
HARD LANDING: UM PROBLEMA DOS MENOS EXPERIENTES?

Guido Carim Júnior¹

¹ Professor na *Griffith University*, Departamento de Aviação, onde leciona e pesquisa sobre segurança da aviação. Seu trabalho é influenciado por sua experiência como piloto de linha aérea e especialista em fatores humanos. g.carimjunior@griffith.edu.au

RESUMO: *Hard landing*, ou pouso duro (em tradução livre), é um evento de segurança no qual a aeronave toca o solo com velocidade de descida acima do desejado, resultando em um toque brusco e posterior necessidade de ação de manutenção. Em casos mais extremos, pode haver rompimento da fuselagem, estouro do pneu e danos aos passageiros. Como solução comum, as empresas aéreas recorrerem a políticas que limitam a operação em determinados aeroportos ou condições ao comandante. Isso ocorre porque se assume que o comandante tem mais experiência em evitar *hard landings*. No entanto, esse pressuposto ainda não foi validado. Sendo assim, este artigo objetivou analisar quantitativamente se a ocorrência de *hard landing* é diretamente relacionada à operação dos pilotos menos experientes. Para tanto, foram utilizadas tabelas de contingência, aplicação do teste Qui-Quadrado e teste-T. Os resultados mostram que não há qualquer evidência que a função do piloto é determinante para a ocorrência do *hard landing*. O artigo ainda sugere uma possível associação entre a ocorrência do evento e o aeroporto e a configuração de pouso da aeronave.

PALAVRAS-CHAVE: Pouso duro. Análise de segurança. FOQA. Experiência. Aviação.

HARD LANDING: A LESS EXPERIENCED ONES' PROBLEM?

ABSTRACT: Hard landing is a safety event in which the aircraft touches the ground with descent speed above the effort, seeking a rough touch and subsequent need for maintenance action. In more extreme cases, it can cause fuselage damage, tire blowout and damage to passengers. As a common solution, airlines operate on policies that limit airport operation or conditions to the captain. This is because the commander is assumed to have more experience in avoiding forced landings. However, this has not yet been validated. Therefore, this objective can be analyzed if the occurrence of forced landing is directly related to the operation of less experienced pilots. For that, contingency tables, application of the Chi-Square test and T-test were used. The results show that there is no evidence that the pilot's role is decisive for the occurrence of forced landing. The article also suggests a possible association between the occurrence of the event and the airport and the landing configuration of the aircraft.

KEYWORDS: Hard landing. Safety analytics. FOQA. Experience. Aviation.

1 INTRODUÇÃO

Entre as diversas fases de voo, o pouso é considerado a manobra mais difícil para o piloto. Mais especificamente, o *flare*, parte do pouso na qual o piloto conduz a aeronave para tocar no solo, é a fase do pouso mais difícil para os pilotos, segundo

levantamento de Benbassat e Abramson (2002). O objetivo do arredondamento é fazer com que aeronave reduza a velocidade de descida e aumente a atitude para realizar um toque com menor velocidade vertical, atitude suficiente para evitar o toque precoce do trem de pouso do nariz e o contato da cauda com o solo. Conseqüentemente, o impacto nos trens de pouso será o menor possível.

Caso a velocidade vertical seja elevada (geralmente acima de 1.000 pés por minuto), há possibilidade de o pouso ser mais brusco. Se ultrapassar limites toleráveis, o evento é considerado como pouso duro (*hard landing*) e, dependendo de quanto do limite foi ultrapassado, são necessárias inspeções para verificar se houve avarias no trem de pouso e na fuselagem. Em casos extremos, a fuselagem pode seccionar e a estrutura do trem de pouso colapsar.

Em um levantamento feito pela Flight Safety Foundation (2004), entre os anos de 1993 e 2002, os acidentes devido a *hard landings* foram maiores do que aqueles tradicionalmente ocorridos, como saídas de pista e colisão controlada com o solo (CFIT). Apesar de sua incidência, geralmente os eventos de *hard landing* resultam em danos significativos às aeronaves, mas pouco a nenhuma lesão às pessoas a bordo.

As empresas monitoram esse tipo de evento de segurança por intermédio de um programa de monitoramento das operações. Mais conhecido no meio aeronáutico como Flight Operations Quality Assurance (FOQA), esse programa consiste na coleta e análise de diversos parâmetros da aeronave para verificar se os limites estabelecidos pela empresa foram ultrapassados (FLIGHT SAFETY FOUNDATION, 1998).

No caso do *hard landing*, as empresas monitoram a desaceleração no eixo vertical utilizando como referência a força gravitacional (g) a partir do acelerômetro que se encontra entre os trens de pouso principal da aeronave. Os parâmetros de limite variam de acordo com o peso da aeronave, numa relação inversamente proporcional.

Os limites para definir um evento de *hard landing* estabelecem três regiões de tolerabilidade que demandam ou não ações de inspeção. Na região 1, não há necessidade de inspeção, pois o primeiro limite não foi ultrapassado. Se esse limite foi ultrapassado, mas ficou abaixo do segundo limite, há necessidade de uma simples inspeção. Por último, caso o limite máximo tenha sido excedido, é preciso uma inspeção mais aprofundada, ação essa que requer ferramentas especiais, local específico, pessoal especializado, além da interrupção da programação da aeronave. Todos esses fatores fazem com que só o custo de inspeção chegue a dezenas de milhares de reais. Caso haja algum dano na estrutura do trem de pouso ou da fuselagem, esse custo pode subir mais

de 20 vezes. Há ainda a possibilidade de o evento ser considerado como acidente e ser investigado.

