

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
JOÃO PEDRO SILVA MULLER DE OLIVEIRA

**BOIENG 737 MAX: UMA BREVE ANÁLISE SOBRE
OS ACIDENTES OCORRIDOS**

Taubaté - SP
2023

JOÃO PEDRO SILVA MULLER DE OLIVEIRA

**BOIENG 737 MAX: UMA BREVE ANÁLISE SOBRE
OS ACIDENTES OCORRIDOS**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Aeronáutica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador (a): Prof. MSc. Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto

**Taubaté – SP
2023**

Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi
Universidade de Taubaté - Unitau

O48b Oliveira, João Pedro Silva Muller de
Boieng 737 Max: uma breve análise sobre os acidentes ocorridos/ João
Pedro Silva Muller de Oliveira. -- 2023.
33 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2023.
Orientação: Prof. Me. Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto, Departamento
de Engenharia Mecânica.

1. Acidente. 2. Boeing 737. 3. Sistema MCAS. I. Universidade de
Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. Graduação em
Engenharia Aeronáutica. II. Título.

CDD – 629.1341

JOÃO PEDRO SILVA MULLER DE OLIVEIRA

BOIENG 737 MAX: UMA BREVE ANÁLISE SOBRE OS ACIDENTES OCORRIDOS

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Aeronáutica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

DATA: _____

RESULTADO: _____

BANCA EXAMINADORA:

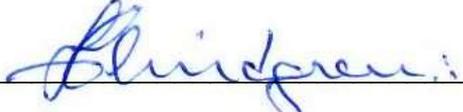
Prof. MSc. Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: _____



Documento assinado digitalmente
PEDRO MARCELO ALVES FERREIRA PINTO
Data: 23/11/2023 10:12:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. MSc. Maria Regina Hidalgo Oliveira Lindgren UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura:  _____

(16/11/2023)

EPÍGRAFE

“O importante é não parar de questionar.”
(ALBERT EINSTEIN)

RESUMO

O objetivo deste projeto foi analisar os fatores que foram determinantes para que ocorresse os acidentes das aeronaves Boeing 737 em 2018, para que sirva de experiência e conhecimento. Para atingir esse objetivo, foi utilizada pesquisa descritiva com abordagem qualitativa. Acidentes aeronáuticos são grandes preocupações e geram grande comoção, pelo fato de resultar em grandes fatalidades, como foi o que ocorreu nos dois acidentes das aeronaves. Por isso, deve-se sempre buscar o máximo de conhecimento possível, amplo e consciente sobre as causas e erros, para solucionar o motivo de ter ocorrido e evitar futuras tragédias. A partir das análises de dados e pesquisa, foi possível verificar o fato que levou ao desastre, no qual foi um erro no sistema de estabilização MCAS e a falta de instruções aos pilotos sobre este sistema.

Palavras-chave: Acidente. Boeing 737. Sistema MCAS.

ABSTRACT

The objective of this project was to analyze the factors that were decisive for the accidents of the Boeing 737 aircraft in 2018, to serve as experience and knowledge. To achieve this objective, descriptive research with a qualitative approach was used. Aeronautical accidents are a major concern and generate great commotion, since they generate large fatalities, as happened in the two aircraft accidents. Therefore, one should always seek as much knowledge as possible, broad and conscious about the causes and errors, to solve the reason for what happened and also to avoid future tragedies. From data analysis and research, it was possible to verify the fact that led to the disaster, which was an error in the MCAS stabilization system and the lack of instructions to the pilots about this system.

KEYWORDS: Accident. Boeing 737. MCAS system

Figura 1 - Primeiro voo do 14-bis no campo de Bagatelle, em Paris.....	10
Figura 2 - Versão Antiga Boeing 737	12
Figura 3 - Sensor de Ângulo de Ataque (AOA)	15
Figura 4 - Boeing 737 Max 8 da Lion Air	16
Figura 5 - Boeing 737 Max 8 da Etiópia Airlines.....	17
Figura 6 - 737 <i>New Generation</i> à esquerda; 737 Max à direita.....	18
Figura 7 - Indicadores de AOA e <i>AOA Disagree</i>	20
Figura 8 - Indicador de AOA no PFD.....	22
Figura 9 - Botão de ajuste do compensador elétrico	23
Figura 10 - Simplificação esquemática da atualização do FCC	25
Figura 11 - Novo Painel da Aeronave 737 Max.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil
CENIPA - Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
FAA - Agência Nacional de Aviação Civil dos Estados Unidos
MCAS - Sistema de Aumento de Características de Manobra
ONU - Organizações das Nações Unidas
KNKT - Comitê Nacional de Segurança e Transportes
AOA – Ângulo de Ataque
IAS – Velocidade Indicada
ATC – Controle de Tráfego Aéreo
FDR – Gravador de dados de voo
PFD – Tela principal de voo
FCC – Computador de controle de voo
SSA – Sistema Integrado de Segurança
CMM – Manual de manutenção de componentes

SUMÁRIO

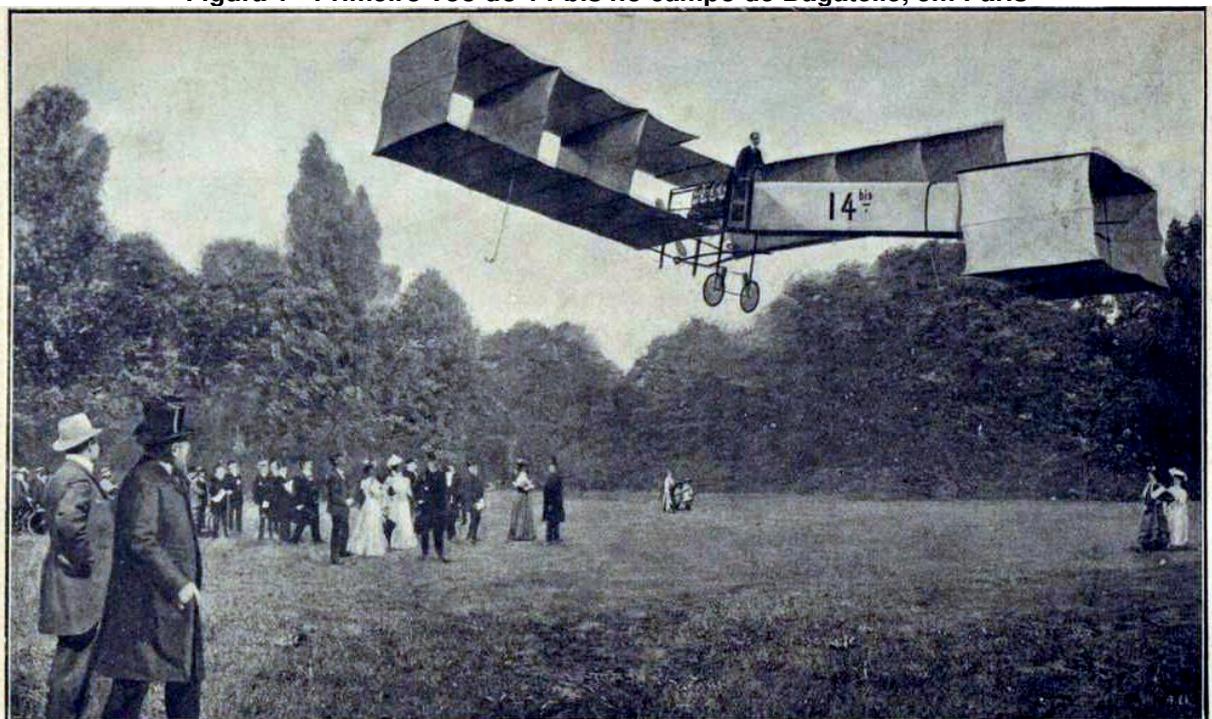
1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA	11
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo Geral.....	11
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
2	BOEING 737 MAX.....	12
2.1	O Acidente.....	13
2.1.1	Primeiro Acidente	14
2.1.2	Segundo Acidente	16
3	SISTEMA MCAS	18
3.1	A Primeira Falha.....	20
3.1.2	A Segunda Falha.....	21
3.2	APÓS O ACIDENTE	21
3.2.1	A Retomada.....	26
4	CONCLUSÃO.....	27
	REFERÊNCIA.....	28

