

Lições aprendidas de incidente envolvendo aeronave modelo boeing 737-8 (MAX): estudo de caso do voo LNI043**Lessons learned from incident involving boeing model 737-8 (MAX): flight case study LNI043**

DOI:10.34117/bjdv5n12-105

Recebimento dos originais: 07/10/2019

Aceitação para publicação: 09/12/2019

Carlos André Vaz Junior

Engenheiro de Segurança do Trabalho e Doutor em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituição: Escola de Química / Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Sala E-201, Departamento de Engenharia Química, Bloco E, Centro de Tecnologia, UFRJ, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

E-mail: cavazjunior@eq.ufrj.br

RESUMO

A aviação comercial mundial conta, nos dias atuais, com níveis extremamente elevados de segurança operacional. Neste contexto, ao longo dos últimos meses o setor trabalha para compreender os fatores contribuintes que levaram a queda de duas aeronaves novas, modelo Boeing 737-8 (MAX), em um intervalo de menos de seis meses. No final de outubro de 2019 o órgão oficial de investigação de acidentes aéreos da Indonésia (KNKT / Komite Nasional Keselamatan Transportasi) divulgou a versão final do relatório de investigação do acidente do voo LNI610, ocorrido um ano antes. O relatório apresenta não apenas a descrição do voo 610, mas também o detalhamento sobre o voo anterior, de número 043. Neste, uma tripulação diferente, pilotando a mesma aeronave, precisou lidar com as mesmas falhas que resultaram no acidente. Este artigo detalha o voo LNI043, as falhas encontradas e as respostas da tripulação. Entender como essa tripulação lidou com anomalias potencialmente letais e conduziu a aeronave em segurança até o destino representa importante oportunidade de aprendizado. Além de detalhar o voo, o presente artigo discute a falha do sensor de ângulo de ataque e como a falha de um único sensor afetou profundamente a controlabilidade da aeronave. Diversos comportamentos da tripulação também são analisados, tais como o briefing pré-voo, o modo de lidar com as anomalias, a divisão de tarefas, a decisão de continuar até o destino e o registro final do voo para o setor de manutenção. Compreender o sucesso desta tripulação é uma oportunidade ainda pouco explorada no contexto dos acidentes envolvendo aeronaves da família MAX.

Palavras-chave: segurança na aviação comercial, acidente aéreo, Boeing 737-8 (MAX), MCAS, CRM.

ABSTRACT

Global commercial aviation today has extremely high levels of operational safety. In this context, over the past few months the industry has worked to understand the contributing factors that led to the crash of two new Boeing 737-8 (MAX) aircraft within a range of less than six months. In late October 2019 Indonesia's official air accident investigation body (KNKT / Komite Nasional Keselamatan Transportasi) released the final version of the LNI610 flight accident investigation report a year earlier. The report gives not only the description of flight 610, but also the detail of the previous flight, number 043. In this, a different crew flying the same aircraft had to deal with the same failures that resulted in the crash. This article details flight LNI043, faults found and crew

responses. Understanding how this crew handled potentially lethal anomalies and safely steered the aircraft to its destination represents an important learning opportunity. In addition to detailing flight, this article discusses the failure of the angle of attack sensor and how the failure of a single sensor profoundly affected the controllability of the aircraft. Various crew behaviors are also analyzed, such as pre-flight briefing, handling of anomalies, division of tasks, decision to continue to destination, and final flight record to the maintenance department. Understanding the success of this crew is an opportunity not yet explored in the context of accidents involving MAX family aircraft.

Key words: commercial aviation safety, air crash, Boeing 737-8 (MAX), MCAS, CRM

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes com as aeronaves modelo Boeing 737-8 (MAX) das empresas Lion Air, em 29 de outubro de 2018, e Ethiopian Airlines, em 10 de março de 2019, surpreenderam os profissionais do setor e a sociedade de forma mais ampla. Pressão crescente foi direcionada sobre a Boeing e, na sequência, sobre a FAA (Federal Aviation Administration), enquanto órgão certificador norte-americano. O modelo 737-8 (MAX) havia sido lançado poucos meses antes, e se tratava de peça importante para a empresa de Seattle manter sua fatia no mercado. Como duas aeronaves novas acidentam-se em condições semelhantes em um intervalo de apenas quatro meses? Suspeitas de que haveria algo extremamente errado no projeto começaram a surgir. Rapidamente essas suspeitas foram ampliadas para o próprio processo de certificação adotado pela FAA (NTSB, 2019 e WASHINGTON POST, 2019). Até que tudo seja esclarecido e as modificações realizadas, todas as aeronaves 737-8 (MAX) permanecem no solo, impedidas de voar. A previsão da Boeing até 10 de novembro de 2019 era de retomar as entregas do modelo no mês de dezembro, enquanto a liberação para voos comerciais ocorreria em janeiro de 2020 (The Wall Street Journal, 2019).

Enquanto diversas análises vêm sendo realizadas sobre os dois acidentes, um ponto de vista permanece ainda pouco explorado: a dinâmica do voo LNI043 – último voo da aeronave prefixo PK-LQP antes do acidente. A diferença entre um voo e outro é de apenas 7 horas. Ou seja, as duas tripulações pilotaram a mesma aeronave com virtualmente as mesmas falhas. Enquanto a primeira conseguiu completar o voo e pousar em segurança, a segunda não obteve sucesso. Deste modo, a descrição do voo LNI043 tem o potencial de colaborar para o entendimento da situação enfrentada no voo seguinte.

Este artigo detalha os fatos ocorridos durante o voo LNI043, as falhas que estiveram presentes, as ações da tripulação, suas decisões e o modo como, ao final, conseguiram levar aeronave e passageiros até o destino de forma segura. Abordam-se ainda os motivos pelos quais os problemas enfrentados neste voo não serviram de alerta para evitar o acidente no voo seguinte. Muito se aprende estudando acidentes passados, mas também muito pode ser revelado analisando o sucesso de uma tripulação em lidar com situações de crise.

O presente artigo toma como base o relatório final oficial da investigação do acidente do voo LNI610 emitido pela agência KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) da Indonésia, e publicado em outubro de 2019 (KNKT, 2019).

O artigo encontra-se dividido nos seguintes itens: inicialmente apresenta-se a descrição geral do voo LNI043 conforme consta no capítulo 1 do relatório oficial (KNKT, 2019). O item seguinte toma como base a análise do voo apresentada no capítulo 2 do mesmo relatório, discutindo também as disparidades em relação às descrições apresentadas nos capítulos 1 e 2 do texto emitido pela KNKT. Uma vez entendida a dinâmica do voo 043, o item seguinte foca na falha do sensor de ângulo de ataque e na ação indevida do sistema eletrônico de controle da aeronave, dois fatores fundamentais para entender os problemas enfrentados pela tripulação. A decisão do comandante do voo LNI043 em continuar até o destino inicialmente planejado mesmo diante das inúmeras limitações técnicas da aeronave é avaliada no item seguinte. Finalmente, são discutidos os registros das falhas feitos pela tripulação do voo 043 nos sistemas da Lion Air, e como esses registros poderiam colaborar para evitar o acidente no voo seguinte.

2 DESCRIÇÃO DO VOO LNI043

O voo LNI043, com previsão de duração aproximada de 90 minutos, ligava a cidade de Denpasar (Aeroporto Internacional I Gusti Ngurah Rai / WADD) e a cidade de Jakarta (Aeroporto Internacional Soekarno-Hatta / WIII), ambas na Indonésia. O detalhamento apresentado neste item toma como base as informações apresentadas no item 1.18.1 do relatório final do acidente do voo LNI610 (KNKT, 2019).

No dia 28 de outubro de 2018 o voo LNI043 transportou 182 passageiros, 5 comissários e 2 pilotos. É importante ressaltar que, embora a aeronave seja a mesma, a tripulação deste voo é diferente daquela que realizou o voo LNI610. Antes do voo, durante o *pre-check*, o piloto avaliou, juntamente com o engenheiro de manutenção, os serviços que haviam sido realizados na aeronave recentemente. Foi informado sobre os seguintes reparos: troca do sensor de ângulo de ataque ou AOA (“*angle of attack*”) localizado no lado esquerdo da fuselagem; assim como correção dos alarmes de velocidade e altitude. O piloto checkou também as anotações feitas no AFML (“*Aircraft Flight Maintenance Log*”), que é o registro oficial de manutenções da aeronave. O “*Operation Manual*” (OM) da Lion Air inclui a checagem do AFML como uma das obrigações do comandante:

“Before the flight, Captain must examine the Aircraft Flight and Maintenance Log (AFML) to inquire about the technical status of the aircraft.” (KNKT,2019)

A partir dessas informações, o comandante concluiu que os problemas haviam sido resolvidos e que a aeronave estava apta para o voo. Todas essas informações foram levadas para o copiloto durante o *briefing*.

O relatório final da investigação (KNKT, 2019) destaca que durante o voo LNI043 havia uma terceira pessoa na cabine de comando. Tratava-se de outro piloto da Lion Air, que estava voando em função de reposicionamento da sua escala de trabalho. Este terceiro tripulante na cabine também era certificado para pilotar o 737-8 (MAX), e permaneceu sentado no *jump-seat*, um pequeno banco localizado entre o piloto e o copiloto.