Uma das propostas para evitar a ocorrência de *hard landing*, proposta pela empresa aérea no qual o estudo foi realizado, consiste em limitar a operação dos pilotos menos experientes em alguns aeroportos considerados críticos e mais prováveis para a ocorrência do evento. Com isso, é esperada redução no índice, que hoje é de 6 ocorrências mensais, em média.

De acordo com Hollnagel (1993; 2004), quando há um evento de segurança, geralmente as empresas propõem soluções mais simples e baratas, como regras e procedimentos. Todas elas possuem como pressuposto limitar a possibilidade de ação dos operadores para, assim, evitar a ocorrência do dano.

Nesse sentido, alguns autores consideram que essa abordagem é limitada, reduzida a uma análise simplista e direcionada para atribuir a responsabilidade àqueles menos experientes, pois assume a existência de relação entre a ocorrência do evento indesejado e inexperiência dos pilotos. Dekker (2002) chama essa abordagem de teoria da “maçã podre”, no sentido de reduzir qualquer falha em uma organização ao comportamento errático de algumas pessoas específicas. Para manter a organização sempre segura, basta segregar os indivíduos nocivos para evitar que seu comportamento indesejado se propague para outras pessoas.

Por outra abordagem, Dekker (2002) entende que qualquer evento indesejado deve ser analisado mais profundamente, para entender quais são os mecanismos sistêmicos que contribuem para sua existência. O erro dos operadores passa a ser o ponto de partida da investigação para, posteriormente, propor medidas corretivas de longa duração e realmente efetivas. Portanto, o evento de *hard landing* teria raízes mais profundas na empresa, não sendo limitada simplesmente pela operação dos copilotos.

A partir do contexto apresentado, esse estudo tem como objetivo avaliar se há relação direta entre a função do piloto (comandante ou copiloto) e a incidência de *hard landing*. O primeiro pressuposto a ser testado é de que não há relação entre a ocorrência de *hard landing* (ou o valor máximo de força “G” durante o pouso) e a aterragem ter sido realizada por copilotos. O segundo pressuposto a ser confirmado sugere que o *hard landing* pode estar relacionado a outros fatores que não a função dos pilotos ou o aeroporto operado.

2 O POUSO, *FLARE* E *HARD LANDING*

De acordo com as normas, e como meio de padronização, a fase do voo chamada de pouso inicia quando a aeronave cruza a cabeceira da pista a 50 pés, com velocidade de referência, inicia o arredondamento e toque na pista, até a parada completa. Essa definição é utilizada para delimitar o cálculo de pista necessário para pouso, mas acaba sendo útil para outros contextos.

Para o National Transportation Safety Board (NTSB), órgão norte-americano responsável pelas investigações de acidentes ocorridos no sistema de transporte, todo evento no qual houve um contato anormal com alta velocidade vertical da aeronave com a pista é chamado de *hard landing* (FLIGHT SAFETY FOUNDATION, 2004). No contexto do pouso, portanto, o *hard landing* ocorre justamente no contato das rodas da aeronave com a pista, momento esse chamado de *flare* e *touchdown*.

Ao cruzar a cabeceira, a aeronave ainda está com alguma potência sendo desenvolvida pelos motores e sua velocidade é, pelo menos, igual à velocidade de aproximação (V_{app}). Em determinada altura, varia conforme diversos parâmetros, o piloto inicia o movimento de trazer o manche para trás de modo a aumentar a atitude da aeronave e reduzir a velocidade vertical, diminuindo também a potência da aeronave. Nesse instante, a aeronave tem sua velocidade vertical e a velocidade horizontal reduzidas, fazendo com que a transição do voo para o solo seja a mais suave possível.

Durante a realização do *flare*, os pilotos utilizam diversos elementos visuais, além da expectativa de tempo para o toque da aeronave com a pista. A análise desses em conjunto serve como referência para que os pilotos possam gradativamente modificar a atitude da aeronave em relação ao horizonte, aumentando-a até certo limite e mantendo-a até o toque dos trens de pouso principal e, em seguida, do trem de pouso do nariz (MULDER et al., 2000; GROSZ et al., 1995; RINALDUCCI et al., 1985; RIORDAN, 1974).

Como não é possível reproduzir com fidelidade essas condições nos simuladores, os pilotos são instruídos para uma adequada realização do *flare* durante a instrução em voo real. Inicialmente com auxílio do instrutor e, posteriormente, utilizando-se de tentativas e erros, os pilotos adquirem experiência no pouso da aeronave e calibram sua percepção quanto ao momento ideal para realizar o *flare*, à força que precisam aplicar no manche e ao momento em que a potência será reduzida.

Na maioria das empresas, o *hard landing* é determinado segundo dois padrões: percepção subjetiva do piloto e os dados de desaceleração no eixo vertical tomando

como base a aceleração gravitacional (G) indicada pelo acelerômetro (FLIGHT SAFETY FOUNDATION, 2004).