1 INTRODUÇÃO

Em toda a história da humanidade, o homem sempre almejou conhecimento, descobrir e desenvolver cada vez mais coisas novas, e um dos maiores desejos foi o de aprender a voar.

Uma das maiores evoluções tecnológicas da história e o objetivo de conseguir voar foi realizado graças ao brasileiro Alberto Santos Dumont, em 23 de outubro de 1906, em Bagatelle, Paris, através do seu rústico avião coberto de papel seda e madeiras, chamado 14-Bis.

Figura 1 - Primeiro voo do 14-bis no campo de Bagatelle, em Paris



M. SANTOS DUMONT'S FIRST SUCCESS WITH A FLYING MACHINE.

M. Santos Dumont, after several preliminary trials in Paris on November 12th, when his flying machine had flown 75, 128, and 142 yards, decided to return to his starting point by going against the wind. For thirty yards the motor ran along the ground, then suddenly it rose to a height of about five yards, and appearing like a great white bird, it soared half-way down the course. M. Santos Dumont, startled by some spectators in his way, twisted his rudder quickly, and the machine came heavily to the ground, damaging one of its wings. The experiment, however was a triumph, for actual flight was achieved; and it seems as though it were only a matter of time for the conquest of the air to be accomplished. The 235 yards were traversed in twenty-one seconds.

Fonte: Wikipédia (2008)

Um grande avanço da tecnologia se deu em razão do início da Segunda Guerra Mundial, a qual perdurou entre 1939 a 1945, na medida em que foram sendo utilizados em grandes proporções e com maiores capacidades de transportar pessoas. (POZZEBOM, 2015).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, houve crescente desenvolvimento tecnológico, principalmente na aviação comercial e isso abriu a possibilidade de

realizar voos transportando passageiros e mercadorias para todo o mundo. E com isso, tornou-se essencial a criação de regras de segurança, regularidades e eficiência para proporcionar segurança e conforto aos usuários em todo o mundo.

Em 1944 foi assinado um decreto chamado de Convenção de Chicago, e em 1946 esta foi ratificada pelo Decreto 21.713 a qual constitui a base do sistema de direito internacional que regula a aviação, sendo composta por 96 artigos, que proporcionam os padrões e recomendações, bem como desenvolvimento seguro e ordenado. Esta Convenção é dividida em “Navegação Aérea”, “Organização Internacional da Aviação Civil”, “Transporte Aéreo Internacional” e disposições finais, conforme ANAC.

Desde a criação da Convenção de Chicago até os dias de hoje, a atividade aérea sofreu numerosas e significativas mudanças. O aperfeiçoamento do avião, tanto de suas capacidades e tecnologia, quanto dos processos de projeto, fabricação, certificação e manutenção contribuíram para que os índices de acidentes tivessem uma redução. (BRASIL, 2017a).

No entanto, acidentes ainda continuam acontecendo, segundo o sumário estatístico Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), realizado 2010 a 2019, foram registrados 1.210 acidentes e 559 incidentes graves quanto ao tipo de aeronave no contexto da aviação civil brasileira. Por isso faz-se necessário analisar e estudar de forma mais detalhada os motivos destas ocorrências e buscar evitá-las.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Os parâmetros principais responsáveis por protagonizar os acidentes envolvendo as aeronaves Boeing 737 MAX.

1.2 OBJETIVOS

Para Cervo, Bervian e da Silva (p. 75, 2007), o objetivo se caracteriza por determinar de forma clara e objetiva a intenção de se realizar a pesquisa.

1.2.1 Objetivo Geral

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo geral estudar as relações existentes entre os fatores contribuintes para as tragédias associadas aos voos JT610 e ET302

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os elementos chaves que desencadearam os eventos
- Apresentar as correções implementadas e aprendidas após os acidentes aéreo.

2 BOEING 737 MAX

O primeiro 737 da história foi lançado em 1967, no qual se tornou muito popular. “No início, o 737 era uma aeronave muito forte e confiável”, disse Graham Simons, historiador da aviação e autor do livro “Boeing 737: O jato comercial mais controverso do mundo”. Destacava-se pelo fácil abastecimento, econômico, não exigia escadas de ar, mais espaçoso (tinha seis assentos por fileira, em comparação com os concorrentes que tinha cinco), seu tempo de operação no aeroporto era de apenas 40 minutos, comparado aos outros que levavam, pelo menos, 90 minutos.

Figura 2 - Versão Antiga Boeing 737



Fonte: Deckleva ,Reinaldo - Aviacaobrasil (1996)

Em 1987, a aeronave já era a mais encomendada da história comercial, com sua nova formulação em 1984. O modelo constituía-se por ser mais largo e comprido, agora sua capacidade era de 150 pessoas, com motor mais moderno. Graças ao novo sucesso, a Boeing decidiu não projetar uma nova aeronave.

Em 1993, a terceira geração foi lançada como Next Generation, que provou ser extremamente popular e consolidou a posição de aeronave com passageiros mais bem-sucedido do mundo. Esta nova geração teve suas asas alteradas, capacidade de combustível, motor, cabine e interior aumentados, além de aumentar o peso consequentemente. Agora, acomodava em torno de 110 a 189 passageiros.

Boeing 737 MAX, a da quarta geração, a mais vendida na história da aviação. Seu projeto teve início do ano de 2011 e seu desafio foi integrar motores maiores que não cabiam sob as baixas asas do avião. A solução foi adicionar comprimento no trem de pouso dianteiro e montar os motores à frente e mais alto das asas, contudo isso alterou a aerodinâmica o avião, ocasionando uma inclinação perigosa em certas situações.

