

ACIDENTES COM TANQUE DE COMBUSTÍVEL EM AERONAVES E SEU IMPACTO NA CERTIFICAÇÃO E SEGURANÇA: Estudo de caso do Voo TWA 800 e o SFAR 88

ACCIDENTS WITH FUEL TANKS IN AIRCRAFT AND ITS IMPACT ON CERTIFICATION AND SAFETY: Case study of the flight TWA 800 and SFAR 88

Catarina Claudino Fernandes de Oliveira¹
João Guilherme de Luna C. Delfino Silva²
Murilo Santos Gregório³
Tiago Damasceno Chiaveli⁴

Resumo: Este estudo foca especialmente no voo 800 da Trans World Airlines, ocorrido em 17 de julho de 1996, certificado conforme o 14 CFR Parte 25 e operando sob o Parte 121. O acidente resultou em uma explosão no tanque de combustível central de uma aeronave Boeing, modelo 747-131, provocada por um curto-circuito elétrico. O trabalho discute as normas regulatórias da FAA e recomendações do NTSB em relação aos riscos identificados nas investigações analisando a implementação da SFAR 88, cujo objetivo é fortalecer a segurança dos sistemas elétricos das aeronaves após o acidente. Entre as recomendações emitidas, destacam-se a realização de inspeções detalhadas e a substituição de componentes nos sistemas de combustível. Este trabalho explora se as medidas introduzidas pela SFAR 88 atenderam às recomendações do relatório do acidente e se, de fato, contribuem para prevenir novas situações. Salienta-se a relevância do histórico de relatórios de acidentes aeronáuticos para a modificação e elaboração de regulamentações, visando garantir a segurança das operações aeronáuticas, destacando a importância da revisão dos padrões de segurança na aviação.

Palavras-chave: 14 CFR Parte 25; Trans World Airlines; 14 CFR Parte 121; Boeing 747.

Abstract: This study focuses specifically on the Trans World Airlines Flight 800, which occurred on July 17, 1996, certified under 14 CFR Part 25 and operating under Part 121. The accident resulted in an explosion in the central fuel tank of a Boeing aircraft, model 747-131, caused by an electrical short circuit. The work discusses FAA regulatory standards and NTSB recommendations regarding the risks identified in the investigations, analyzing the implementation of SFAR 88, aimed at strengthening aircraft electrical system safety post-accident. Among the recommendations issued are detailed inspections and replacement of components in fuel systems. This work explores whether the measures introduced by SFAR 88 met the accident report recommendations and indeed contribute to preventing new situations. It emphasizes the relevance of the history of aviation accident reports for modifying and drafting regulations to ensure the safety of aviation operations, highlighting the importance of reviewing aviation safety standards.

Key-words: 14 CFR Part 25; Trans World Airlines; 14 CFR Part 121; Boeing 747.

¹ Engenheira Mecânica, Especialista em Safety e Aeronavegabilidade Continuada, Mestranda em Engenharia Aeronáutica.

² Coordenador de CCO e AvMP IATA, Especialista em Safety e Aeronavegabilidade Continuada.

³ Piloto Comercial de Avião e Analista de Controle Técnico de Manutenção, Especialista em Safety e Aeronavegabilidade Continuada.

⁴ Piloto Comercial e Instrutor de Voo de Avião, professor na Graduação em Pilotagem Profissional de Aeronaves na EJ, Especialista em Safety e Aeronavegabilidade Continuada.

Introdução

A história da aviação registra uma série de incidentes e acidentes, envolvendo aeronaves da categoria transporte, que sofreram incêndios ou explosões nos tanques de combustível. De acordo com o Relatório Final do acidente com o voo 800 da *Trans World Airlines* (TWA) emitido pelo *National Transportation Safety Board* (NTSB) (2000, p. 179-81). Nos vinte últimos anos anteriores ao acidente, pelo menos três incidentes significativos foram investigados: em 1976, uma descarga elétrica por raios no tanque da asa esquerda de um Boeing 747-131; em 1989, uma explosão de bomba a bordo que inflamou o tanque de combustível central (CWT) de um Boeing 727; enquanto em 1990, um superaquecimento ou curto-circuito em um medidor de combustível foi estimado como a possível causa da explosão do CWT de um Boeing 737-300. Com exceção do ocorrido em 1989, os demais acidentes envolveram elementos inerentes ao projeto da aeronave, resultando na mesma causa imediata: a ignição no tanque devido ao tratamento da corrente elétrica que atravessa essa parte da aeronave.