O voo LNI043 decolou às 7h20 da manhã (horário local, equivalente às 14h20 UTC, horário internacional de Greenwich) do dia 28 de outubro de 2018. Este horário representava um atraso de quase três horas em relação ao previsto (4h30 da manhã, horário local, ou 11h30 UTC). O relatório não esclarece os motivos do atraso, não estabelecendo relação com os serviços de manutenção realizados.

Durante o taxi e a corrida de decolagem o piloto não teria notado qualquer anormalidade. Porém, dois segundos após o recolhimento do trem de pouso, o alarme de configuração de decolagem (“*Takeoff Configuration Warning*”) surgiu durante um breve momento. Este alarme serve para alertar os pilotos, antes da decolagem, sobre erros na configuração da aeronave. Erro no ajuste da posição dos *flaps*, ou *speedbrakes* acionados, são exemplos de problemas indicados por este tipo de alarme. Em geral este alarme de erro de configuração de decolagem ocorre ainda no solo, enquanto a aeronave acelera para decolar.

Logo no início da subida, quando a aeronave se encontrava a aproximadamente 400 pés, o piloto percebeu o aviso de IAS DISAGREE (*Indicated Airspeed disagree* / falha nos sensores de velocidade) em seu PFD (*Primary Flight Display*), conforme Figura 1 (a). Embora na descrição do acidente o alarme de ALT DISAGREE (Figura 1 (b)) não seja diretamente mencionado, na sequência do relatório é declarado que o piloto registrou a presença dessa falha nos registros da aeronave ao término do voo.

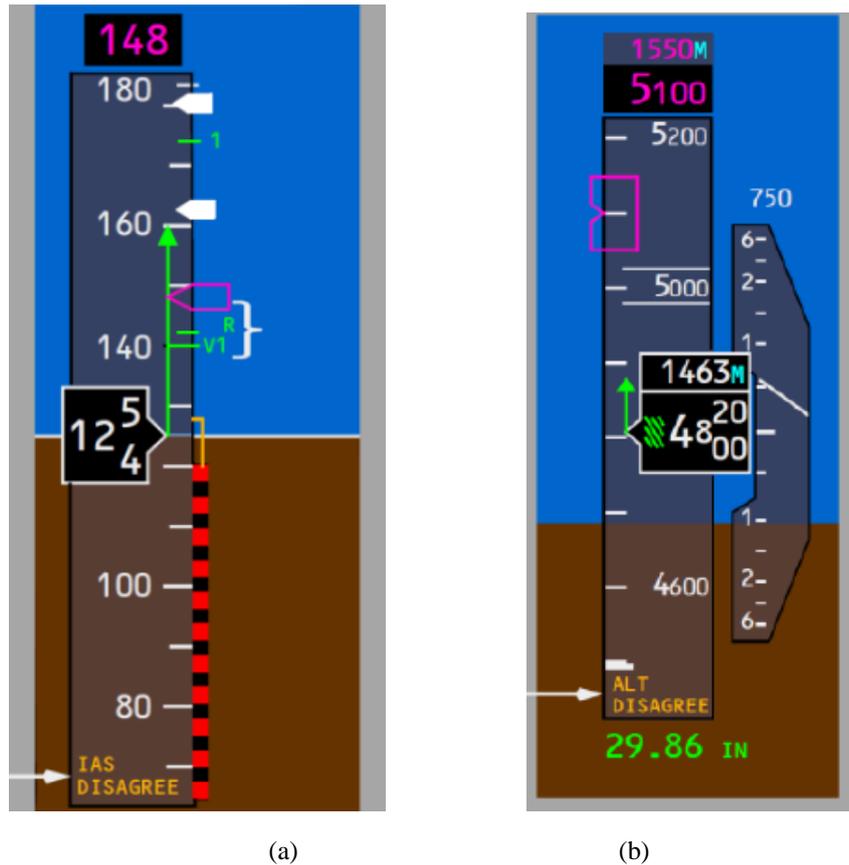


Figura 1: falha de IAS DISAGREE (a) e ALT DISAGREE (b) indicadas no PFD.

Fonte: Adaptado de KNKT (2019)

Observou também que o *stick-shaker* do manche esquerdo foi ativado, permanecendo ativo durante todo o voo. O *stick-shaker* é um alerta relacionado, normalmente, a perda de sustentabilidade da aeronave. O alerta gera forte vibração na coluna do manche, sendo facilmente reconhecido pela tripulação. Os dados da caixa-preta mostram que o *stick-shaker* esquerdo foi ativado no momento da decolagem, e assim permaneceu até o pouso (Figura 2). O momento da decolagem é marcado pelo deslocamento da linha AIR/GROUND, marcado na figura.

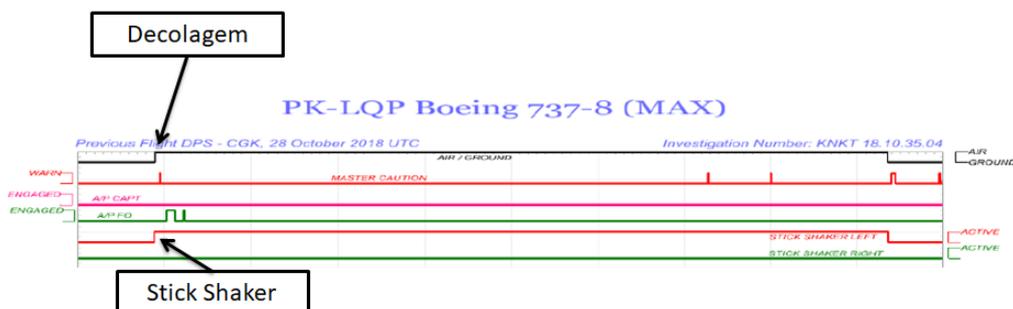


Figura 2: Registro da ativação do *stick-shaker* logo após a decolagem.

Fonte: Adaptado de KNKT (2019)

Em resposta ao aviso IAS DISAGREE o piloto decidiu manter o ângulo de subida em 15°, mantendo também a potência ajustada para a decolagem. O ângulo de 15° é indicado como ideal para subida no FCTM (*“Flight Crew Training Manual”*):

“For optimum takeoff and initial climb performance, initiate a smooth continuous rotation at VR toward 15° of pitch attitude” (KNKT,2019)

A capacidade de manter as condições adequadas de voo mesmo diante de dados incorretos gerados pelos sensores é uma qualidade mencionada no FCTM:

(...) “the flight crew should be familiar with the approximate pitch attitude and thrust setting for each phase of flight” (KNKT,2019)

O comandante realizou uma checagem cruzada dos instrumentos da cabine e concluiu que os valores indicados no lado esquerdo estavam em falha. Deste modo, optou por transferir o comando para o copiloto, sentado a direita, cujos instrumentos funcionavam adequadamente. A partir deste momento o copiloto passou a ser responsável por pilotar a aeronave, enquanto o piloto realizava os processos de checagem na busca por entender o que estava acontecendo, assim como a comunicação pelo rádio.

O piloto realizou o procedimento de memória de indicação de velocidade não confiável (*“Airspeed Unreliable Memory Items”*). Depois de terminar os itens de memória, ainda com o colega da direita pilotando o Boeing, o piloto baixou a cabeça para procurar o manual impresso QRH (*“Quick Reference Handbook”*), que apresenta informações mais detalhadas do que o procedimento de memória. Neste momento, porém, foi alertado pelo terceiro tripulante na cabine, sentado no *jump-seat*, que a aeronave estava inclinando-se para baixo, o que era indesejável naquele momento inicial do voo.

Alertado sobre este comportamento, o comandante orientou o copiloto para que este elevasse o nariz da aeronave, retomando a subida. O colega da direita queixou-se, então, que o manche estava “pesado”, e que era necessário fazer grande esforço para puxá-lo para trás e fazer a aeronave subir. O piloto avisou que o colega deveria atuar no *trim* elétrico manual o quanto fosse necessário com o objetivo de reduzir o peso do manche. O copiloto passou a agir deste modo.

Para entender o diálogo acima é necessário compreender a função das superfícies horizontais móveis localizadas na cauda do Boeing 737. A Figura 3 destaca o estabilizador horizontal e o profundor (ou “*elevator*”, em inglês).

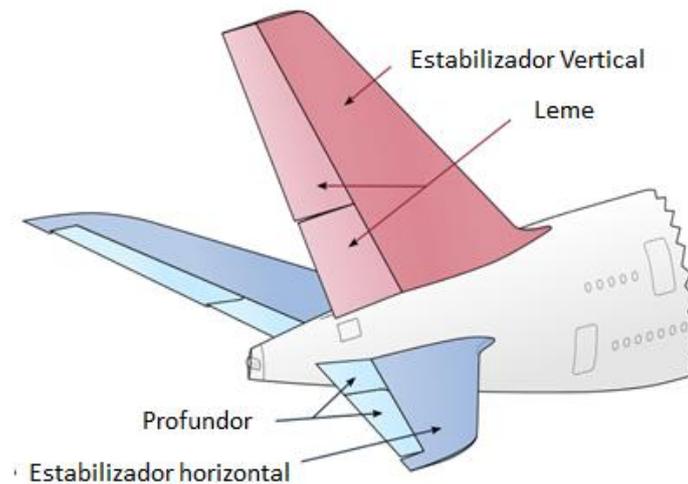


Figura 3: Esquema indicando o estabilizador horizontal e o profundor instalados na cauda de uma aeronave de grande porte.

