Air France, de 2009, o pior desastre aéreo da empresa até hoje, onde um dos fatores contribuintes foi o congelamento do sistema de tubo de ***pitot***, com a falha da indicação de velocidade, foram criados treinamentos para evitar e recuperar perda de sustentação (estol) em grandes altitudes através da aplicação de atitude na aeronave (potência e inclinação).

Esses dois estudos de caso (TAM 402 e AF447) podem ser considerados como eventos "Cisnes Negros" ruins. A "Teoria do Cisne Negro", escrita por Nassim Nicholas Taleb, é um best-seller lançado em 2007 nos Estados Unidos que trata de eventos totalmente imprevisíveis, com uma probabilidade ínfima de ocorrer, porém capazes de alterar completamente algo, trazendo consequências boas ou ruins no cenário no qual são inseridos. O evento 'Cisne Negro" pode ser definido por três características: imprevisível, impactante e passível de explicações apenas após acontecer.

A título de ilustração de um evento "Cisne Negro" bom, temos a descoberta da penicilina, que nada mais é que uma substância com efeito bactericida produzido por um fungo que foi descoberta acidentalmente em 1928 por Alexander Flemming, que saiu de férias e esqueceu algumas placas com cultura de microorganismos em seu laboratório e, quando de sua volta, reparou que uma de suas culturas de Staphylococus tinha sido contaminada por um bolor, e não haviam mais bactérias em volta das colônias. O bolor era o fungo produtor da penicilina, e revolucionou a medicina.

Como um exemplo de "Cisne Negro" ruim, destacamos o da Kodak que, de maior empresa de fotografia do planeta, solicitou a sua falência em 2012 por causa do advento da fotografia digital, que foi inventada pela própria Kodak.

Na aviação, pela sua complexidade e necessidade de aceitação de alguns perigos e seus respectivos riscos, o "Cisne Negro" ruim pode ocorrer. Como são difíceis de prever, ninguém mantém uma estrutura todo o tempo para atuar quando necessário para combater o advento de um "Cisne Negro" ruim. Assim, é de fundamental importância reportarmos situações de perigo, ou de potencial perigo, quando as visualizamos, pois isso permitirá criarmos barreiras contra "Cisnes Negros" na atividade aérea através de "treinamentos positivos".

## 5 COMO COMBATEMOS TREINAMENTOS NEGATIVOS?

*"Você voa como treina ou treina como voa?"*

*(Antonio Mendes Neto, CEO AIRJOB)*

### 5.1 Pela padronização de instrutores

A primeira ferramenta para o combate a "treinamentos negativos" é pela padronização de instrutores através de protocolos de treinamentos a serem seguidos em sua íntegra e sequência.

*" Padronização é o instrumento que indica a meta (FIM) e os procedimentos (MEIOS) para execução de um trabalho, de tal maneira que qualquer pessoa tenha condições de atingir as metas predefinidas" (Campos, 2001)*

Temos que treinar conforme os protocolos aprovados do fabricante da aeronave, que são definidos após todos os ensaios de voo finalizados daquela aeronave.

"*E se...*"; "*Se algo der errado faremos assim...*"

Dentro desta padronização de instrutores ressaltamos a importância da cobrança da utilização do *briefing* e do *de-briefing* em processos de treinamentos. O *briefing* eleva o nível de percepção e consciência situacional tanto do instruendo como do instrutor e - o mais importante - como é neste momento que o instrutor declara o que vai ser treinado, como deve ser executado e qual a reação que ele espera do treinando, não existe a possibilidade de o instrutor solicitar algo que não esteja previsto em protocolos aprovados de treinamentos. Vamos lembrar o que foi dito anteriormente neste artigo: o treinamento negativo é, em quase a sua totalidade, apresentado de maneira extraoficial, sem documentação para rastreabilidades. No *debriefing* temos a oportunidade de comentar os resultados após o treinamento, o que permite tanto a melhora do instruendo como possíveis melhoras em protocolos aprovados de treinamentos.

Nossas estatísticas em auditorias de segurança de voo entre 2005 e 2017 mostram que, em um universo de 36 protocolos de treinamentos auditados, 47% deles previam *briefing* e somente 14% previam *debriefing*. Para que possamos ter um melhor aproveitamento e entendimento em um treinamento, colaborando efetivamente para bloquear possibilidade de um "treinamento negativo", todos devem prever *briefing* e *debriefing*.

**Figura 5** - Resultados esperados em Auditorias Periódicas
**Fonte:** ensino AIRJOB

5.2 Pela seleção de instrutores e checadores com requisitos mínimos desejáveis

Não se deve escolher instrutores e checadores considerando somente a sua experiência. Deve haver uma análise entre a relação "experiência e proficiência", onde a proficiência sempre deve ser priorizada para a eleição de instrutores e checadores. É sempre bom lembrar que você nunca perderá a sua experiência, ela é eterna. Mas se você deixar de treinar periodicamente certamente perderá uma boa parte de sua proficiência, independente de quanto experiente você seja. Experiência é algo que se adquire através do tempo. Proficiência é algo que temos que manter através de reciclagens periódicas.