O NTSB (2000, p. 181) destaca especialmente o último desses incidentes, de uma análise detalhada da interação do sistema de combustível com seus dispositivos elétricos, como cabos, bombas de combustível, indicadores de combustível e partes rotativas do sistema, em busca especialmente de superaquecimento desses componentes que integram o tanque além da possibilidade de exercerem alguma descarga elétrica inadvertida. Durante os anos de 1990 a 1992, esse processo levou à incorporação de uma série de Recomendações de Segurança (SR) pelo NTSB cuja algumas traduziram-se em Diretrizes de Aeronavegabilidade (AD) pela FAA, que induziram ou obrigaram a reinspeção e manutenção de certos conjuntos de cabos em todas as aeronaves (NTSB, 2000, p. 181). Especificamente, a Recomendação A-90-103 instou a *Federal Aviation Administration* (FAA) a desenvolver novas metodologias para ampla revisão do design e de técnicas de testagem para superaquecimento e interferências nas bombas de combustível da família 737, além dos demais componentes que interagem com o combustível a fim de anular o perigo de fogo (NTSB, 2000, p. 181, 187). O comitê de investigação do acidente considerou as soluções propostas pela engenharia como suficientemente seguras.

Contudo, nos anos seguintes, ocorreram vários outros incidentes de incêndios - ou quase-incêndios - causados por problemas nos cabos de aeronaves da mesma categoria, mas nenhum deles envolveu dispositivos relacionados ao sistema de combustível (NTSB, 2000, p. 181-86). Em 17 de julho de 1996, seis anos após o último caso de ignição no tanque e quatro anos após a intervenção mais significativa da FAA sobre o tema, ocorreu a queda do voo TWA 800, também um Boeing 747-131, no qual testemunhas relataram uma explosão em voo.

Após o acidente, o Relatório Final apontou como sua causa provável “uma explosão do

tanque de combustível central, resultado de ignição da mistura inflamável combustível/ar no tanque” (NTSB, 2000, p. 308). Junto à causa, ofereceu uma série de recomendações em resposta às falhas elétricas identificadas como prováveis fontes desta ignição. Foi então desenvolvida pela FAA a *Special Federal Aviation Regulation 88* (SFAR 88), uma regulamentação especial que estabelece requisitos específicos para garantir a segurança dos sistemas elétricos das aeronaves, especialmente daquelas equipadas com motores a jato e da categoria transporte (FAA, 2002). Diante ao exposto, o objetivo deste artigo é avaliar se a SFAR 88 está alinhada e cumpre com aquelas recomendações e se, após sua implementação, as medidas adotadas foram eficazes na prevenção de novas ocorrências. Busca-se, assim, destacar como os acidentes aeronáuticos influenciam a regulação da aviação em busca do aprimoramento contínuo da segurança aérea. Ademais, destaca a importância da análise e revisão de incidentes históricos na formulação e implementação de regulamentações mais eficientes para garantir a segurança das operações aéreas.

No Desenvolvimento apresenta-se elementos do Relatório Final do acidente em questão e do SFAR 88 enquanto objetos específicos de pesquisa e principal fonte de dados. Na Metodologia explica-se a técnica de leitura e análise comparada dos dois documentos, além dos critérios para determinar o alinhamento e cumprimento do SFAR 88 às recomendações do Relatório. Nos Resultados e discussões, aplica-se a metodologia aos dois documentos expondo seus resultados. Nas Conclusões, disserta-se sobre os resultados à luz dos objetivos elencados nesta Introdução.