Fonte: Adaptado de CLEYNEN (2013)

Ao puxar o manche o copiloto atua no profundor, buscando impor um ângulo de subida. Caso empurre o manche, criará um efeito contrário, de descida. Por outro lado, o estabilizador visa manter o balanço longitudinal da aeronave (ANAC, 2019). No caso do Boeing 737, o estabilizador é regulável, sendo este ajuste realizado através do *trim* – sistema THS ou *trimmable horizontal stabilizer*. Fisher (2013) discute sobre o funcionamento e aplicação do sistema em diferentes modelos de aeronaves.

Existem três modos de atuação no estabilizador horizontal. O primeiro ocorre através dos sistemas automáticos de controle de voo da aeronave, como, por exemplo, o piloto automático. O computador de bordo atua eletricamente no sistema de *trim*, ajustando a posição do estabilizador horizontal. A segunda abordagem é através do *trim* elétrico manual, um conjunto de botões localizados no manche que permite aos tripulantes ajustarem eletricamente o estabilizador. Finalmente, o terceiro método é rodando, manualmente, as rodas localizadas na lateral do console central do *cockpit*, denominadas “*trim wheels*” (Figura 4). Esta última é uma abordagem “mecânica manual”.



Figura 4: Localização das “trim wheels” no console central, e dos “stab trim switches” logo abaixo.

Fonte: Adaptado de Seattle Times (2019)

É interessante observar que nas aeronaves Boeing, qualquer atuação elétrica sobre o estabilizador, seja via automática ou manual, provoca deslocamento das rodas laterais. Esse recurso visa permitir que os pilotos estejam cientes que o estabilizador está movendo-se. Em virtude da grande diferença de área superficial do estabilizador em relação à área do profundor (Figura 3), em muitos casos é preciso atuar no primeiro para completar a ação do segundo.

Com a situação mais controlada, às 14h25:46 (UTC) o comandante declarou “PAN PAN” na frequência do ATC (“Air Traffic Control Denpasar Approach”). O termo “PAN PAN” é empregado como sinal de “urgência”, referindo-se a uma situação envolvendo segurança do voo, mas que não requer assistência imediata. Em cenários mais severos, que demandam ajuda imediata, a tripulação usa o termo “MAYDAY”. O piloto informou que estava com falha nos instrumentos, e requisitou manter o alinhamento da pista. O controlador aprovou a solicitação e, segundos depois, questionou se a tripulação desejava retornar para o aeroporto. O piloto respondeu apenas “Standby” (“aguarde”).

O piloto observou que, a cada ação do colega sobre o *trim* elétrico manual, elevando o nariz da aeronave (ou ANU – *Aircraft Nose Up*), era seguida por uma ação contrária do sistema, regulando o *trim* automaticamente para comandar nariz para baixo (ou AND – *Aircraft Nose Down*). Esta sequência de ações opostas levou o piloto a concluir que estavam enfrentando um cenário de “runaway stabilizer”, ou seja, de movimentações indevidas do estabilizador horizontal. Este diagnóstico levou o comandante a seguir os itens de memória do

checklist não convencional (ou NNC – *Non-Normal Checklist*) para este tipo de situação, denominado “*Runaway Stabilizer NNC*”. Um dos itens deste NNC é posicionar os *switches* STAB TRIM CUTOUT na posição CUTOUT (Figura 5). Este posicionamento corta completamente o sistema elétrico que atua no estabilizador horizontal, interrompendo a sequência de ações realizadas pelo sistema automático ou manual elétrico. Os *switches* estão localizados no console central do cockpit.

Poucos minutos depois o piloto retornou os *switches* para a posição NORMAL, e quase instantaneamente a ação indevida do estabilizador também voltou. O piloto retornou com os *switches* para a posição CUTOUT, e assim foram mantidos até o pouso.

Uma vez que posicionar os *switches* em CUTOUT resolveu o problema, ou seja, o sistema automático parou de comandar o nariz da aeronave para baixo, e os NNC usados (“*Airspeed Unreliable*”, “*ALT DISAGREE*” e “*Runaway Stabilizer*”) não instruíam o pouso no aeroporto mais próximo, o piloto decidiu continuar o voo até Jakarta. Às 14h32:31 (UTC) informou ao controlador que iria continuar o voo, e solicitou voar no nível FL290. Porém, informou que não poderia atender aos requisitos de separação vertical reduzida, ou RVSM (*Reduced Vertical Separation Minimum*) (FAA, 2017). O controle de tráfego aéreo (*Denpasar Approach*) indicou que subisse para o nível FL280 e estabelecesse contato com o *Makassar Area Control Center*.



Figura 5: “*Stab Trim Switches*” localizados no console central da cabine.

Fonte: Adaptado de Seattle Times (2019)

Onze minutos após, às 14h43:36 (UTC), o voo foi instruído a subir para o nível FL380. Porém, às 14h48:27 (UTC) o piloto voltou a declarar “PAN PAN” e solicitou manter na altitude de FL280. Sua demanda foi prontamente atendida.

Na parte final do voo o piloto solicitou que fosse fornecido um procedimento de descida direta para o aeroporto de Jakarta, usando uma razão de descida constante. A aeronave pousou, sem maiores problemas, às 15h56 (UTC), no destino planejado.

Após o voo o comandante informou, verbalmente, ao engenheiro, sobre os alertas de IAS DISAGREE e ALT DISAGREE ocorridos, assim como o acendimento da luz de FEEL DIFF PRESS. O comandante registrou essa mesma informação no AFML. Nada foi informado, porém, sobre a ativação do *stick-shaker*, pois o piloto acreditava que este acionamento era consequência dos erros já informados. Também não foi mencionado o fato de ter sido necessário posicionar os *switches* em CUTOOUT. O comandante fez o seguinte registro no sistema eletrônico da empresa, ou ASR (“*Air Safety Report*”):

“Airspeed unreliable and ALT Disagree shown after takeoff, STS (Speed Trim System) also running to the wrong direction, suspected because of speed difference, identified that CAPT instrument was unreliable and handover control to FO. Continue NNC of Airspeed Unreliable and ALT Disagree. Decide to continue flying to CGK at FL280, landed safely runway 25L” (KNKT, 2019)

A mesma mensagem foi enviada para o *Safety and Security Department* da Lion Air, uma vez que o *Duty Management Pilot* estava ausente, em viagem na Arábia Saudita.

3 ANÁLISE DO VOO

O capítulo 2 (“*Analysis*”) do relatório final (KNKT, 2019) discute seis tópicos: “voo anterior ao acidente”; “ações da tripulação do voo LNI610”; “fatores organizacionais”; “projeto e certificação do sistema MCAS”; e “manutenção realizada no sensor de AOA em uso durante o voo LNI610”. Para os investigadores, a tripulação do voo LNI043 enfrentou “as mesmas condições” do voo LNI610 (KNKT, 2019). Essa semelhança torna a análise do voo 043 extremamente relevante.

De acordo com a análise apresentada no capítulo 2 do relatório final, a primeira resposta do comandante do voo LNI043 diante da ativação do *stick-shaker* e do acionamento dos alarmes foi manter o ângulo de subida e a aceleração adotados na decolagem. Na sequência o comandante transferiu o controle para o copiloto, e realizou uma checagem cruzada dos instrumentos da cabine. A checagem permitiu definir que os instrumentos do seu lado do *cockpit* (lado esquerdo) estavam indicando valores errôneos, enquanto os instrumentos localizados no lado direito (copiloto) estavam operando adequadamente. Para os investigadores, a decisão rápida do comandante de transferir a

pilotagem para o copiloto pode ter sido influenciada pelo fato do comandante ter conhecimento das falhas anteriores que aquela aeronave tinha apresentado, assim como dos serviços de manutenção que foram realizados antes do voo (KNKT, 2019).

Já com a aeronave sendo comandada pelo copiloto, o terceiro tripulante, localizado no *jump seat*, percebeu que o nariz do Boeing estava se deslocando para baixo, e imediatamente alertou o piloto. Este solicitou que o copiloto mantivesse o ângulo de subida. O colega então avisou que o manche estava muito pesado (“*too heavy to hold back*”). Esta informação, e o fato de que cada vez que o copiloto ajustava o *trim* elétrico manual para ANU o sistema ajustava novamente, na sequência, para AND, levou o piloto a ajustar os *switches* para CUTOOUT, cortando a atuação elétrica sobre o estabilizador horizontal. Essa ação permitiu estabilizar o voo, mas passou a exigir que a tripulação fizesse ajustes manuais no *trim* através do sistema mecânico (*trim* mecânico manual), girando uma roda localizada na lateral do console central do *cockpit*.