No primeiro caso, a partir da percepção dos pilotos, o comandante reporta a suspeita de *hard landing* em um documento da aeronave, chamado de *Technical Logbook* (TLB), para que a manutenção possa coletar os dados sobre a variação de aceleração no eixo vertical por meio de um computador durante o período de trânsito da aeronave. Essa informação é registrada por meio de um acelerômetro que se encontra no centro de massa da aeronave, aproximadamente entre os trens de pouso principais. Caso tenha havido variação dos limites, é necessário realizar inspeção na aeronave para verificar se houve danos ou rachaduras na fuselagem e trem de pouso.

Já houve relatos nos quais a manutenção achou rachaduras no trem de pouso durante as verificações de rotina, apesar de a tripulação não ter reportado o pouso duro. Tal fato foi corroborado pela análise dos dados de desaceleração. Por esse motivo, a maior parte das empresas aéreas monitora todos os voos de sua frota coletando as informações de diversos parâmetros.

O programa de monitoramento de voos, mais comumente chamado de FOQA, em sua essência, envolve a coleta e análise de diversos dados de voo para verificar se pilotos, sistemas e a própria aeronave se desviaram de limites estabelecidos pelos padrões da empresa e analisar tendências. O objetivo é monitorar, a partir dos parâmetros gravados, como o voo foi conduzido e como a aeronave ou seus sistemas se comportaram.

O dispositivo utilizado para gravar os dados é conhecido como QAR e é removido a cada dois dias pelos técnicos de manutenção. Esse dispositivo retira os dados de uma unidade da aeronave, a mesma que alimenta os dados do FDR, porém com cerca de 2.500 parâmetros, cerca de 2.000 parâmetros a mais do que o gravador de dados de voo.

Em seguida, o cartão é inserido em um computador que disponibiliza os dados em rede segura para que o analista, remotamente, insira os dados no *software*. Esse programa faz a leitura de cada segundo de voo realizado pela aeronave, identificando se houve desvios em relação aos limites estabelecidos pela empresa aérea. Os limites geralmente refletem os parâmetros constantes nos manuais de operação da empresa e que devem ser seguidos pelos pilotos (FLIGHT SAFETY FOUNDATION, 1998).

Além da função de monitoramento da qualidade e dos riscos associados às operações das aeronaves, os dados provenientes do FOQA têm se mostrado relevantes

na análise dos voos por meio de dados quantitativos. Apesar de a análise de tendência ser uma das funções do FOQA, poucas são as aplicações desses dados juntamente com análises estatísticas. Dessa forma, ainda é um desafio relacionar os objetivos dos estudos com os dados coletados e os testes estatísticos selecionados (INSIGHTFUL CORPORATION e JET BLUE AIRWAYS INC, 2004).

No caso do *hard landing*, o limite adotado pela empresa onde o estudo foi realizado é o mesmo indicado pelo fabricante da aeronave. Do menor até o maior peso possível para pouso, o limite da desaceleração vertical varia de 1.8 g a 2.2g. Portanto, toda vez que o *software* identificar que a desaceleração vertical durante o pouso ultrapassou esses valores, ele registra um evento. O papel do analista de FOQA é validar ou não esses eventos, pois há situações onde não houve leitura correta dos dados ou o máximo de desaceleração registrado não ocorreu no toque, tendo sido influenciado por outros fatores, como, por exemplo, rajadas de vento durante a aproximação. Os eventos validados são encaminhados aos pilotos que devem registrar em um relatório sua percepção sobre a ocorrência.

Apesar da rica quantidade de dados, é possível saber somente a visão da aeronave sobre o que ocorreu (HELMREICH, MERRITT e WILHELM, 1999), e não o contexto no qual ela estava inserida. Por isso, em algumas situações, são realizadas entrevistas ou solicitados relatórios aos pilotos para que os dados tenham significância.

3 FLARE: UMA QUESTÃO DE QUEM OU DE QUÊ?

Pelo fato de o *flare* não ser realizado de modo automático (há possibilidade, mas não é aplicável ao contexto brasileiro), a manobra depende da habilidade manual do piloto. Tal fato cria a impressão, para passageiros inclusive, de quão o pouso duro depende do comandante ou copiloto.

No senso comum, quem tem menos prática de pouso, terá maiores valores de “G”. Ou seja, os copilotos estariam mais propensos a realizar pousos mais duros do que os comandantes, devido à diferença de experiência. Entretanto, tal senso é contestado por Loukopolus, Dismuke e Barshi (2009), que defendem a tese de que aqueles que possuem grande conhecimento sobre a aeronave, os quais geralmente ocupam o cargo de comandante, tendem a ser mais vulneráveis a eventos de segurança, pois possuem a capacidade de levar a aeronave aos limites operacionais e, por vezes, ultrapassá-los, reduzindo a quantidade de recursos utilizados (menos tempo, menos combustível, etc.).

Em algumas situações, a margem de segurança é estreita o suficiente para que qualquer evento externo e não previsto cause um desconforto às operações.