Para contornar esse problema, foi desenvolvido um sistema de segurança chamado MCAS (*Maneuvering Characteristics Augmentation System*, ou Sistema de Aumento de Características de Manobra), que tinha seu objetivo de empurrar imediatamente o nariz do 737 para baixo certas condições de voo. A empresa projetou o MCAS e acreditou que seriam raras as situações em que o sistema seria necessário, por isso foi omitido nos manuais e não incluído nos treinamentos dos pilotos, já certificados das versões anteriores, exigida para o novo 737 MAX. Além disso, o sistema utiliza-se de apenas um único sensor como parâmetro de referência. As vantagens na nova aeronave era por ser mais econômico de se operar, redução de queima de combustível, com conscientização ambiental, não exigia treinamentos caros, tinha maior alcance, sua capacidade agora era de até 204 pessoas.

2.1 O Acidente

Em menos de seis meses, entre 29 de outubro de 2018 e 10 de março de 2019, aconteceram dois acidentes fatais ambos envolvendo o Boeing 737 MAX 8, por causa do sistema MCAS que foi ativado incorretamente devido a dados errôneos de um sensor defeituoso que acabou inclinando o nariz do avião para baixo.

Os pilotos, que não tinham recebido o treinamento adequado sobre o sistema MCAS, não souberam reagir a falha e tentaram persistentemente levantar o nariz do avião, mas o sistema foi ativado repetidas vezes e acabou mergulhando os aviões em direção ao solo. O desastre gerou um total de 346 vítimas que morreram a bordo das duas aeronaves. Alguns dias após o segundo acidente, a Boeing suspendeu os voos de toda a frota do 737 Max devido as semelhanças com o primeiro acidente.

2.1.1 Primeiro Acidente

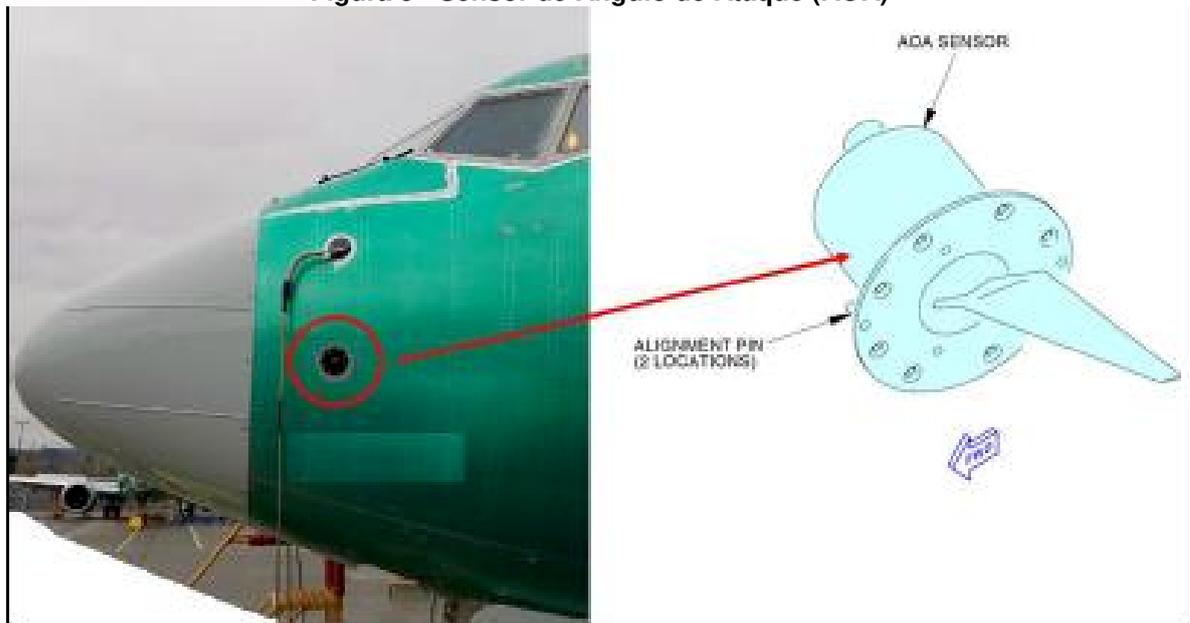
O detalhamento descritivo dos fatos para o seguinte acidente tem como base o relatório final emitido pela autoridade investigativa local da República da Indonésia, em outubro de 2019, sendo este o *Komite Nasional Keselamatan Transportasi* (KNKT).

O Boeing 737-8 (MAX) de matrícula PK-LQP estava sendo operada pela Lion Mentari Airlines (Lion Air) no voo regular de passageiros JT610 em 29 de outubro de 2018, com o horário programado para às 05:45 local partindo do Aeroporto Internacional *Soekarno-Hatta (Jacarta)* com destino ao Aeroporto *Depati Amir (Pangkal Pinang)*. O número de pessoas a bordo da aeronave era de 189, composto por dois pilotos, seis comissários de bordo e 181 passageiros, incluindo um engenheiro.

Segundo o que consta no relatório, os acontecimentos que antecederam o voo acidental seguem, em 26 de outubro de 2018, ocorreu indicações de alerta nos parâmetros de velocidade altímetro na tela principal de voo do capitão em um voo de Tianjin, na China, para Manado, na Indonésia. Após a recorrência destes problemas, o sensor do ângulo de ataque (AOA) esquerdo foi substituído em Denpasar em 28 de outubro de 2018. O sensor esquerdo instalado tinha uma defasagem de 21° que não foi detectada durante o teste de instalação em Denpasar.

A errônea instalação do sensor resultou em diferentes indicações durante o voo de Denpasar para Jacarta, incluindo discordância nas velocidades indicadas (*IAS DISAGREE*), discordância nas altitudes indicadas (*ALT DISAGREE*), discordância nas pressões diferenciais (*FEEL DIFF PRESS*), ativações do Sistema de Aumento de Características de Manobra (MCAS) e a ativação do sistema de trepidação de manche (*STICK SHAKER*) da coluna de controle esquerdo durante todo o voo.

Figura 3 - Sensor de Ângulo de Ataque (AOA)



Fonte: Wrigley, Sylvi - *Fear of landing* (2020)

A tripulação foi capaz de interromper a ativação repetitiva do MCAS colocando o compensador do estabilizador em corte. Após o pouso em Jacarta, a tripulação relatou os problemas de funcionamento, porém não incluiu a ativação do *stick shaker* e a movimentação da posição do compensador em corte (*STAB TRIM CUT OUT*). O alerta de discordância dos ângulos de ataque (*AOA DISAGREE*) não estava disponível na aeronave, portanto a tripulação não o reportou. O problema relatado só poderia ser corrigido executando tarefas dedicadas sobre o alerta de *AOA DISAGREE*.