Com a situação aparentemente controlada, o comandante informou por rádio ao ATC sobre sua situação de urgência, declarando PAN PAN. Na sequência, o piloto realizou três NNC: “*Airspeed Unreliable*”; “*Altitude Disagree*”; e “*Runaway Stabilizer*”. Durante a realização destes NNC o comandante retornou os *switches* para a posição normal, porém isso fez com que o sistema elétrico da aeronave rapidamente atuasse no *trim*, comandando AND. Essa resposta indesejada levou o comandante a posicionar novamente os *switches* em CUTOOUT.

Tendo terminado os NNC, os tripulantes discutiram sobre continuar o voo, uma vez que estavam voando de modo controlado, mas dispunham somente do *trim* mecânico manual e dos instrumentos do lado direito da cabine, o *stick-shaker* permanecia ativo e precisavam voar em condições manuais, sem dispor do piloto automático. Apesar dessas limitações, e do conselho do terceiro tripulante para retornar, o piloto decidiu continuar o voo até Jakarta. Essa decisão teria sido baseada nas condições de voo estarem controladas, nas boas condições meteorológicas em rota e no destino, e no fato de nenhum dos NNC utilizados mencionava a necessidade de pousar no aeroporto viável mais próximo (“*land at the nearest suitable airport*”).

A decisão de continuar foi informada ao ATC (Denpasar Approach), comunicando que a situação estava gerenciada. Porém, ao ser transferido para o próximo órgão de controle de tráfego aéreo (Upper West Madura), o piloto novamente declarou PAN PAN, requisitando prioridade. Posteriormente, já com o ATC Upper West Semarang, a tripulação informou novamente sobre os problemas para controlar a aeronave, e solicitou que o perfil de descida em Jakarta fosse uniforme, ou seja, que a descida ocorresse sem interrupções. Os investigadores consideram que essa preocupação da tripulação revela que estavam cientes das condições de voo e de suas limitações.

Comparando a descrição apresentada no item 2 deste artigo e aquela apresentada neste item é possível verificar algumas disparidades, embora ambas estejam baseadas no relatório oficial do acidente do voo LNI610. Ambas as descrições se iniciam no mesmo ponto, com a ativação do *stick-shaker* e dos alarmes, seguido da decisão do piloto em manter o ângulo de subida e a potência de decolagem. A partir deste momento existem algumas incongruências. A primeira diferença é se primeiro o piloto checkou os instrumentos e depois o comando foi transferido ou se a transferência ocorreu antes mesmo da checagem. Essa última vertente revelaria uma forte influência das informações recebidas pelo piloto antes do voo.

Outra diferença é se, ao observar a ação do *trim* automático atuando inúmeras vezes na direção oposta a ação do copiloto, o piloto primeiro aplicou a NNC “*Runaway Stabilizer*”, tendo como último item o corte do sistema elétrico, ou se, após observar a ação sobre o *trim* o comandante já decidiu por posicionar os *Stab Trim Switches* em CUT OUT.

Na sequência, a descrição apresentada no capítulo 1 do relatório de investigação não apresenta um motivo ou contexto para os *switches* serem posicionados novamente em NORMAL minutos depois. Já pela descrição do capítulo 2 do relatório, isso teria ocorrido quando o piloto realizava os *check-lists* de verificação.

Embora tais diferenças não alterem o entendimento sobre o voo 043, alguns detalhes podem induzir a interpretações equivocadas sobre a dinâmica dos eventos e o contexto no qual as decisões foram tomadas.

4 FALHA DO AOA E AÇÃO INDEVIDA DO MCAS

A partir dos dados registrados na caixa-preta a equipe de investigadores concluiu que o sensor de ângulo de ataque (AOA, “*angle of attack*”) instalado no lado esquerdo da fuselagem da aeronave momentos antes do voo LNI043 já apresentava erro de calibração da ordem de 21°, conforme Figura 6 (KNKT, 2019). Deste modo, os valores medidos pelos sensores AOA esquerdo e direito indicavam uma diferença desta magnitude, levando a falha denominada AOA DISAGREE.



Figura 6: Discrepância nos valores medidos pelos sensores AOA ao longo do voo.

Fonte: KNKT (2019)

A tripulação da Lion Air nunca detectou esta falha, sendo este um fato que precisa ser entendido na dinâmica do voo. Outro ponto de interesse é o motivo pelo qual a falha em um único sensor afetou tão intensamente a controlabilidade do voo. Os subitens abaixo detalhem estes dois pontos.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DA FALHA DE AOA

Embora todas as aeronaves 737-8 (MAX) disponham de dois sensores AOA, um de cada lado da fuselagem, os valores medidos por estes sensores somente são exibidos para os pilotos caso o proprietário da aeronave tenha feito essa opção. Ou seja, dispor da indicação de valor de AOA no PFD (Figura 7) é opcional. A Lion Air optou por não dispor deste indicador em suas aeronaves.

Independente de dispor ou não da indicação do valor de AOA no PFD, todas as aeronaves modelo 737 NG e 737-8 (MAX) deveriam dispor de alerta em caso de divergência entre os dois sensores – falha AOA DISAGREE (Figura 8). Do mesmo modo que IAS DISAGREE e ALT DISAGREE, a falha de AOA também deveria ser exibida no PFD, mesmo que a companhia aérea não tenha optado por ativar a indicação de valor de AOA.

A mensagem AOA DISAGREE foi implementada em todas as aeronaves modelo Boeing 737 NG fabricados a partir de 2006 em razão de demanda das empresas operadoras. Porém, essa mensagem não era considerada pelo fabricante como um requisito de segurança. A mensagem seria apenas um recurso complementar, já que o *stick-shaker*, aliado com as informações de velocidade e razão de descida (ou subida), entre outras, já garantiriam uma operação segura.



Figura 7: Valores medidos de AOA sendo indicados no PFD.

Fonte: Adaptado de KNKT (2019)

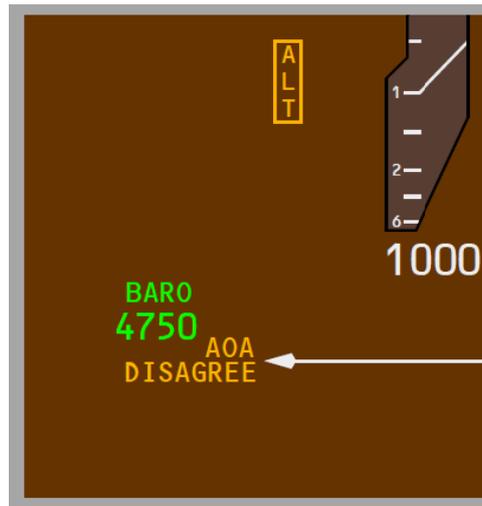


Figura 8: Indicador de AOA DISAGREE sendo exibido no PFD.

Fonte: Adaptado de KNKT (2019)

O requisito de contar com a mensagem de AOA DISAGREE, válido para o modelo NG, foi trazido para a família MAX. Contudo, em 2017, meses após as primeiras unidades terem sido entregues, a Boeing detectou que, por falha de software, a mensagem de alerta aparecia apenas nas aeronaves cujas operadoras optaram por incluir o AOA Indicator no painel. Segundo os investigadores, na época do acidente, apenas 20% das companhias que operavam o MAX tinham optado por incluir o AOA Indicator em suas aeronaves.

Embora ciente da falha de software, a Boeing considerou que tal anomalia não representava qualquer risco para a segurança, de modo que a correção foi agendada apenas para o segundo semestre de 2020.

Além da ausência do aviso de alarme previsto na própria documentação da aeronave, é necessário lembrar que, em virtude de tratar-se de lançamento recente, muitos pilotos do MAX fizeram grande parte de seu treinamento no NG. Inclusive, a maior parcela de horas em simulador foi realizada em um modelo de equipamento que reproduzia a dinâmica de voo do NG. O relatório final de investigação não detalha o treinamento em simulador realizado pela tripulação do voo LNI043, informando apenas os dados relativos ao treinamento da tripulação do voo LNI610. Neste caso, o piloto do voo LNI610 havia feito um total de 20 dias de treinamento em simuladores desde 11 de julho de 2011, sendo que apenas em um desses dias foi utilizado um simulador do modelo MAX. Em 18 dias o modelo simulado foi o NG. Situação semelhante envolvia o copiloto do voo LNI610, com 28 dias de treinamento em simulador desde 25 de junho de 2013, onde apenas um dia foi focado no MAX. Em todos os demais dias foram usados simuladores do NG (KNKT, 2019).