Os mais novos, por sua vez, tendem a seguir estritamente o que os manuais prevêm, garantindo grandes margens de segurança. O lado negativo é que eles possuem capacidade limitada de improvisar, fato necessário sempre que as situações apresentadas são diferentes das treinadas ou especificadas em manuais e boletins.

Atribuir única e exclusivamente as causas de eventos de segurança ao erro humano tem sido tradição na gestão da segurança na aviação. Como resultado, as recomendações focam em mais treinamento e mais procedimentos, além de discussões de como repassar determinadas funções delegadas aos pilotos para as máquinas. Dekker (2002) chama essa abordagem de visão antiga sobre erro humano.

De acordo com o autor, é precisa uma mudança sobre como entendemos e lidamos com os erros humanos. A nova visão do erro humano estabelece os fatores sistêmicos como causas dos eventos de segurança e acidentes aeronáuticos, dos quais resultam condições indutivas ao curso das ações realizadas pelos pilotos, (DEKKER, 2005). Nessa perspectiva, as organizações são vistas como inerentemente inseguras, independente das medidas de segurança e da gestão adotada. De tempos em tempos, novas relações não lineares e imprevistas, a influência do meio externo e as características de acoplamento criam situações que a própria organização na sabia ser possível de existir (PERROW, 1984).

4 METODOLOGIA

O estudo foi realizado em uma empresa de transporte aéreo regular que opera somente voos nacionais, incluindo aeroportos regionais. O estudo limitou-se às aeronaves Embraer E190/195 em razão da quantidade de eventos registrados nesse modelo de aeronave.

O presente estudo pode ser caracterizado como quantitativo, uma vez que está baseado na aplicação de ferramentas estatísticas para testar as hipóteses. Os resultados são interpretados e complementados por dados originados de técnicas qualitativas de coleta de dados. O estudo foi dividido em três partes: 1) coleta e tratamento de informações quantitativas a partir de um *software* de monitoramento das operações de voo; 2) aplicação de testes estatísticos nos dados coletados; 3) análise conjunta dos resultados.

Os dados foram coletados do programa de monitoramento de voo da empresa. As variáveis coletadas para cada voo foram: dia, mês, ano, hora do pouso, turno (dia ou noite), tipo de aeronave (E195 e E190), aeródromo (46 no total; por exemplo, SDU representa o Aeroporto Santos Dummont, no Rio de Janeiro, segundo o código IATA), configuração para pouso (5 ou 6), função do piloto que estava operando (comandante ou copiloto), desaceleração do eixo vertical no pouso em “G” (maior valor da desaceleração no eixo vertical detectada pelo acelerômetro da aeronave medida em quantidade de unidades da aceleração gravitacional).

Para adequar essa última variável aos teste estatísticos, ela foi transformada em variável dicotômica (ocorrência ou não de *hard landing*) e outra, com 4 categorias (1.0-1.5, 1.5-1.8, 1.8-2.0 e 2.0-2.3), representa, aproximadamente, os limites toleráveis de *hard landing*, apesar de haver variações conforme o peso da aeronave.

Todas as variáveis utilizadas no estudo não mudam com o tempo, exceto a desaceleração do eixo vertical. Por isso, foi considerado somente o maior valor desse último parâmetro. Não necessariamente o maior valor é aquele registrado durante o primeiro toque da aeronave no solo. Às vezes, há um segundo ou até mesmo terceiro toque da aeronave na pista, o que pode gradativamente aumentar o valor da desaceleração.

Há uma grande dificuldade em adquirir, de modo simples e fácil, informações sobre quem realizou o pouso da aeronave. Essa informação não se encontra disponível eletronicamente, apenas em um documento preenchido pelos pilotos ao final do voo e entregue ao setor de estatística da empresa.

O diário de bordo contém, entre outras informações, quem realizou o pouso da aeronave. Obter essa informação para cada voo realizado pela empresa é inviável. Dessa forma, foi necessário encontrar outra alternativa.

Inicialmente foi preciso testar um dos parâmetros provenientes do FOQA, chamado de “pdfsel”. Esse parâmetro é resultado da seleção dos pilotos na cabine de pilotagem por meio de um botão “SRC” (Source) que indica se a operação daquela etapa de voo é de quem está sentado na esquerda ou direita.

Por convenção, na aviação civil mundial, quem está sentado na cadeira da esquerda é o comandante e na direita o copiloto. Só há uma situação no qual quem está sentado na direita pode não ser o copiloto: quando há um segundo comandante.

Na empresa onde o estudo foi realizado, isso ocorre quando quem está na direita é o instrutor (situação comum) ou quando não havia copiloto para realizar o voo

(situação rara). Em caso de instrução ou avaliação pelo comandante instrutor, sempre quem realiza os pousos é o comandante em instrução ou em avaliação.

O problema de utilizar esse parâmetro é a possibilidade de ele não indicar realmente quem estava operando. Dessa forma, foi feita uma verificação da compatibilidade dos dados do parâmetro com o diário de bordo. Nele, entre outros dados, é preciso informar quem em termos de função, realizou o pouso.