Na manhã seguinte do dia 29 de outubro de 2019, a aeronave foi operada partindo de Jacarta com destino a Pangkal Pinang, segundo o que consta no relatório, o voo teve os mesmos problemas do voo anterior de Denpasar para Jacarta.

A tripulação de voo iniciou o procedimento para situação de *IAS DISAGREE*, mas não foi possível identificar o estabilizador descontrolado. Os múltiplos alertas, ativações repetitivas do MCAS e distrações relacionadas a inúmeras comunicações no sistema de controle de tráfego aéreo (ATC) contribuíram para as dificuldades da tripulação de voo em controlar a aeronave. (KNKT, 2018)

Figura 4 - Boeing 737 Max 8 da Lion Air



Fonte: Bathara Sakti/Flickr - Aviation Asian (2020)

2.1.2 Segundo Acidente

O detalhamento descritivo dos fatos para o seguinte acidente tem como base o relatório final emitido pela autoridade investigativa local da República democrática da Etiópia sobre competência do Ministério do Transporte e Logística.

O segundo acidente ocorreu após cinco meses do primeiro, em 10 de março de 2019 na Etiópia, com destino a Nairobi, no Quênia. O modelo da aeronave era o 737 Max 8 de matrícula ET-AVJ, sua queda se deu 6 minutos após ter decolado do Aeroporto Internacional *Bole de Adis Ababa*, no sudeste de *Adis Ababa*, perto da cidade de *Ejere*, com 157 vítimas a bordo sendo 149 passageiros e 8 tripulantes. O voo era operado pela Etiópia Airlines através do voo ET302.

Sobre as vítimas, entre os 157 passageiros, havia 32 quenianos, 18 canadenses e sete britânicos. Pelo menos 19 vítimas eram ligadas às Nações Unidas, segundo um funcionário da ONU. Algumas delas seguiam para uma sessão da Assembleia da ONU para o Meio Ambiente, em Nairóbi.

Logo após a decolagem, os valores de ângulo de ataque registrados no painel do comandante à esquerda e no painel do primeiro oficial à direita começaram a se

desviar. O indicador esquerdo diminuiu para $11,1^\circ$ e depois aumentou para $35,7^\circ$, enquanto o valor da direita indicava $14,94^\circ$. Depois, o esquerdo atingiu $74,5^\circ$ em $\frac{3}{4}$ segundos, enquanto o direito atingiu um valor máximo de $15,3^\circ$, a diferença entre os valores de ângulo de ataque esquerdo e direito diminuiu de 59° para aproximadamente 49° ao final da gravação de dados.

Como resultado do valor errado dos sensores, o *stick shaker* esquerdo foi ativado e permaneceu ativo até perto do final da gravação. As indicações de altitude e velocidade do ar direito e esquerdo começaram a divergir (os cálculos dos valores do sensor esquerdo foram afetados por valores incorretos).

A partir desse momento, os valores de altitude exibidos no lado esquerdo tornaram-se inferiores aos valores reais de altitude de pressão exibidos no lado direito. O lado esquerdo exibiu valores de velocidade no ar que inferiores aos valores reais de velocidade no ar exibidos no lado direito. Os alertas de IAS, *ALT DISAGREE* não foram registrados no gravador de dados do voo (FDR), mas o tempo de aparecimento foi computado, e não houve gravação da conversa do piloto sobre os alertas que aparecem na tela principal de voo (PFD), o que gerou incerteza quanto ao aparecimento de alertas e falta de ação por parte da tripulação que, portanto, não aplicou o *Checklist* dedicado para a situação. A tripulação enfrentou uma mudança de eventos sem precedentes logo após a decolagem, o que aumentou significativamente sua carga de trabalho. (*MINISTRY OF TRANSPORT AND LOGISTICS, 2019*)

Figura 5 - Boeing 737 Max 8 da Etiópia Airlines



Fonte: Druion, Jonathan - BBC News (2019)

3 SISTEMA MCAS

As investigações apontam preliminarmente que os pilotos do voo JT610 tiveram dificuldades com os sistemas que evitam que a aeronave entre em estol, ou seja, perca sustentação e caia.

Existe um mecanismo chamado sensor de ângulo de ataque (AOA) que é essencial para evitar um estol. De forma resumida, o componente indica o quanto de sustentação as asas proporcionam em determinada velocidade ou ângulo de inclinação. Se o ângulo de ataque for muito íngreme, sistemas de segurança alertam os pilotos ou, automaticamente, orientam o nariz do avião para baixo para evitar o estol.

Aparentemente, um defeito em um dos sensores de ângulo de ataque foi a principal causa do acidente do voo JT610. Os pilotos teriam tentado jogar o nariz do avião para cima várias vezes, mas um sistema ante estolagem, tendo como base as leituras errôneas dos sensores, jogava o avião para baixo.

Esse sistema é o *Maneuvering Characteristics Augmentation System* (MCAS). Há uma razão curiosa para ele ter sido instalado: os motores LEAP-1B. Eles são mais eficientes que os motores da linha 737 New Generation, mas também maiores. Para deixá-los praticamente na mesma altura em relação ao solo que na geração anterior, a Boeing colocou ambos em uma posição mais à frente e que ao mesmo tempo cobre parte da borda das asas. Veja o comparativo:

Figura 6 - 737 New Generation à esquerda; 737 Max à direita



Fonte: Aero flap (2020)

O problema é que esse posicionamento pode desestabilizar a aeronave mais facilmente. Tudo fica bem quando o avião opera em ângulos de ataque normais

(normalmente, entre 3º e 5º), mas pode haver problemas de estabilidade se a inclinação atingir um nível crítico (14º ou mais).

É aqui que o MCAS passa a fazer sentido. Esse sistema joga o nariz da aeronave para baixo quando ela atinge um nível crítico de inclinação, desde que alguns requisitos sejam verificados: o piloto automático não poder estar ativado e os sensores devem indicar um ângulo de ataque inseguro.

Agora vem o detalhe mais surpreendente: muitos pilotos disseram que só passaram a saber da existência do MCAS depois do acidente com o avião da Lion Air. Na época, Jon Weaks, presidente da Southwest Airlines Pilots Association, chegou a dizer que sequer havia menção ao MCAS nos manuais (apesar de outros documentos da Boeing citarem o sistema).