Uma vez que no NG a falha de AOA geraria mensagem no PFD, e que a própria documentação da família MAX previa que isso também ocorresse no novo modelo, era natural que os pilotos da Lion Air estivessem condicionados a observar essa indicação no PFD como modo de identificar a anomalia. Na ausência da indicação a tripulação do voo LNI043 não identificou o problema

Ressalta-se ainda que o MAX foi certificado na FAA em março de 2017, sendo a primeira aeronave entregue em 8 de maio de 2017 para a empresa Malindo Air. Sua operação comercial foi iniciada em 22 de maio do mesmo ano. Uma vez que o voo LNI043 aqui analisado ocorreu em outubro de 2018, aproximadamente um ano e meio após, era natural esperar a baixa experiência da tripulação com essa aeronave, em especial com seu comportamento em situações de falhas específicas. Destaca-se que a Lion Air possuía, no dia do acidente, somente onze aeronaves MAX em sua frota de 120 aeronaves. Pouco tempo de operação, poucas aeronaves, reduzido treinamento em simulador específico e falha de software, são fatores que contribuíram para a dificuldade da tripulação em identificar a real origem do problema enfrentado.

Caso a mensagem de AOA DISAGREE tivesse sido exibida e a falha identificada pela tripulação, é altamente possível que o NNC respectivo (Figura 9) tivesse sido usado. Porém, este NNC apenas informa que as falhas de IAS DISAGREE e ALT DISAGREE podem estar relacionadas com AOA DISAGREE. Nenhuma menção é feita a ativação do *stick-shaker* e ação automática sobre o *trim*. É possível que a NNC em pouco ajudasse os pilotos, mas, por outro lado, a mensagem de alerta teria sido muito útil para os mecânicos, indicando a origem do problema.

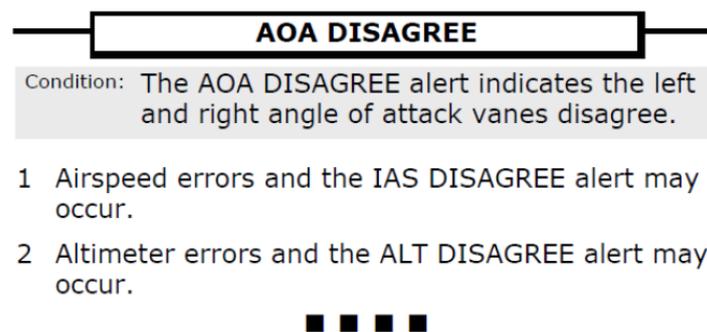


Figura 9: “Non-Normal Checklist” de AOA DISAGREE.

Fonte: KNKT (2019)

A capacidade da falha do AOA provocar outras falhas foi explorada em mais detalhes no comunicado emitido pela Boeing em 6 de novembro de 2018, uma semana após o acidente do voo LNI610. O comunicado encontra-se reproduzido nas folhas 228 e 229 do relatório final (KNKT, 2019). Na forma de “*Flight Crew Operations Manual Bulletin*”, o documento detalha a possível relação da falha do

AOA e a ação indevida do *trim* do estabilizador horizontal, assim como a ocorrência de outras indicações de falhas simultâneas. As falhas ligadas a anomalia do AOA seriam, dentre outras (KNKT, 2019):

- ação contínua ou intermitente do *stick-shaker* de apenas um lado
- aumento da força imposta no manche no sentido de baixar o nariz da aeronave
- IAS e ALT DISAGREE
- AOA DISAGREE quando o indicador de AOA está disponível
- Lâmpada de FEEL DIFF Pressure acesa

O boletim remete ao uso do NNC de *Runaway Stabilizer*, e reforça a importância de posicionar os *switches* STAB TRIM CUTOOUT na posição CUTOOUT caso necessário.

Uma vez que o boletim não existia em 28 de outubro de 2018, e que os pilotos nunca identificaram a falha AOA DISAGREE, a tripulação do voo LNI043 precisou lidar com uma série de alarmes simultâneos, o que resultou em forte elevação da carga de trabalho, gerando pressão e estresse na cabine. Para os investigadores o piloto revelou que enfrentou dificuldades de comunicação em função do ruído causado pelo *stick-shaker* ativo durante todo o voo, assim como forte pressão mental (“*mental pressure*”) e senso de pânico (“*sense of panic*”). O piloto detalhou também que orientou as comissárias a manterem os passageiros em seus lugares e com os cintos de segurança afivelados durante todo o trajeto (KNKT, 2019).

Durante as investigações do acidente do voo 610 os investigadores empregaram simuladores de voo na busca por compreender o quadro enfrentado pela tripulação. Além do voo LNI610, simuladores foram usados também para reproduzir o voo 043. No caso deste voo, a simulação mostrou que, embora a aeronave permanecesse controlável, o voo tornou-se extremamente desafiador até que o NNC Runaway Stabilizer fosse executado e o sistema elétrico do estabilizador horizontal cortado.

O excesso de avisos e alarmes pode, ao invés de facilitar a identificação da origem da falha, na verdade dificultar a ação humana em resposta ao problema. O relatório final de investigação do acidente do voo AF447 (BEA, 2012) e o Safety Report publicado pelo NTSB em 19 de setembro de 2019 (NTSB, 2019), aprofundam-se nesta questão.

4.2 AÇÃO DO AOA SOBRE O ESTABILIZADOR HORIZONTAL

Para entender como a ação automática do sistema de *trim*, comandando AND, está relacionada a falha do sensor de AOA, é necessário entender a história da família MAX.

Os modelos MAX (737-7, -8, -9) são derivados da família NG (737-600 NG, -700 NG e -800 NG). Especificamente, o modelo 737-8 (MAX) é derivado do 737-800 Next Generation (NG). Para atender os requisitos atuais do mercado, e fazer frente a concorrência, a família MAX passou a adotar o moderno motor CFM LEAP-1B. Porém, algumas características do novo motor, especialmente um maior diâmetro de “*fan*” e uma “*nacelle*” com novo desenho, demandavam alterações no projeto do 737, conforme documento emitido pela NTSB e anexado no item 6.2, página 245, do relatório final (KNKT, 2019)

As dimensões do novo motor se mostravam incompatíveis com a altura da asa do Boeing 737 em relação ao solo. O 737 apresenta fuselagem e asas muito próximas do solo, o que sempre foi um importante atrativo para diversos operadores. Quanto mais próxima do piso a fuselagem se encontra, mais simples serão os procedimentos de solo, como, por exemplo, o carregamento de bagagens. Isso se torna especialmente interessante em aeroportos pequenos, afastados dos grandes centros e com poucos recursos. É comum observar as bagagens sendo colocadas e retiradas de um Boeing 737 diretamente pelos braços do pessoal de solo, sem o emprego de esteiras.

A pequena distância passou a significar, porém, um desafio para o posicionamento do novo motor. Simplesmente incorporar o motor maior no projeto antigo faria com que o propulsor ficasse próximo demais do solo, o que não é adequado. Quanto mais próximo o motor estiver do solo, maior a possibilidade de sugar objetos estranhos presentes no pátio, *taxiway* ou na pista de decolagem, por exemplo. Inúmeras alternativas foram avaliadas, até que finalmente o fabricante optou por deslocar os motores levemente para frente. Esta nova posição permitia posicionar os mesmos um pouco mais para cima, ganhando distância em relação ao solo. Tal solução acabou por alterar levemente o comportamento da aeronave durante o voo em algumas condições especiais.

A alteração produziu uma tendência de o nariz da aeronave subir inadvertidamente quando em condições de voo específicas, como elevado AOA e velocidades intermediárias. Embora este comportamento anormal fosse observável apenas em condições muito particulares, e raramente vividas no ambiente da aviação comercial, a Boeing passou a desenvolver um sistema automático que corrigisse esse desvio. Esse recurso automático ficou conhecido como MCAS (*Maneuvering Characteristics Augmentation System*).

O MCAS tornava-se ativo nas seguintes condições:

- Voo manual
- *Flaps* recolhidos
- Valor elevado de AOA indicado pelo sensor, superando um valor de referência que é definido em função da velocidade

Quando ativo, o MCAS comandava automaticamente o *trim*, movendo o estabilizador para AND. O comando elétrico do MCAS seria repetido em intervalos de tempo regulares, até que o AOA fosse reduzido. Os pilotos poderiam atuar no *trim* e assim buscar reverter à ação do MCAS, porém o sistema estava regulado para, caso AOA permanecesse elevado ao fim da ação dos pilotos, o MCAS voltaria a agir cinco segundos após.

É interessante observar que, graças à falha de calibração do sensor de AOA esquerdo, o valor medido por este enquanto a aeronave estava no ar foi sempre aproximadamente 20°. Comparando-se com o valor medido pelo AOA da direita é possível entender o quanto elevado seria uma medida de 20° para os padrões de voo da aviação comercial (Figura 6). Foi este valor excessivo de inclinação que disparou a ação do MCAS, o que estava conforme projeto da Boeing. Contudo, uma vez que o sensor se apresentava com falha de calibração, a leitura era errônea, e a ação do MCAS resultante foi indevida.