Foram selecionados, de forma aleatória, 116 voos, representando 1,34% dos voos realizados em determinado mês pelos jatos da empresa. Descartando os voos cujas informações sobre quem estava operando não pode ser aproveitada (n=13), em 95% dos 103 voos houve compatibilidade entre a informação proveniente do parâmetro “pdfsel” com o registrado pelos pilotos nos diários de bordo. Tal constatação justificou a utilização dos dados provenientes do parâmetro como referência na determinação de quem realizou o pouso devido ao seu alto grau de confiabilidade.

Na segunda parte do trabalho, aplicação dos métodos estatísticos, inicialmente os dados foram organizados em uma tabela de contingência e analisados segundo o teste de Qui-Quadrado.

Esse teste não-paramétrico é utilizado para comparar proporções, verificando o nível de divergência entre as frequências esperadas e observadas. Foram consideradas as seguintes hipóteses: H0= não existe associação entre as variáveis e H1= há associação entre as variáveis.

A hipótese nula será rejeitada se o nível de significância da análise estatística (p) for menor que 0.05 ($p \leq 0,05$), sugerindo uma associação entre as variáveis. Entre os requisitos necessários para aplicar o teste, os valores esperados para cada célula foi maior do que 5 ou o número total de indivíduos é maior do que 25 (KENNY, 1987).

O teste foi aplicado em 5 diferentes situações para verificar a possibilidade de associação entre as variáveis: a) função do piloto e ocorrência de *hard landing*; b) função do piloto e desaceleração do eixo vertical no pouso em “G” em 4 categorias; c) aeroporto de pouso e desaceleração do eixo vertical no pouso em “G” em 4 categorias; d) configuração para pouso e desaceleração do eixo vertical no pouso em “G” em 4 categorias.

O teste-T ainda foi aplicado para complementar os dados coletados. Esse teste é aplicável às situações nas quais se procura comparar as médias de duas distribuições normais para dados pareados, da mesma população. No contexto do estudo, pressupõe que as distribuições dos máximos valores de “G” durante o pouso operado pelos

copilotos são iguais ao dos comandantes. Como hipótese nula, a função do piloto que realizou o pouso não faz efeito sobre os valores de “G”. Já a hipótese alternativa é de que há diferenças entre a média de valor de “G” entre copilotos e comandantes. A hipótese nula será rejeitada caso o nível de significância for menor que 0,05, sugerindo que os desvios-padrões não são iguais, ou seja, há diferença significativa entre as médias do “G” entre copilotos e comandantes (KENNY, 1987).

Os dados referem-se a uma amostra de voos realizados no período de 1 de março a 31 de março de 2013. Para a aplicação dos testes Qui-Quadrado, considerando todas as situações propostas, e para a aplicação do test-T, foram selecionados aleatoriamente 5.806 voos, representando 65,7% do total de voos realizados somente pelo modelo Embraer no mesmo período (n=8.843).

Apenas na aplicação do teste Qui-Quadrado para a situação “a” os dados selecionados foram menores, cerca de 12,9% (n=1.137). Isso se deve à limitação do programa de análise dos voos que disponibilizou muitos valores em aberto referentes à validação da ocorrência ou não de *hard landing*. Todos os testes estatísticos foram aplicados por meio do *software* estatístico SPSS 18.0®.

5 RESULTADOS

5.1 Primeiro pressuposto: não há relação entre o evento e a operação de copilotos

A partir da primeira tabela de contingência apresentada, é possível verificar que houve mais operações de copilotos do que de comandantes em cerca de 25 operações. Entretanto, verifica-se que há mais operações de pouso pelos copilotos que não resultaram em *hard landing*.

Apesar de menos operações totais, os comandantes tiveram maior incidência de *hard landing* do que os copilotos (2,1% do total).

O teste Qui-Quadrado aplicado nos dados mostrou que a hipótese nula foi rejeitada, pois o nível de significância foi maior do que 0,05 ($p=0,445$), sugerindo que não há associação entre a função do piloto durante o pouso e a ocorrência de *hard landing*. Tal resultado corrobora o primeiro pressuposto do trabalho.

Tabela 1- Tabela de contingência com as variáveis função do piloto e ocorrência de *hard landing* (AUTOR, 2021).

Função do Piloto	Ocorrência de <i>hard landing</i>				Total	
	0 (não)		1 (sim)		N	%
	N	%	N	%		
Comandante	532	46,8%	24	2,1%	556	49%
Copiloto	561	49,3%	20	1,8%	581	51%
Total	1093	96,1%	44	3,9%	1137	100%

Os dados anteriores são corroborados pelos dados apresentados na Tabela 2, na qual foram dispostas as variáveis função do piloto e categoria de *hard landing*. De acordo com os dados, 99,7% das operações resultaram em desaceleração de, no máximo, 1.8, valor considerado como aceitável pelo fabricante para a maioria dos pesos considerados na determinação do limite máximo.

Acima disso, onde houve apenas 0,3% de todos os pousos. Quando dividido entre as funções dos pilotos, a porcentagem de operações ficou muito próxima entre comandantes e copilotos: aproximadamente 0,15% para cada.

A partir do teste Qui-Quadrado é possível afirmar com nível de 95% de certeza de que não há indícios de associação entre as variáveis. Desse modo, tanto comandantes como copilotos possuem relativamente a mesma quantidade de pousos com valor de “G” baixos e altos.