Pode ter sido o caso dos pilotos do voo JT610: é de se presumir que, se eles conhecessem bem o mecanismo de ação do MCAS, teriam conseguido cortá-lo quando, por conta da falha nos sensores, o sistema passou a jogar a ponta do avião para baixo. (ALECRIM,2019)

O sensor de Ângulo de Ataque (AOA)

A mensagem de *AOA DISAGREE* foi implementada pela primeira vez na série do Boeing 737 NG em 2006 a pedido de solicitações dos clientes. Desde então o alerta foi instalado em todas as aeronaves Boeing 737 NG recém-fabricadas e é disponível como modernização para aeronaves mais antigas. O alerta de *AOA DISAGREE* não foi considerado um recurso de segurança pela Boeing não sendo requisito para operar a aeronave com segurança. Velocidade, atitude, altitude, velocidade vertical, rumo e empuxo do motor são os principais parâmetros que as tripulações de voo usam para operar a aeronave com segurança em voo normal. *Stick shaker* e o indicador limite de inclinação são os principais recursos usados para a operação da aeronave em ângulos de ataque elevados. O alerta de *AOA DISAGREE* fornece apenas informações suplementares. O procedimento adotado para alertas de *AOA DISAGREE* avisa aos pilotos para uma possibilidade de erros de velocidade e altitude, mas o procedimento não inclui qualquer ação da tripulação de voo em resposta ao alerta de *AOA DISAGREE*.

Figura 7 - Indicadores de AOA e AOA Disagree



Fonte: Boeing (2023)

Os requisitos para o alerta de *AOA DISAGREE* foram continuados do Boeing 737 NG para o Boeing 737-8 (MAX), entretanto, em 2017 vários meses após o início das entregas do novo modelo, o fabricante identificou que o software do sistema de exibição do MAX não implementava corretamente os requisitos de alerta. Tal como acontece com o NG, os requisitos do sistema de exibição exigiam a ativação do alerta como um recurso padrão em todas as aeronaves.

O software entregue à Boeing, no entanto, vinculou o alerta de *AOA DISAGREE* ao indicador de posição de AOA, que é um recurso opcional na nova série. Dessa forma, o software aciona o alerta somente se uma companhia aérea optasse pelo indicador de AOA. No momento do acidente, a Boeing informou que o indicador de AOA havia sido selecionado por aproximadamente 20% das companhias aéreas.

A Lion Air e a Ethiopian Airlines não selecionaram o recurso opcional do indicador de AOA no PFD de suas aeronaves 737-8. Como resultado, o alerta não apareceu nas aeronaves PK-LQP e ET-AVJ, embora tenham sido propício para as condições dos eventos. (FAA,2020)

3.1 A Primeira Falha

A primeira falha ocorreu no sensor de ângulo de ataque, no qual este sensor não depende dos comandos no profundor ou compensadores para aferir seus dados, mas indiretamente ele tem uma relação. O profundor e o compensador determinam o ângulo de ataque da aeronave.

Neste caso, a falha ocorreu devido ao resultado de uma leitura errada de dados dos sensores, onde indicou um ângulo de ataque maior, o que travou a leitura, e o outro sensor indicava um ângulo de ataque real da aeronave.

3.1.1 A Segunda Falha

A segunda falha também foi causada por erro de leitura nos sensores, mas de forma amplificada. O Boeing 737 Max contém algumas proteções de voo, exemplo: o motor limita o desempenho da aeronave com o ângulo de ataque elevado. Mas nesse caso, o fabricante decidiu limitar o ângulo, mas não da melhor forma.

Foi utilizado o sistema MCAS (*Maneuvering Characteristics Augmentation System*), o qual limitou a ação dos pilotos no ângulo de ataque da aeronave, mesmo que o piloto automático estivesse desligado. Em contrapartida dos aviões da Airbus, o sistema MCAS não entra diretamente no comando do manche, que continua ligado diretamente às superfícies aerodinâmicas, e oferecendo feedback aos pilotos.

Então qual foi o erro no segundo acidente? A leitura do ângulo de ataque foi realizada de forma errada. O computador entendeu que a aeronave estava em uma situação de perigo, a falha do software foi manter seu alerta para o sensor que apresentava um ângulo de ataque superior a 40°.

Com isso, o sistema comandou para estabilizar o nariz do avião, inclinando o estabilizador horizontal (o problema é isso acontecer em baixa altitude e no momento que a aeronave está com pouco ângulo de ataque).

A falha acontecer em baixa altitude foi um enorme problema, porque até detectar a causa do comando realizado sem o consentimento do piloto e tomar uma atitude em relação a isso, o ângulo agressivo de ataque irá suceder uma colisão com o solo.

Outro ponto foi que a Boeing colocou nos manuais e no material de treinamento sobre a funcionalidade do sistema MCAS e como desativar em caso de alguma anomalia nos comendo. Porém um treinamento prático não foi exigido das companhias aéreas e o novo sistema nem sequer foi citado durante as aulas de transição e treinamento.

3.2 APÓS O ACIDENTE

a) Primeira correção

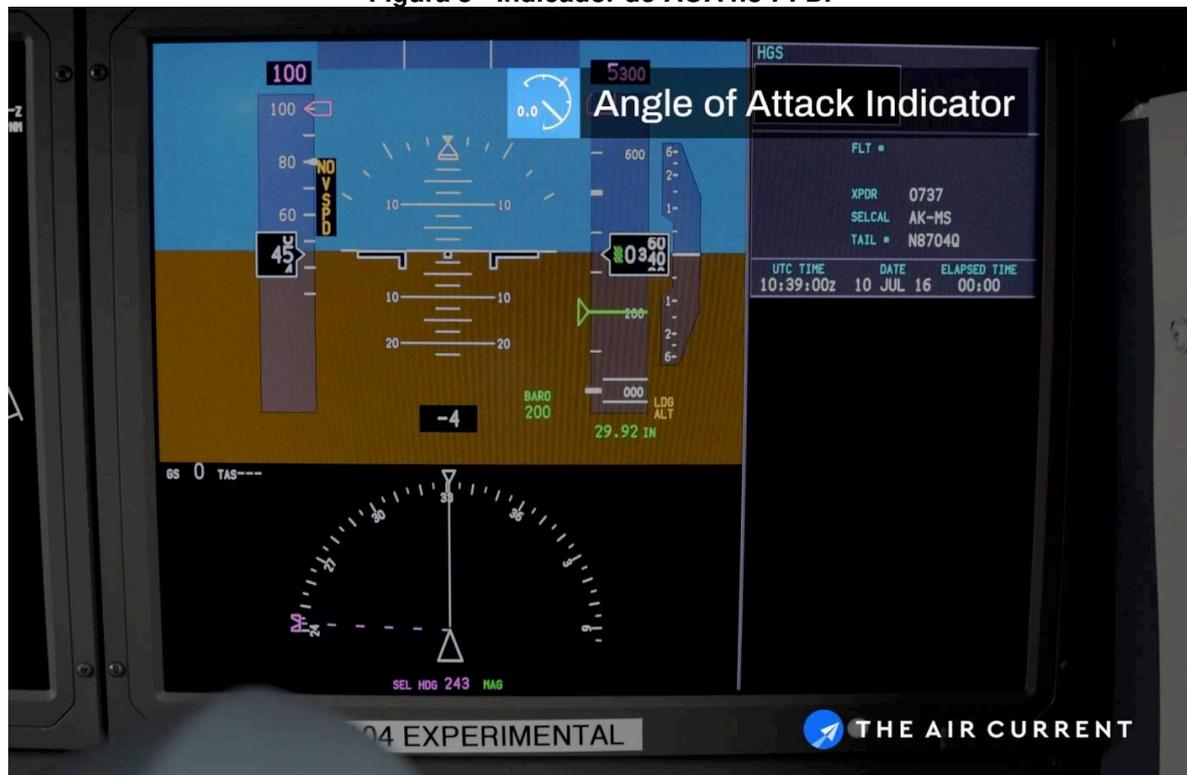
A autoridade aeronáutica americana avaliou os fatores no qual contribuíram para os acidentes assim como os dados disponíveis de ambas as aeronaves e revisou

o projeto vigente na época do MCAS a fim de identificar problemas e determinar as ações necessárias para operar com segurança novamente o 737 MAX.