O MCAS foi projetado para usar os dados de apenas um sensor, tornando o sistema mais vulnerável a falhas na visão dos investigadores:

“MCAS was designed to rely on a single AOA sensor, making it vulnerable to erroneous input from that sensor.” (KNKT, 2019)

A partir dos dados da caixa-preta que representam os primeiros minutos de voo é possível compreender melhor a dinâmica de atuação do MCAS. Enquanto os *flaps* estão estendidos, não há ação do MCAS (Figura 10). Uma vez que os *flaps* são recolhidos a ação do MCAS começa. A atuação do MCAS sobre o *trim* tem um período maior que as ações anteriores, e sempre acontece no sentido de aplicar AND. Após essa primeira ação do MCAS, o *trim* manual é acionado durante um curto período de tempo, e na sequência, o piloto automático da direita é ativado. A ativação do piloto automático interrompe qualquer ação do MCAS. Alguns segundos depois o piloto automático é desligado, e imediatamente ocorre novamente a ação do MCAS sobre o *trim*. São observadas ao menos duas ações longas do MCAS, que resultam na diminuição significativa da posição do *trim*. Pouca ação contrária é observada através do *trim* elétrico manual. A intensa ação do MCAS interrompe a subida, fazendo com que a altitude se estabilize e depois comece a diminuir. Neste momento a ação sobre o *trim* elétrico manual ocorre de forma mais prolongada, elevando o valor do *trim* position e fazendo com que a aeronave volte a subir.

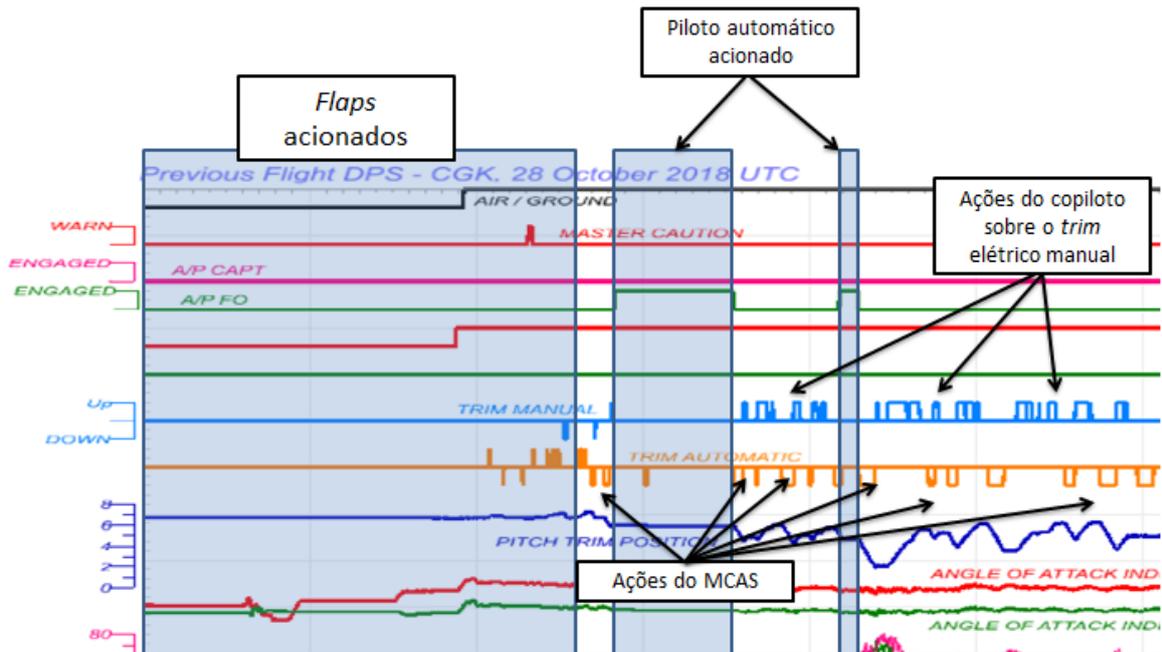


Figura 10: Dados da caixa-preta revelando a ação do MCAS.

Fonte: KNKT (2019)

Na sequência existem mais cinco atuações do MCAS, todas compensadas, em maior ou menor grau, pelo *trim* elétrico manual. Até que, às 14h28:15 (UTC) os *Stab Trim Switches* passam para a posição CUT OUT. Embora dos dados da caixa-preta não revelem a posição dos *switches*, é possível concluir sobre este posicionamento dos *switches* em função do fato que a ação seguinte do MCAS já não resulta em qualquer alteração no *pitch trim position* (Figura 11).

Os *switches* permanecem nessa posição durante os próximos 4 minutos, aproximadamente, quando se observa nova ação do MCAS e intensa queda do *trim position*. Os *switches* teriam sido colocados, por alguns segundos, na posição NORMAL, permitindo a ação do MCAS. Os *switches* são colocados novamente na posição CUTOOUT, e a ação seguinte do MCAS já não resulta em alteração do *trim position*.

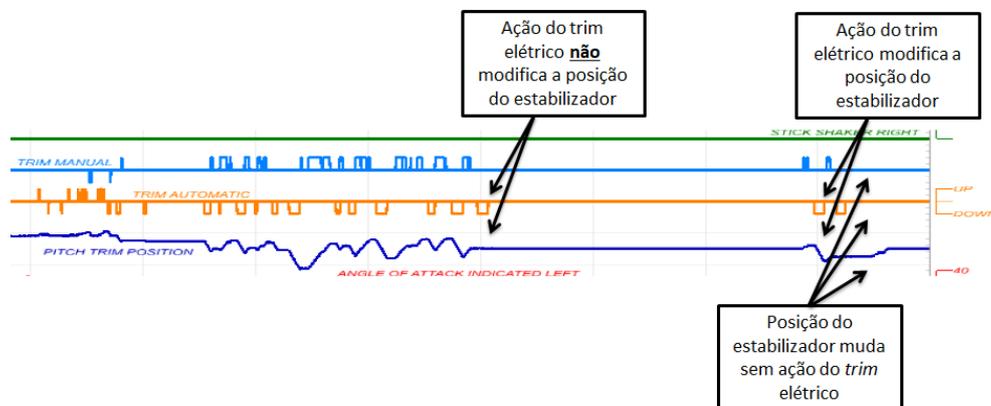


Figura 11: Relação entre ação elétrica do *trim* e movimentação do estabilizador revela posição dos *Stab Trim Switches*.

Fonte: KNKT (2019)

A alteração do *trim position* vista na sequência, sem qualquer atividade do *trim* automático ou manual elétrico, deve-se a atuação sobre as “*trim wheels*”, ou *trim* manual mecânico. Neste caso, um dos membros da tripulação gira, manualmente, a roda do *trim* na lateral do console central do *cockpit*.

Finalmente, é interessante observar que, durante o processo de certificação, a Boeing avaliou o cenário de atuação indevida do MCAS. O fabricante acreditava que em três segundos os pilotos compreenderiam o que estava ocorrendo e iniciariam uma ação inversa sobre o *trim* elétrico manual. Essa premissa, porém, se mostrou falsa. A primeira reação da tripulação do voo LNI043, ao perceber que o nariz da aeronave se inclinava para baixo, foi puxar o manche para trás. Essa resposta, porém, não altera o *trim* do estabilizador horizontal. À medida que o MCAS atua sobre o *trim* o peso do manche aumenta, tornando cada vez mais difícil manter o nível da aeronave por este método.

5 DECISÃO DE CONTINUAR O VOO

A decisão do comandante do voo LNI043 em continuar até o destino original (Jakarta) é um dos itens que demanda mais atenção. É certo que a decisão de continuar o voo foi tomada mesmo ciente das seguintes restrições: *stick-shaker* ativo continuamente; voo somente em condições manuais, sem uso do piloto automático; *trim* apenas manual com ação mecânica; instrumentos confiáveis somente no painel direito (copiloto).

Os investigadores buscaram o histórico de decisões de tripulações de aeronaves Boeing que enfrentaram o acionamento contínuo do *stick-shaker* ao longo de seus voos. Foram levantados dados de 29 voos, onde em 21 a tripulação optou por retornar (KNKT, 2019). Em três casos houve desvio de rota para um aeroporto diferente do inicialmente planejado. Em apenas cinco casos, incluindo o voo LNI043, os pilotos decidiram continuar até o destino original. Ou seja, em 24 casos o voo não foi continuado do modo inicialmente planejado (KNKT, 2019). Os 29 casos analisados incluem três envolvendo aeronaves modelo 737-300, quatro do modelo -700, dezoito do modelo -800, um caso envolvendo o modelo 757-200, um o modelo 767-200 e outro o modelo 767-300, além do caso da Lion Air, que envolveu aeronave 737-8 (MAX) (KNKT, 2019).

Visando compreender os outros quatro voos cuja tripulação também decidiu seguir até o destino original, os investigadores verificaram o contexto no qual essa decisão foi tomada. Os subitens abaixo apresentam breve descrição deste contexto (KNKT, 2019):

Caso 1: embora a falha de instrumentos tenha ocorrido durante a subida inicial, o *stick-shaker* só ficou ativo a partir de 16000 pés. A tripulação associou este acionamento com a falha de

instrumentos. Uma vez que as condições meteorológicas em rota eram favoráveis, a equipe decidiu prosseguir.

Caso 2: neste caso o *stick-shaker* foi acionado apenas durante a aproximação final. A tripulação decidiu seguir para pouso.

Caso 3: o *stick-shaker* foi ativado logo que a aeronave deixou o solo. Os NNC de “*Altitude Disagree*” e “*Airspeed Unreliable*” foram aplicados, e com isso o *stick-shaker* cessou. A tripulação decidiu seguir até o destino original.