Tabela 2 - Tabela de contingência com as variáveis função do piloto e máximo valor de “G” em categorias (AUTOR, 2021).

Função do Piloto	Desaceleração no eixo vertical (G)								Total	
	1.0-1.4		1.4-1.7		1.7-2.0		2.0-2.3		N	%
	N	%	N	%	N	%	N	%		
Comandante	2254	38,8%	513	8,8%	8	0,1%	1	0,0%	2776	47,8%
Copiloto	2574	44,3%	449	7,7%	5	0,1%	2	0,0%	3030	52,2%
Total	4828	83,1%	962	16,6%	13	0,2%	3	0,1%	5806	100,0%

Apesar dos dados anteriores, o teste-T sugere a rejeição da hipótese nula. O teste encontrou diferenças significativas entre as médias dos valores máximos de “G” dos copilotos e comandantes, com um nível de significância menor que 0,05. A média de “G” calculada pelo teste foi de 1.41 e 1.40 para comandantes e copilotos,

respectivamente. Ainda que o teste sugira uma possível diferença entre o desvio padrão, os dados mostram que, em média, o valor da desaceleração no eixo vertical dos pousos praticados por copilotos é 0,01 menor do que os praticados pelos comandantes.

Os dados apresentados sugerem que o pressuposto deste trabalho seja válido, tendo em conta que não há evidências conclusivas sobre a relação entre a ocorrência de *hard landing* e a função do piloto. Os dois primeiros testes sugerem falta de associação entre as variáveis e o segundo sugere uma possível diferença entre as médias de “G” de comandantes e copilotos. Ainda que tal fato tenha sido constatado, a média do valor de “G” dos copilotos foi ligeiramente menor do que a dos comandantes.

5.2 Segundo pressuposto: há relação entre o evento e outros fatores externos

O teste Qui-Quadrado mostrou que há possibilidade de associação entre as variáveis aeroporto e valor máximo de “G”, com nível de significância menor do que 0,05 ($p=0,00$). Tal informação pode sugerir que as características operativas de cada aeroporto, bem como as características físicas das pistas, podem influenciar no maior ou menor valor de “G” ocorrido durante o pouso.

De acordo com a tabela de contingência (Tabela 3), dos 46 aeroportos considerados na análise, sete apresentaram frequências maiores do que aquelas previstas pelo teste, sendo eles: Porto Seguro (BPS), Caxias do Sul (CXJ), Florianópolis (FLN), Goiânia (GYN), Porto Alegre (POA), Campinas (VCP) e Vitória (VIX). Uma possível explicação para esse resultado reside nas características físicas da pista de pouso desses aeroportos, pois em Campinas e Goiânia, por exemplo, há diferenças na altura da pista ao longo de sua extensão, podendo influenciar no toque mais duro da aeronave com o solo; tamanho de pista disponível e características das elevações ao redor do aeródromo, que podem influenciar no vento sobre a aeronave e a decisão do piloto de realizar um pouso logo no início da pista para ter maior distância para parar a aeronave, como ocorre em Porto Seguro, Caxias do Sul e Vitória. O grau de exposição em determinados aeroportos é maior do que em outros devido a características operacionais da empresa, pois a maior parte dos voos tem origem e destino em Porto Alegre e Campinas.

Tabela 3 - Tabela de contingência com as variáveis aeroporto e máximo valor de “G” (AUTOR, 2021).

Aeroporto	Desaceleração no Eixo Vertical (g)								Total	
	1.0-1.5		1.5-1.8		1.8-2.0		2.0-2.3			
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
AJU	34	0,6%	6	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	40	0,7%
ATM	0	0,0%	1	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	0,0%
BEL	75	1,3%	8	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	83	1,4%
BPS	17	0,3%	6	0,1%	1	0,0%	0	0,0%	24	0,4%
BSB	120	2,1%	18	0,3%	0	0,0%	0	0,0%	138	2,4%
CGB	100	1,7%	28	0,5%	0	0,0%	0	0,0%	128	2,2%
CGH	3	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	3	0,1%
CGR	56	1,0%	4	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	60	1,0%
CKS	25	0,4%	6	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	31	0,5%
CLV	4	0,1%	1	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	5	0,1%
CNF	533	9,2%	84	1,4%	1	0,0%	0	0,0%	618	10,6%
CWB	243	4,2%	66	1,1%	0	0,0%	0	0,0%	309	5,3%
CXJ	11	0,2%	9	0,2%	1	0,0%	0	0,0%	21	0,4%
FLN	58	1,0%	10	0,2%	1	0,0%	0	0,0%	69	1,2%
FOR	124	2,1%	13	0,2%	0	0,0%	0	0,0%	137	2,4%
GIG	200	3,4%	20	0,3%	0	0,0%	0	0,0%	220	3,8%
GRU	108	1,9%	13	0,2%	0	0,0%	0	0,0%	121	2,1%
GYN	82	1,4%	26	0,4%	0	0,0%	1	0,0%	109	1,9%
IGU	29	0,5%	5	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	34	0,6%
IOS	39	0,7%	14	0,2%	0	0,0%	0	0,0%	53	0,9%
JDO	12	0,2%	5	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	17	0,3%
JOI	10	0,2%	7	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	17	0,3%
JPA	16	0,3%	2	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	18	0,3%
LDB	11	0,2%	7	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	18	0,3%
MAB	32	0,6%	13	0,2%	0	0,0%	0	0,0%	45	0,8%
MAO	60	1,0%	9	0,2%	0	0,0%	0	0,0%	69	1,2%
MCZ	35	0,6%	6	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	41	0,7%
MGF	10	0,2%	5	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	15	0,3%
MOC	13	0,2%	6	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	19	0,3%
NAT	45	0,8%	4	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	49	0,8%
NVT	81	1,4%	39	0,7%	0	0,0%	0	0,0%	120	2,1%
PMW	25	0,4%	4	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	29	0,5%
PNZ	10	0,2%	1	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	11	0,2%
POA	220	3,8%	48	0,8%	0	0,0%	1	0,0%	269	4,6%
PVH	43	0,7%	13	0,2%	0	0,0%	0	0,0%	56	1,0%
RAO	3	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	3	0,1%
RBR	7	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	7	0,1%
REC	191	3,3%	18	0,3%	1	0,0%	0	0,0%	210	3,6%
SDU	202	3,5%	114	2,0%	1	0,0%	0	0,0%	317	5,5%
SJP	14	0,2%	5	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	19	0,3%