O primeiro ponto foi o uso de sensores de um único Ângulo de Ataque (AOA), e os dados errôneos advindo de um único sensor ativando assim o MCAS e por sua vez causando compensações do estabilizador horizontal com o nariz para baixo.

Para isso o fabricante atualizou o software do computador do controle de voo (FCC) com o objetivo de eliminar a dependência do MCAS em um único sinal atrelado ao AOA, para que então seja usada ambas as entradas dos sensores e alterando as leis de controle de voo para proteger contra a ativação inadvertida do MCAS dada em função de um sensor cuja leitura foi errônea.

Figura 8 - Indicador de AOA no PFD.



Fonte: Ostrower, Jon - *The Air Current* (2018)

Além disso, iria atualizar os manuais e procedimentos de treinamentos, onde os pilotos ficarão cientes do novo funcionamento do sistema MCAS e teria sessões de simuladores. Contudo, a Boeing não divulgou se anularia a ação do MCAS quando o piloto automático estivesse desativado, como aconteceu no Boeing 737 NG.

Essas atualizações foram realizadas para que o avião pudesse voltar a operar, após os testes de voo com o sistema, que realiza comandos menos agressivos, e

desconsidera o sensor que apresenta um dado muito destoante do outro sensor, colocando o valor de ângulo de ataque nas extremidades. (FAA, p.20 2020)

b) Segunda correção

O *reset* do sistema MCAS resultava em seus comandos repetitivos, ou seja, quando havia valores discrepantes e errôneos do sensor de AOA, a lei de controle do MCAS interpretava que o momento em que o piloto liberava o interruptor do compensador elétrico do profundor, era quando o sistema necessitava de uma reinicialização.

Uma vez reiniciado, o sistema MCAS emitia outro comando de compensação do estabilizador do nariz para baixo do avião após cinco segundos. Este cenário se repetia cada vez que o MCAS dava um comando e o piloto outro comando de compensação elétrica de qualquer duração e liberava o interruptor de compensação, entrando em um constante conflito direto com a lógica do sistema.

Sendo assim a Boeing alterou as leis de controle de voo para garantir que o MCAS não comande movimentos repetidos do estabilizador horizontal. As leis revisadas de controle de voo agora permitem apenas uma ativação do MCAS por evento detectado de alto valores de AOA. Qualquer ativação subsequente do MCAS só seria possível após o avião retornar ao estado de baixos AOA. (FAA, p.20 2020)

Figura 9 - Botão de ajuste do compensador elétrico



Fonte: Quora (2018)

c) Terceira correção

Sobre a autoridade de compensação do MCAS, todos os seus comandos eram de formas incrementais, em outras palavras, moviam o estabilizador horizontal em uma quantidade fixa pré-definida, independente da atual posição das superfícies de comando. Portanto, os múltiplos comandos por parte do MCAS resultaram em uma condição significativa de erro ao tentar realizar o alinhamento do estabilizador horizontal, coisa que a tripulação não conseguiu combater usando apenas o controle do profundor.

Com isso as alterações feitas nas leis de controle de voo incluem um limite para comandos do MCAS, este irá parar de comandar o movimento do estabilizador em um ponto onde preserva o movimento do profundor para o piloto ter controle suficiente da atitude de inclinação da aeronave nas dadas condições operacionais. (FAA, p.20 2020)

d) Quarta correção

Do reconhecimento e reação dos pilotos, os dados do FDR mostraram que em ambos os acidentes a tripulação de voo foi incapaz de gerenciar de forma eficaz o movimento do estabilizador e os múltiplos efeitos da cabine de comando que resultaram da falha advinda de um único sensor de AOA.

Então além das alterações de softwares a Boeing revisou e adicionou oito procedimentos do *Non-Normal Check list* da tripulação ao Manual de Voo do Avião e propôs treinamento adicional. Os procedimentos da tripulação de voo e o treinamento revisado fornecem ao piloto informações adicionais para reconhecer e responder ao movimento errôneo do estabilizador e aos efeitos de possíveis falhas do sensor de AOA. (FAA, p.21 2020)

e) Quinta correção

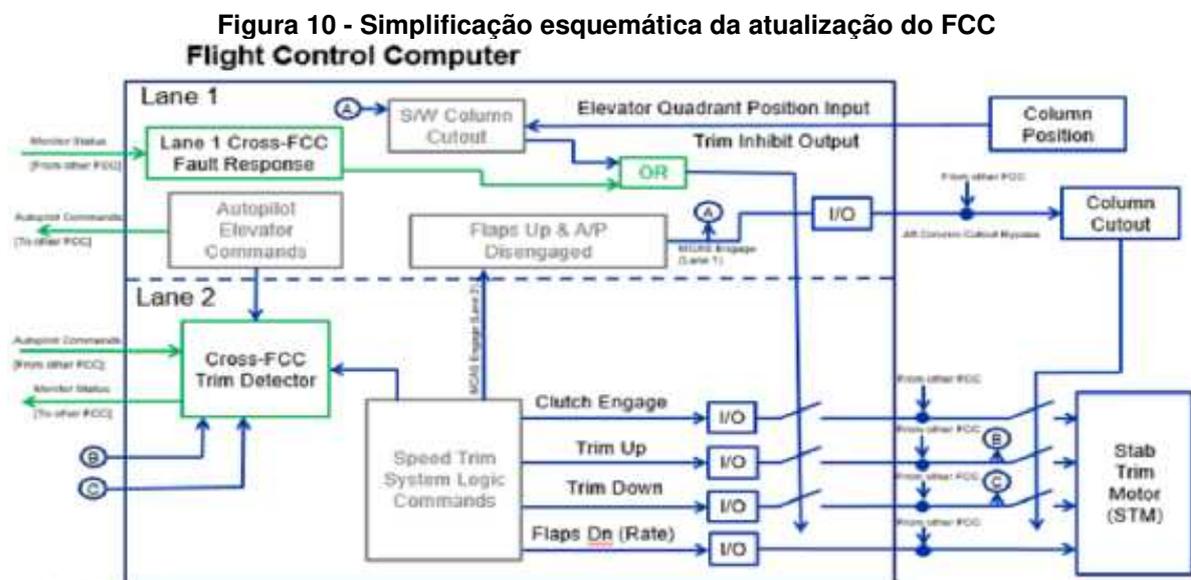
A mensagem de alerta *AOA DISAGREE* no PFD não funcionava a menos que a opção do indicador de AOA tivesse sido escolhida pela companhia aérea. Esta mensagem de alerta deveria ser padrão em todos os aviões 737 MAX.