Caso 4: neste voo o *stick-shaker* foi acionado logo após a decolagem. A decisão de continuar até o destino foi baseada no fato da aeronave estar muito pesada para pousar imediatamente após a decolagem. As boas condições meteorológicas em rota também contribuíram para a decisão.

Os casos 3 e 4 guardam mais semelhança com o ambiente enfrentado pela tripulação da Lion Air, por envolver o acionamento do sistema de alerta logo nos primeiros instantes do voo. Porém, no caso 3, o alerta parou logo após a aplicação dos dois NNC, enquanto no caso 4 o peso da aeronave impossibilitava um retorno imediato para pouso.

Em diversos modelos de aeronaves, o peso máximo para decolagem é superior ao peso máximo para pouso (USA TODAY, 2017). Uma vez que o combustível representa parcela significativa do peso total durante a decolagem, e sabendo que tal combustível será consumido em rota, é fácil entender que, ao chegar ao destino planejado, à aeronave estará abaixo do peso máximo para pouso. Porém, caso seja necessário fazer um pouso não planejado imediatamente após a decolagem, a tripulação terá de lidar com essa situação de forma especial. É possível optar por manter-se em órbita em posição próxima ao aeroporto durante o tempo necessário para consumir combustível suficiente, ou liberar o combustível extra na atmosfera, procedimento denominado de “alijamento” (USA TODAY, 2017), o que é possível em alguns modelos de aeronaves e em posições geográficas e altitudes específicas. Finalmente, em cenários onde o pouso deve ser feito o mais depressa possível, é possível seguir para pouso mesmo com peso excessivo, aceitando o risco de eventuais danos estruturais. O cenário de peso de decolagem superior ao peso máximo permitido para pouso é mais comum em rotas longas, onde a quantidade de combustível utilizado é grande. No caso do voo LNI043, tratava-se de voo curto, com duração aproximada de 90 minutos. Logo, embora o relatório final não faça tal avaliação, é pouco provável que, para este voo, o peso tenha sido uma variável importante na decisão de continuar.

Em função do histórico levantado, os investigadores concluem que a decisão de continuar até o destino inicial é algo não comum (“*is not common*”) ou fortemente não usual (“*highly unusual*”) (KNKT, 2019).

Uma das razões apontadas pelo piloto da Lion Air para continuar foi o fato que nenhum dos três NNC aplicados (“*Airspeed Unrealible*”, “*ALT Disagree*” e “*Runaway Stabilizer*”) indicava o pouso no aeroporto mais próximo. Embora seja verdade que os NNC empregados não apontam a necessidade de pouso no aeroporto mais próximo, os investigadores indicam que sempre é dever do piloto julgar o que é mais adequado (KNKT, 2019). De acordo com o QRH (*Quick Reference Handbook*):

“While every attempt is made to supply needed non-normal checklists, it is not possible to develop checklists for all conceivable situations. In some multiple failure situations, the flight crew may need to combine the elements of more than one checklist. In all situations, the captain must assess the situation and use good judgment to determine the safest course of action.” (KNKT, 2019)

A mesma indicação é dada no FCTM (*Flight Crew Training Manual*), ou seja, que em situações anormais, o comandante, tendo autoridade e responsabilidade pela operação e segurança do voo, precisa tomar a decisão de continuar o voo conforme planejado ou buscar uma alternativa adequada:

“If the NNC or the Checklist Instructions do not direct landing at the nearest suitable airport, the pilot must determine if continued flight to destination may compromise safety.” (KNKT, 2019)

Embora o relatório não discorra sobre este ponto, pode ser interessante avaliar se o atraso na decolagem do voo LNI043 teria sido um fator influenciador na decisão dessa tripulação. O voo, com duração estimada de aproximadamente 90 minutos, decolou com quase 3 horas de atraso. As razões para o atraso não constam do relatório. Obviamente este atraso é inconveniente para os passageiros, e a tripulação pode se sentir pressionada a compensar o incomodo. O grau de autocobrança do comandante pode tornar-se enorme, chegando inclusive a influenciar nas suas decisões. Autocobrança exagerada foi um dos fatores contribuintes presentes no acidente de Tenerife (ALPA REPORT; e VAZ JUNIOR, 2018)

O simples atraso, e a necessidade de compensá-lo, pode ser fator influenciador para um acidente. Cita-se o caso da aeronave cargueira da empresa aérea brasileira Transbrasil (voo 801), que em 21 de março de 1989 se chocou contra o solo durante a aproximação final para o aeroporto de Guarulhos, em São Paulo. O aeroporto de Guarulhos iria fechar para pouso alguns minutos mais tarde, de modo que a tripulação decidiu apressar o procedimento de descida para poder pousar no destino pretendido (CENIPA, 1991). Outro exemplo onde o atraso contribuiu com a dinâmica de um acidente foi o caso do voo 965 da American Airlines, que colidiu com montanhas próximas ao aeroporto de Cali, na Colômbia, em dezembro de 1995 (AERONAUTICA CIVIL OF THE REPUBLIC OF COLOMBIA, 1996).

A decisão de continuar o voo mesmo em condições não ideais pode, assim, ter sido influenciada pelo enorme atraso que já havia sido imposto aos passageiros. Optar por retornar retardaria ainda mais sua chegada ao destino. Ressalta-se, porém, que não existe qualquer diálogo na cabine do voo LNI043, que esteja reproduzido no relatório final, que faça qualquer menção ao atraso ou pressão relacionada.

6 REGISTROS REALIZADOS APÓS O VOO

Após o pouso, o comandante registrou no AFML os seguintes problemas: IAS DISAGREE, ALT DISAGREE e o acendimento da lâmpada de FEEL DIFF PRESS durante o voo (KNKT, 2019). Mais importante do que as falhas citadas pelo piloto são aquelas que, por alguma razão, deixaram de ser mencionadas: *stick-shaker* ativo durante todo o voo, *runaway stabilizer*, posicionamento dos *switches* STAB TRIM na posição CUTOUT e o uso do *trim* manual mecânico ao longo do trajeto.

Para os investigadores, esse registro parcial no AFML ocorreu pelo entendimento incompleto que o piloto possuía sobre os problemas que havia enfrentado (KNKT, 2019). Por exemplo, o tripulante teria considerado que a ativação do *stick-shaker* estava relacionada apenas e diretamente a falha do sensor de velocidade (IAS DISAGREE). Essa visão apresentada pelos investigadores, contudo, não esclarece o motivo pelo qual fatos como a ocorrência de *runaway stabilizer*, o posicionamento dos *switches* em CUTOUT e o uso do *trim* mecânico, não terem sido mencionados.

O relatório final reforça a importância de um registro completo dos problemas por parte da tripulação. Relatos completos permitem que setores de engenharia e mecânicos tenham ações mais efetivas, o que definitivamente não ocorreu nas horas que separaram o pouso do voo LNI043 e a decolagem do voo LNI610.

A exigência do detalhamento consta de normas e procedimentos. O *Operation Manual* (OM) estabelece que, após o voo, o comandante deve garantir que todas as “discrepâncias e irregularidades mecânicas” notadas durante o trajeto sejam registradas no AFML (KNKT, 2019):

“In regards with defect report, the OM-part A subchapter 2.1.14.3 described that Captain has following responsibility: (...)

-Record and report all defects in AFML”

O mesmo manual declara também que ocorrências que tenham, ou poderiam ter, impacto para a segurança das operações, devem gerar registro por parte do piloto no *Air Operations – Safety Hazards & Occurrence Report (A-SHOR)*. O registro pode partir também de qualquer outro funcionário da Lion Air, usando o *Safety Hazard and Occurrence Report (SHOR)*. O próprio OM exemplifica situações que deveriam ser registradas, tais como (KNKT, 2019):

- *“Malfunction or failure of the flight control system; and*
- *System failures, weather phenomena, operations outside the approved flight envelope or other occurrences which caused or could have caused difficulties controlling the aircraft.”*

O OM requer que o piloto reporte para a empresa qualquer ocorrência que represente, ou possa representar, impacto para a segurança. Exemplos de eventos reportáveis (página 98, KNKT, 2019):

- *“Aircraft handling difficulties including abrupt maneuver, excessive pitch attitude, aircraft trim problems, un-commanded roll, or un-commanded turn;*
- *Warning or alert, including flight control warnings, door warnings, stall warning (stick-shaker), fire/smoke/fumes warning and stall or stall warning.”*

A situação enfrentada pela tripulação do voo LNI043 é bastante similar aquela exemplificada no manual como sendo registrável. O comandante mostrou ter ciência da gravidade das condições enfrentadas, declarando PAN PAN para o ATC, solicitando aproximação direta no aeroporto de destino, relatando estresse e pressão no cockpit, etc. Mesmo ciente deste cenário, o registro mais completo não foi feito.

Além de não mencionarem fatores importantes, os registros feitos pela tripulação do voo LNI043 não foram completamente avaliados pela Lion Air por terem sido inseridos fora do horário comercial. Os registros não foram considerados, naquele momento, um incidente sério (*“serious incident”*). Deste modo, não pareciam representar risco para o voo seguinte da mesma aeronave.