SLZ	47	0,8%	8	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	55	0,9%
SSA	206	3,5%	23	0,4%	0	0,0%	0	0,0%	229	3,9%
THE	38	0,7%	14	0,2%	0	0,0%	0	0,0%	52	0,9%
UDI	53	0,9%	17	0,3%	0	0,0%	0	0,0%	70	1,2%
VCP	1497	25,8%	221	3,8%	5	0,1%	1	0,0%	1724	29,7%
VIX	85	1,5%	36	0,6%	2	0,0%	0	0,0%	123	2,1%
Total	4827	83,1%	963	16,6%	13	0,2%	3	0,1%	5806	100,0%

A Tabela 4 sugere que os pousos realizados com a configuração de flape 6 representam maior quantidade para desacelerações do eixo vertical entre 1.5 e 1.8, se comparado a configuração 5, na qual os valores obtidos foram de 12,9% e 3,7%, respectivamente. Ainda que haja mais pousos realizados com configuração 5, há praticamente a mesma quantidade de pousos cujos valores de “G” ficaram entre 1.8 e 2.0. Entretanto, a tabela revelou que os pousos com desacelerações maiores que 2.0 somente foram realizados com configuração para pouso 6. Essa relação é possível, pois o teste Qui-Quadrado indicou possível associação entre as variáveis com nível de significância menor que 0,005 ($p=0,00$). Esses dados sugerem uma possível relação entre outras variáveis que não a função do piloto, tais como aeroporto e configuração para pouso, sugerindo validar o segundo pressuposto proposto pelo trabalho.

Tabela 4 - Contingência com as variáveis configuração de pouso e valor de “G” (AUTOR, 2021).

Configuração de Pouso	Desaceleração no eixo vertical (G)								Total	
	1.0-1.5		1.5-1.8		1.8-2.0		2.0-2.3		N	%
	N	%	N	%	N	%	N	%		
5	3190	54,9%	216	3,7%	6	0,1%	0	0,0%	3412	58,8%
6	1637	28,2%	747	12,9%	7	0,1%	3	0,1%	2394	41,2%
Total	4827	83,1%	963	16,6%	13	0,2%	3	0,1%	5806	100,0%

A configuração de pouso se refere ao grau de deflexão do flape e do *slat* utilizados para pouso. Esses dois dispositivos são chamados de superfícies hipersustentadoras e permitem que a aeronave realize pousos e decolagens com segurança, pois reduzem a velocidade necessária para voar (velocidade de estol). Por outro lado, quanto maior o ângulo dessas superfícies, mais potência dos motores é necessário para a aeronave manter sua velocidade, pois o arrasto é maior. Há também

aumento no ângulo de descida da aeronave e, conseqüentemente, caso o piloto não intervenha, incremento da velocidade de descida da aeronave.

A utilização de uma das configurações para pouso reside em, pelo menos, três fatores: 1) motivo da escolha; 2) velocidade necessária para aquela configuração; 3) atitude da aeronave. Pelo fato de gerar velocidades menores, a configuração de pouso 6 é utilizada para aeroportos cuja pista de pouso é pequena, há alta temperatura (acima de 28° geralmente) e o peso de pouso é alto. Todos esses fatores fazem com que a velocidade de aproximação da aeronave seja maior se a configuração 6 não for utilizada. Ao reduzir a velocidade, reduz-se a distância de pista de pouso para parada e a temperatura do freio após a frenagem (o que reduz a possibilidade de esvaziamento do pneu e, por conseguinte, diminui o tempo de solo para esperar o resfriamento do conjunto de freios). O peso influencia todos os fatores anteriores, pois aumenta a distância para pouso e exige maior eficiência dos freios devido à inércia maior.