5.3 Pelo instruendo

Todo instruendo deve se negar a fazer algo que é declarado como proibido pelo fabricante da aeronave, sem medo de retaliações. A política de segurança de voo da empresa/organização deve incentivar a assertividade de um instruendo em dizer "não" a uma solicitação indevida, que vai de encontro ao publicado em manuais de voo da "aeronave escopo" do treinamento.

5.4 Através da realização de Auditorias Periódicas de Conformidades

A análise de riscos deve ser constante dentro da atividade aérea. Realizar periodicamente Auditorias de Segurança de Voo é uma das mais efetivas ferramentas para se gerenciar riscos em protocolos de treinamentos, pois elas auxiliam na identificação proativa de falhas latentes, tendo a oportunidade de recomendar ações para bloqueá-las efetivamente.

**Figura 6:** Análise de Falha
**Fonte:** ensino AIRJOB

Treinamentos negativos não detectados podem formar uma "Cultura Organizacional Negativa", que é tão grave quanto o simples treinamento negativo, pois pode induzir a análise de que em um evento não desejável houve um ERRO e não uma VIOLAÇÃO.

As Auditorias de Segurança de Voo figuram, sem dúvida, como uma grande aliada para confirmar que treinamentos estão sendo realizados conforme publicados, cumprindo todas as normas e protocolos aprovados, evitando -assim - um possível "treinamento negativo" latente.

Além das Auditorias de Segurança de Voo, a análise constante de reportes de segurança de voo (internos ou não) e de relatórios de acidentes e incidentes auxiliam na melhoria de protocolos de treinamentos.

## 6 CONCLUSÃO

Departamentos de ensino devem ter como política a aprovação de treinamentos que especifiquem, com precisão, os seus objetivos e resultados esperados após a sua aplicação.

Este deve ser o 1o parágrafo declarado em um protocolo de treinamento aprovado,

"*Objetivo do treinamento: cumprir com .....*", seja ele um requisito do fabricante, de norma de Estado seja de uma particularidade operacional da empresa ou organização.

Cabe lembrar que, para o caso de uma particularidade operacional, este protocolo deve ser apresentado ao fabricante da aeronave para seu conhecimento e devida "aceitação" e/ou "nada contra" como um protocolo personalizado de treinamento.

Uma política de identificação, eleição e avaliações periódicas de instrutores / checadores deve estar documentada, aprovada e disponível para consulta de todos os seus colaboradores.

Os instruendos devem ser incentivados a serem assertivos durante treinamentos quando tiverem dúvidas de algo solicitado, incluindo os treinamentos realizados por contratados (terceirizados).

Manter e aplicar uma política de gerenciamento de riscos que avalie, periodicamente, protocolos de treinamentos aprovados e *file records* de treinamentos realizados é uma excelente prática para se combater “treinamentos negativos”.

Auditorias de Segurança de Voo são, por definição, processos sistemáticos, documentados e independentes que obtêm evidências e as avaliam objetivamente para determinar a extensão na qual critérios normativos, de contrato e de qualidade estão sendo atendidos. Elas têm como objetivo demonstrar e confirmar que todos os requisitos específicos, relativos a uma atividade aérea, estão sendo atendidos, através de evidências, constatações, entrevistas, registros e apresentação de fatos pertinentes.

Em relação a prestadores de serviços de treinamentos (fornecedores), a eficácia, integridade do sistema da qualidade e conformidades de serviços prestados deve ser avaliada periodicamente, a fim de se reduzir a vulnerabilidade de contratante desses serviços.

"Treinamentos Negativos" acontecem por violação, onde instrutores extrapolam os objetivos de treinamentos periódicos.

Se todos os treinamentos tiverem protocolos devidamente aprovados, publicados, disponibilizados, e auditados periodicamente, bloquearemos efetivamente os "treinamentos negativos" por erro, pois a falta de informação não será aplicável, sobrando somente uma violação. E, neste caso, deve haver uma punição, pois violação é crime.

Não existe nenhuma razão para que "treinamentos negativos" façam parte de qualquer política de segurança de voo, muito menos pela afirmação "*deixa eu lhe mostrar como eu faço*".

## AGRADECIMENTOS

A todos os colaboradores da divisão de ensinos da AIRJOB Auditores e Consultores Independentes, pela disponibilidade de recursos e tempo no auxílio da organização deste trabalho.

**REFERÊNCIAS**

American Airlines Flight 587, Disponível em: <**https://www.en.wikipedia.org/wiki/American_Airlines_Flight_587**> Acesso em 8 Mar 2018, 09:00.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 10015 – Gestão da Qualidade – Diretrizes para treinamento, Disponível em: <**www.abnt.org.br**> Acesso em 12 Abr 2018, 15:00.

DRUCKER, P.F, Disponível em: <**https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Peter_Drucker**> Acesso em 5 Mai 2018, 10:00.

LARANJEIRA, F. Conclusões sobre o voo AF 447. **Aero Magazine, nº 219, ago 2012.**

SILVA, J.T. Tragédia no voo 402 da TAM, Disponível em: <**www.desastresaereos.net/acidente_tam_402_o_laudo.htm**> Acesso em 17 Abr 2018, 15:00.