O fabricante então revisou a implementação da mensagem de alerta AOA DISAGREE atingindo assim a intenção do projeto original de ser padrão em todas as aeronaves da série. (FAA, p.21 2020)

f) Sexta correção

Uma abrangente revisão da análise do sistema integrado de segurança (SSA) do MCAS pela Boeing e a autoridade aeronáutica americana, o FAA, identificou uma condição de falha remota e extremamente do FCC que requereu uma imediata intervenção do piloto para garantir a continuação segura do voo assim como seu pouso.

Sendo assim foi implementado um duplo processo no cruzamento de informação entre o FCC e sistema de compensador elétrico que pode detectar e desligar com eficácia comandos errôneos do estabilizador dos FCCs. Isso garante com que a segurança contínua do voo para esse tipo de falha não dependa do tempo de reação do piloto. (FAA, p.21 2020)



Fonte: FAA Review (2019)

g) Sétima correção

Sobre os procedimentos de manutenção relacionados ao MCAS, no relatório final do acidente envolvendo a Lion Air mostra diversas ações de

manutenção relacionadas ao reparo e instalação do sensor de ângulo de ataque substituto. O sensor substituto que foi instalado na aeronave acidentada foi mal calibrado durante um reparo anterior, e este erro de má calibração não foi detectado durante o reparo. A investigação não conseguiu determinar se o teste de instalação do sensor foi realizado corretamente.

O Manual de Manutenção de Componentes (CMM) do fornecedor para o sensor de AOA foi revisado para incluir uma verificação final independente a fim de garantir que o reparo não tenha ficado com alguma tendência de leitura. Para garantir que os dois sensores de cada avião estejam funcionando adequadamente no retorno ao serviço, os operadores devem realizar testes de seus sistemas em cada avião antes de seu retorno ao serviço. Este teste utiliza um acessório para posicionar a palheta do sensor e verificar se a leitura fornecida por cada um é precisa. (FAA, p.21 2020)

3.2.1 A Retomada

Após um processo completo, transparente e inclusivo, o FAA determinou que as alterações da Boeing no design do 737 MAX, nos procedimentos da tripulação e nos procedimentos de manutenção mitigam efetivamente os problemas de segurança relacionados ao avião que contribuíram para os acidentes do voo 610 e do voo 302. O FAA determinou ainda que a mudança de projeto abordava questões de segurança adicionais além daquelas identificadas durante as investigações do acidente.

O FAA acredita que as recomendações relacionadas com estes outros potenciais fatores contribuintes devem ser abordados pelas organizações apropriadas. Além disso, foi avaliado o treinamento proposto da tripulação de voo pela Boeing por meio do processo de padronização.

Em novembro de 2020, treze companhias aéreas no mundo receberam novas aeronaves para a retomada. Em dezembro, mais de 185 países aprovaram a retomada das operações com a aeronave, já realizaram mais de 360 mil voos comerciais de forma segura e a confiabilidade da programação do avião está acima dos 99%.

Um ano após isso, há em média 400 aeronaves 737 Max em operação, retomando a maior parte de seus mercados.

No dia 26 de janeiro de 2023 a Boeing teve que comparecer a uma corte federal do estado do Texas, no qual teve de responder pelos dois acidentes fatais. O juiz distrital Reed O'Connor, anulou o que foi atribuído ao fabricante uma imunidade obtida através de um acordo com o Departamento de Justiça americano realizado em janeiro de 2021. O magistrado justifica que essa ação se deu pelo fato da não inclusão das famílias das vítimas nesse processo, que gira em torno de U\$ 2,5 bilhões, o que seria obrigatório de acordo com a legislação local. (MEIER,2023)

Figura 11 - - Novo Painel da Aeronave 737 Max



Fonte: Aeroflap (2021)

4 CONCLUSÃO

O presente estudo buscou analisar quais fatores contribuíram para o acidente das aeronaves Boeing 737 em 2018, para que sirva de experiência e conhecimento, por meio de uma pesquisa bibliográfica. Com isso foi possível identificar e referenciar os fatores assertivos para desencadear no acidente aéreo

Devido a isso, a probabilidade de um erro pode ser minimizada se for identificado e neutralizado as condições de insegurança no processo de vistoria e formação acadêmica. Se tivermos treinamento, atenção ao gerenciamento de fadiga, utilização de ferramentas favoráveis e muito mais ações direcionadas aos fatores humanos, podemos diminuir os erros de manutenção, mas nunca totalmente eliminar.

Portanto, a importância de orientações e formações aos pilotos sobre novos sistemas instalados tornaram-se evidentes, a busca de evoluir as aeronaves sem antes uma revisão completa do funcionamento é imprescindível e antecipar as falhas latentes, conseqüentemente causam a diminuição do impacto de acidentes e incidentes aeronáuticos.

REFERÊNCIA

Aeroflap. **Curiosidade: Qual o motivo do achatamento nos motores de alguns Boeing 737?** *Aeroflap*, 31 de janeiro de 2020, disponível em: <<https://www.aeroflap.com.br/curiosidade-qual-o-motivo-do-achatamento-nos-motores-de-alguns-boeing-737/>>.

Aeroflap. **Um ano da retomada: Como estão as operações do Boeing 737 MAX após a nova certificação.** *Aeroflap*, 9 de dezembro de 2021, 2022. Disponível em: <<https://www.aeroflap.com.br/um-ano-da-retomada-como-estao-as-operacoes-do-boeing-737-max-apos-a-nova-certificacao/>>.

Aeroflap. **Um ano da retomada: Como estão as operações do Boeing 737 MAX após a nova certificação.** *Aeroflap*, 9 de dezembro de 2021, disponível em: <<https://www.aeroflap.com.br/um-ano-da-retomada-como-estao-as-operacoes-do-boeing-737-max-apos-a-nova-certificacao/>>.

ALECRIM, Emerson. **Como o Boeing 737 Max 8 virou um vilão na aviação comercial.** 2019. Disponível em <<https://tecnoblog.net/especiais/boeing-737-max-8-acidentes-mcas/>> Acesso em 18 mar. 2023

Aviacaobrasil. **Varig - PP-VME.** *photo*, 1º de janeiro de 1996. *Flickr*, disponível em: <https://www.flickr.com/photos/porta_aviacaobrasil/28948107847/>.