Finalmente, os investigadores verificaram que, de acordo com os dados da caixa-preta, após o pouso o sistema elétrico de *trim* do estabilizador horizontal estava ativo. Isso significa que os *switches* STAB TRIM CUTOUT foram retornados para a posição normal quando a aeronave já estava no solo.

7 CONCLUSÕES

Acidentes são a fronteira mais indesejável e trágica da segurança, mas também são oportunidades únicas de reflexão e aprendizado. Os relatórios de investigação de acidentes visam sempre à melhoria contínua, objetivando prevenir acidentes futuros. O viés punitivo não deve conduzir à escrita e a leitura de um relatório de acidente, conforme estabelecido em convenções internacionais. É no contexto prevencionista que o presente artigo foi elaborado. Passados doze meses do acidente do Boeing 737-8 (MAX) da Lion Air, e menos de um mês da divulgação do relatório final da investigação, é tempo de refletir e traçar caminhos ainda mais seguros para o setor. A partir da análise do incidente envolvendo o voo 043 da Lion Air é possível compreender que alguns processos precisam ser melhorados. Destaca-se, inicialmente, a necessidade de discutir a fundo a necessidade de treinamento e capacitação das tripulações diante de mudanças por vezes consideradas menores. Obviamente que toda elevação de carga horária de treinamento representa custo, mas é preciso ponderar como tais mudanças impactam na segurança e como o treinamento deve ser efetuado. Modernos sistemas de gestão de segurança dispõem de elementos que tratam de análise de risco, gerenciamento de mudanças e treinamento e capacitação (CCPS, 2007). É na união entre os três elementos que surgem as maiores oportunidades de melhoria. No caso do Boeing 737-8 (MAX), os investigadores discutem a análise de risco efetuada pelo fabricante, e como a classificação de risco do cenário de ação indevida do MCAS impactou na segurança operacional. Foram assumidas hipóteses errôneas para o comportamento da tripulação, e tais hipóteses foram usadas como base para o ajuste do sistema de treinamento das tripulações. A mudança representada pela incorporação do MCAS não parecia apresentar impacto significativo na segurança, logo a transição do NG para o MAX podia ser realizada com pouco ou nenhum treinamento relativo a este novo recurso. Entender a ligação entre os elementos do sistema de gestão é uma oportunidade de melhoria gerada a partir do estudo do incidente do voo 043.

Outro fator contribuinte foi o processo de certificação adotado pela FAA e questionado em recente documento emitido pela NTSB (2019). Destacam-se ainda o controle de qualidade dos serviços de manutenção realizada por terceiros, como no caso da manutenção do sensor de AOA, assim como o modo como as tripulações registram eventos anormais ocorridos em voo e as empresas lidam com tais registros. Outro ponto de estudo é a arquitetura ideal de alarmes, evitando que alarmes

múltiplos possam dificultar a identificação da falha por parte das tripulações (BEA, 2012 e NTSB, 2019).

Por outro lado, a capacidade da tripulação do voo LNI043 em lidar com uma falha não sinalizada conforme o esperado, gerada por um sistema sobre o qual tinham pouca ou nenhuma informação, é digna de elogio. O êxito da tarefa passou, por exemplo, pela aplicação de diversos conceitos de CRM (*Crew Resource Management*). Antes da decolagem o comandante se informou sobre os serviços de manutenção realizados na aeronave, conversando com o pessoal de terra e verificando os documentos de registro. Na sequência, essas informações foram repassadas para os demais membros da tripulação. O comandante soube aproveitar a presença de um terceiro membro qualificado no cockpit. Inclusive, este membro foi o primeiro a perceber que a aeronave estava perdendo altura, e seu alerta foi prontamente considerado por todos. Na sequência, o piloto solicitou que todos ajudassem no monitoramento das condições de voo. Finalmente, envolveu os comissários na tarefa de manter os passageiros em segurança, e solicitou ao ATC condições que reduzissem a carga de trabalho na cabine.

Destaca-se ainda a ação do comandante em transferir, imediatamente, a pilotagem para o copiloto. Na visão dos investigadores, expressa no relatório, isso ocorreu, pois, o piloto estava ciente dos problemas que afetavam os sensores localizados no lado esquerdo da fuselagem. Embora verdadeira, pode existir ainda uma segunda explicação para este comportamento, não discutida no relatório. Ao transferir a pilotagem para o colega, foi possível que o comandante focasse exclusivamente na identificação da falha e no seu gerenciamento. Foi possível se concentrar nos *check-lists* e gerenciar os recursos disponíveis. Dispor do membro mais experiente para a tarefa de identificar e corrigir o problema revelou-se uma estratégia adequada. Ao observar o comportamento indevido do sistema de *trim*, o piloto decidiu imediatamente cortar o sistema elétrico do estabilizador horizontal, o que testes em simuladores durante a investigação do acidente do voo 610 revelaram ter sido crucial para manter o controle da aeronave. A divisão de tarefas, o trabalho em grupo de forma coordenada e visando um objetivo comum, são pilares do CRM, e mostraram seu enorme valor durante o voo LNI043.

REFERÊNCIAS

Aeronautica Civil of the Republic of Colombia, “*Aircraft Accident Report, Controlled Flight Into Terrain, American Airlines Flight 965, Boeing 757-223, N651aa Near Cali, Colombia, December*

20, 1995”. Setembro de 1996. Disponível em: <http://www.rvs.uni-bielefeld.de/publications/Incidents/DOCS/ComAndRep/Cali/calirep.html>

ALPA, Air Line Pilots Association, “*Aircraft Accident Report. Tenerife, 1977*”. Disponível em: <http://www.project-tenerife.com/engels/PDF/alpa.pdf>

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil, “ANACpédia”. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_ing/tr1569.htm

BEA, Bureau d’Enquêtes et d’Analyses. “*Final Report: On the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris*”. Julho de 2012. Disponível em: <https://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601.en/pdf/f-cp090601.en.pdf>

CENIPA, Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, Comando da Aeronáutica, Brasil. “*Relatório Final, Aeronave Modelo B-707-349-C, Matrícula PT-TCS, Transbrasil, Acidente em 21 de março de 1989, São Paulo*”. Abril de 1991. Disponível em: http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/p_t_t_c_s_report_final_1989.pdf

Cleyen, O., “*Tail of a conventional aircraft.svg*”. Imagem disponível em: https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Tail_of_a_conventional_aircraft.svg#mw-jump-to-license

CCPS, Center for Chemical Process Safety. “*Guidelines for Risk Based Process Safety*”. 1ª Edição. Editora Wiley. ISBN: 978-0470165690. 2007

FAA, Federal Aviation Administration. “*Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM)*”. Agosto de 2017. Disponível em: https://www.faa.gov/air_traffic/separation_standards/rvsm/

Fisher, A., “*Do you really understand how your trim works?*”. Junho de 2013. Disponível em: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2627.pdf>

Brazilian Journal of Development

KNKT, Komite Nasional Keselamatan Transportasi Republic Of Indonesia, “*Aircraft Accident Investigation Report / PT. Lion Mentari Airlines / Boeing 737-8 (MAX); PK-LQP Tanjung Karawang, West Java; Republic of Indonesia; 29 October 2018*”. Outubro de 2019. Disponível em: <https://www.flightradar24.com/blog/wp-content/uploads/2019/10/JT610-PK-LQP-Final-Report.pdf>

National Transportation Safety Board, “*Assumptions Used in the Safety Assessment Process and the Effects of Multiple Alerts and Indications on Pilot Performance – Safety Recommendation Report*”. Setembro, 2019. Disponível em: <https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/ASR1901.pdf>

Seattle Times, “*Why Boeing’s emergency directions may have failed to save 737 MAX*”. Dominic Gates, Abril de 2019. Disponível em: <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/boeings-emergency-procedure-for-737-max-may-have-failed-on-ethiopian-flight/>

The Wall Street Journal, “*Boeing Seeks Blessing to Deliver 737 MAX as FAA Reviews Pilot Training*”. Andrew Tangel e Andy Pasztor. Novembro de 2019. Disponível em: https://www.wsj.com/articles/boeing-seeks-blessing-to-deliver-737-max-as-faa-reviews-pilot-training-11573421213?mod=business_lead_pos4

USA Today, “*Ask the Captain: Fuel dumping explained*”. John Cox. Junho de 2019. Disponível em: <https://www.usatoday.com/story/travel/columnist/cox/2017/06/11/fuel-dumping/102668594/>

Vaz Junior, C.A. “*Remembering Tenerife: 40 Years Later*”. SF Journal of Aviation and Aeronautical Science Vol 1, Ed. 2, Article 1012 (2018). Disponível em: <https://scienceforecastoa.com/Articles/SJAAS-V1-E2-1012.pdf>

Washington Post, “*House leaders demand FAA answer why it overruled its own engineers’ safety concerns about Boeing 737 Max*”. Ian Duncan. Novembro de 2019. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/transportation/2019/11/07/house-leaders-demand-faa-answer-why-it-overruled-its-own-engineers-safety-concerns-about-boeing-max/>