Como consequência do maior ângulo de flape, há redução na atitude da aeronave, definida como o ângulo formado entre o eixo longitudinal (linha reta imaginária que liga a extremidade traseira da aeronave com a dianteira) e o horizonte. Isso faz com que o piloto tenha maior visão da pista, mas ao mesmo tempo, requer que aja com maior amplitude nos comandos para trazer a atitude da aeronave para o pouso. Como o tempo geralmente é o mesmo, há necessidade de o piloto aumentar a razão de variação da atitude por segundo. Por último, ainda é sugerido o fato da configuração 6 ser muito menos utilizada do que a 5, principalmente nas condições onde nenhum dos motivos anteriores se aplica.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho atingiu o objetivo proposto ao concluir que não há relação direta entre a função do piloto (comandante ou copiloto) e a incidência de *hard landing*. Essa inferência foi baseada no primeiro pressuposto, validado pelos testes Qui-Quadrado realizados e o teste-T. Esse último, apesar de indicar haver diferenças significativas entre as médias, revelou que a média de “G” dos pousos de copilotos é menor do que dos comandantes. Mesmo que não fosse possível provar a falta de relação entre as médias, o fato dos menos experientes terem uma média menor do que os mais experientes já corrobora o primeiro pressuposto do artigo.

Os testes Qui-Quadrado realizados subsequentemente, revelaram a possibilidade de associação entre outros fatores que não a função dos pilotos. Alguns aeroportos

revelaram possibilidade de propensão de *hard landing* devido às suas características. Do mesmo modo, a configuração de pouso da aeronave indicou ser fator contribuintes para a ocorrência do evento.

O estudo possui como limitação o fato de os dados terem sido limitados ao mês de março de 2013, o que pode não representar toda a operação da empresa. Foi analisada apenas a função segundo o indicado pela aeronave com um grau de 95% de confiança, e, como fatores externos, a configuração de pouso e o aeródromo. Não necessariamente somente tais fatores influenciam na ocorrência dos pousos duros, assim como sua interação também pode revelar padrões diferentes caso tais fatores sejam analisados separadamente.

Como sugestão de estudos futuros, recomenda-se analisar a utilidade de ferramentas estatísticas multivariadas para verificar a relação entre as variáveis. Ademais, os dados precisam ser estendidos para outros meses de operação, bem como outras variáveis devem ser analisadas.

REFERÊNCIAS

DEKKER, S. W. A (2002). Reconstructing human contributions to accidents: the new view on error and performance. **Journal of Safety Research**, v.33, p.371-385.

_____ (2005). **The field guide to human error understanding**. Aldershot: Ashgate.

FLIGHT SAFETY FOUNDATION (1998). Aviation Safety: U.S. efforts to implement flight operational quality assurance programs. **Flight Safety Digest**, v. 17, n.9.

_____ (2004). Stabilizes Approach and *Flare* are Keys to Avoiding Hard landings. **Flight Safety Digest**, v. 23, n.8.

GIL, A. C (1999). **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5. Ed. São Paulo: Atlas.

GROSZ, J.; RYSDYK, R.; BOOTSMA, R. J.; MULDER, J. A.; van der VAART, J. C.; van WIERINGEN, P. W. (1995). Perceptual support for timing of the flare in the landing of an aircraft. In: P. Hancock, J. Flach, J. Caird, & K. Vicente (Eds.), **Local applications of the ecological approach to human-machine systems**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, p. 104-121.

HELMREICH, R.L.; MERRITT, A.C.; WILHELM, J.A. (1999). The evolution of Crew Resource Management training in commercial aviation. **International Journal of Aviation Psychology**, 9 (1), p.19-32.

HOLLNAGEL, E. (1993). Analysis of safety functions and barriers in accidents. **Proceedings of the European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control (CSAPC)**, 21-24 Sep, 1993, Villeneuve, France, p. 175-180.

HOLLNAGEL, E. (2004). **Barriers Analysis and accident prevention**. London: Ashgate.

INSIGHTFUL CORPORATION & JET BLUE AIRWAYS INC (2004). **Application of insightful corporation's data mining algorithms to FOQA Data at Jet Blue**: a technology demonstration in partnership with the Federal Aviation Administration and the Global Aviation Information Network (GAIN).

- KENNY, D. A. (1987). **Statistics for the social and behavioral sciences**. USA: Little, Brown and Company.
- LOUKOPOLUS, L. D.; DISMUKES, R. K.; BARSHI, I. (2009). **The Multitasking Myth: handling complexity in real-world operations**. Burlington: Ashgate Publishing.
- MULDER, M.; PLEIJSANT, J.; van der VAART, H.; van WIERINGEN, P. (2000). The effects of pictorial detail on the timing of the landing *flare*: Results of a visual simulation experiment. **International Journal of Aviation Psychology**, 10, p. 291-315.
- PERROW, C. (1984). **Normal Accidents: living with high-risk technologies**. New York: Basic Books.
- RINALDUCCI, E. J.; PATTERSON, M. J.; FORREN, M.; ANDES, R. (1985). Altitude estimation of pilot and nonpilot observers using realworld scenes. In R. S. Jensen & J. Adrion (Eds.), **Proceedings of the third symposium on aviation psychology**. Columbus: Department of Aviation, The Ohio State University, p. 491-498.
- RIORDAN, R. H. (1974). Monocular visual cues and space perception during the approach and landing. **Aerospace Medicine**, 45, p. 766-771.