Aviation, Asian. **Lion Air Crash Puts Boeing MCAS in the Spotlight.** *Asian Aviation*, 7 de dezembro de 2018, disponível em: <<https://asianaviation.com/lion-air-crash-puts-boeing-mcas-in-the-spotlight-boeing-max-737/>>.

BBC News Brasil. **O que se sabe sobre o Boeing 737 Max-8, novo modelo de avião envolvido em dois acidentes desde que foi lançado, em 2017.** Disponível em: <www.bbc.com, <https://www.bbc.com/portuguese/geral-47516978>. Acessado 13 de outubro de 2023>.

BENEVIDES, Gabriel. **Sistema MCAS volta a ser preocupação no 737 MAX .2021.** Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/sistema-mcas-volta-ser-preocupacao-no-737-max_6791.html> Acesso em 18 mar. 2023

Boeing 737 MAX volta a ter problemas e pode ficar sem voar novamente". G1, 9 de abril de 2021, disponível em < <https://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/2021/04/09/boeing-737-max-volta-a-ter-problemas-e-ficara-no-chao-novamente.ghtml>>.

Boeing: **The 737 MAX MCAS Software Enhancement.** Disponível em: <<https://www.boeing.com/commercial/737max/737-max-software-updates.page#/flight-deck>>. Acessado 13 de outubro de 2023.

BRASIL. Agencia Nacional de Aviação Civil - ANAC. **A Segurança de Voo no Sistema de Aviação Civil.** 2017a. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/segvoo/historico.asp>. Acesso em: 19 mar. 2023>.

CAMARGO, Guilherme Augusto Nunes Brenha de; **Influência de Fatores Internos e Externos na Segurança do Voo.** Palhoça, 2019. Disponível em <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8063/1/AVIA%C3%87%C3%83O%20TCC%20PDFA.pdf>>

CASSOL, Leonardo. **Boeing 737 MAX: o que deu errado e o que foi feito para garantir o retorno dos voos com segurança.** 2020. Disponível em: <<https://www.melhoresdestinos.com.br/boeing-737-max.html>> Acesso em: 19 mar. 2023.

FAA, **Summary of the FAA's Review of the Boeing 737 MAX / Return to Service of the Boeing 737 MAX Aircraft** Date: November 18, 2020. Disponível em: <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-08/737_RTS_Summary.pdf>

Ficheiro: Santos - Nov12 1906.jpg – Wikipédia, a enciclopédia livre. 1906, disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Santos_-_Nov12_1906.jpg>.

ISIDORE, Chris. **Boeing entrega jato 737 Max a companhia aérea que sofreu acidente fatal de avião.** 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/boeing-entrega-jato-737-max-a-companhia-aerea-que-sofreu-acidente-fatal-de-aviao/#:~:text=At%C3%A9%20agora%2C%20a%20Boeing%20entregou,no%20mesmo%20per%C3%ADodo%20de%202021.>>> Acesso em: 19 mar. 2023.

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>>

MEIER, Ricardo. **Boeing vai a julgamento pela queda dos dois 737 MAX 8 que vitimaram 346 pessoas.** 20 de janeiro de 2023. Disponível em: <<https://www.airway.com.br/boeing-vai-a-julgamento-pela-queda-dos-dois-737-max-8-que-vitimaram-346-pessoas/>>

MINISTRY OF TRANSPORT AND LOGISTICS, **Aircraft Accident Investigation** / Bureau Investigation Reports on Accident to the B737-MAX8 REG. ET-AVJ OPERATED BY ETHIOPIAN AIRLINES 10 MARCH, 2019. Disponível em: <https://bea.aero/fileadmin/user_upload/ET_302__B737-8MAX_ACCIDENT_FINAL_REPORT.pdf>.

NAKAHARA, Jorge Luiz. **Acidentes Aéreos: Fatores Humanos como fator Contribuinte.** Palhoça, 2021 Disponível em <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/13437/1/JORGE_LUIZ_NAKAHARA_AD2_VFB.pdf> Acesso em: 22 mar. 2023.

OLIVEIRA, Jonathan Pedrosa. **Desafios no Processo de Manutenção de Aeronaves de Asas Rotativas no Brasil: Erros de Manutenção.** Palhoça, 2018. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8240/1/JONATHAN_PE>

DROSA_DE_OLIVEIRA_Monografia_de_TCC_CIA_v%20FINAL.pdf> Acesso em: 22 mar. 2023.

OSTROWER, Jon. **Southwest Is Adding New Angle of Attack Indicators to Its 737 Max Fleet.** *The Air Current*, 30 de novembro de 2018, disponível em: <<https://theaircurrent.com/aviation-safety/southwest-airlines-is-adding-new-angle-of-attack-indicators-to-its-737-max-fleet/>>.

POZZEBOM, Rafaela. **A história da aviação.** 2015. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/post/14654-a-historia-do-aviao>Acesso em: 22 mar. 2023.

PRISCO, JACOPO. **Boeing 737: Como o avião de maior sucesso do mundo se tornou o mais problemático.** 2020. Disponível em <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/boeing-737-como-o-aviao-de-maior-sucesso-do-mundo-se-tornou-o-mais-problematico/>> Acesso em: 22 mar. 2023.

SACONI, Alexandre. **Produção da Netflix diz que Boeing não treinou pilotos para evitar quedas.** 2022. Disponível em <<https://economia.uol.com.br/todos-a-bordo/2022/03/20/boeing-737-max-aviao-retorno-voo-netflix-queda-livre-escandalo.htm#:~:text=Desde%20dezembro%20de%202020%2C%20mais,900%20mil%20horas%20de%20voo>> Acesso em: 21 mar. 2023.

SANTOS, Marco Aurelio da Silva. **Como surgiu o avião?** Disponível em <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/como-surgiu-aviao.htm>> Acesso em: 10 mar. 2023.

Sistema MCAS utilizado por 737 Max 8 está na mira após acidentes. 2019. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/afp/2019/03/12/sistema-mcas-utilizado-por-737-max-8-esta-na-mira-apos-acidentes.htm.>>

VIANA, Pedro. **Como funciona o polêmico sistema MCAS no software de voo do Boeing 737 MAX?** 2019. Disponível em <<https://www.aeroflap.com.br/como-funciona-o-polemico-sistema-mcas-no-software-de-voo-do-boeing-737-max/>> Acesso em: 22 mar. 2023.

WRIGLEY, Sylvia. **Lion Air 610: The Faulty AOA Sensor**. *Fear of Landing*, 21 de fevereiro de 2020, disponível em: <<https://fearoflanding.com/accidents/accident-reports/lion-air-610-the-faulty-aoa-sensor/>>.

ZWERDLING, Robert. **O Avião que ganhou apelido por causa de uma novela de TV**. 2017. Disponível em <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/saudoso-breguinha_1106.html> Acesso em: 19 mar. 2023.