1. Revisão

1.1 Histórico

Conforme o Relatório Final do voo 800 da Trans World Airlines (NTSB, 2000), ocorrido em 17 de julho de 1996, o acidente teve início no Aeroporto Internacional John F. Kennedy, em Nova York, com destino ao Aeroporto Internacional Charles de Gaulle, em Paris, na França. Operando um Boeing 747-131, matrícula N93119, a aeronave transportava 2 pilotos, 2 engenheiros de voo, 14 comissários de bordo e 212 passageiros. Pouco após a decolagem, aproximadamente 12 minutos após o início do voo, ocorreu uma explosão sobre o oceano atlântico. Testemunhas, incluindo pilotos de outras aeronaves na área, relataram uma explosão seguida por uma bola de fogo caindo no mar, indicando a desintegração do avião, posteriormente identificada em três partes principais, a cerca de 8 milhas da costa de Nova Iorque.

A queda da aeronave foi tomada em grande mistério e cercada por diversas hipóteses de

difícil comprovação. Exigiu-se uma larga operação de recuperação de destroços para a remontagem da aeronave, a fim de determinar o ponto em que nela deu-se a explosão (NTSB, 2000, p. 62). Analisou-se durante a investigação também a manutenção da aeronave, o estado da tripulação, as condições meteorológicas no momento do acidente e outros tópicos afins. Diversos de seus sistemas escrutinados, incluindo o sistema elétrico e de combustível, os quais operavam em acordo com as regulamentações vigentes da época: NPRM 99-18, AC 25.981-1x, AC 25.981-2X, CFR 25-901(c), CFR 25.1309 (AC 1309-1A) (NTSB, 2000, p.294).

Por fim, as investigações descartaram especulações iniciais sobre um ato terrorista e incidente com mísseis, ambos devido à falta de evidências concretas (NTSB, 2000, p. 257-9). A hipótese mais favorecida apontou para uma possível explosão no CWT devido a um curto-circuito elétrico, hipótese confirmada posteriormente por análises dos destroços, testes científicos e outros recursos (NTSB, 2000, p. 259-62).

1.2 Causa Provável e Fatores Contribuintes

O Relatório Final aponta como causa provável a explosão do CWT fruto da ignição da mistura inflamável combustível/ar no tanque (NTSB, 2000, p. 308). Não há no Relatório certeza da fonte de tal ignição, mas estima-se ter sido um curto-circuito externo ao tanque que levou, através da cablagem elétrica dos indicadores de combustível (*Fuel Quantity Indicator System - FQIS*), uma voltagem excessiva para dentro do CWT.

Destaca-se como fator contribuinte a concepção de design e certificação de que explosões no tanque de combustível poderiam ser prevenidas pela mera exclusão de fontes de ignição. Soma-se a isso que o projeto do Boeing 747 alocava fontes de calor logo abaixo do CWT sem meios de reduzir a transmissão de calor entre estas fontes e o tanque – ou fazer do vapor do combustível algo não-inflamável (NTSB, 2000, p. 308). Apesar de apontar ao projeto, o Relatório constata também sua legalidade visto que a aeronave estava adequadamente certificada de acordo com os regulamentos federais e procedimentos operacionais da TWA (NTSB, 2000, p.306-308).

O NTSB concluiu, com isso, que projetos e certificações de tanque de combustível baseados unicamente na eliminação de todas as fontes de ignição são inerentemente falhos enquanto aceitar-se tanto a existência de inflamabilidade do vapor dentro do CWT, como a ausência de prevenção da entrada de calor no CWT. A razão disso é a impossibilidade de, por qualquer modelo de análise de falhas, assegurar absolutamente a inexistência de fontes de ignição (NTSB, 2000, p. 297-8).

1.3 Recomendações de Segurança

As recomendações de segurança referentes ao acidente em questão surgiram ainda com a investigação em curso, tendo outras novas vindo à tona com a publicação do Relatório Final, emitido em 2000. Todas as recomendações endereçaram-se à FAA que, em resposta, emitiu gradualmente certas Diretrizes de Aeronavegabilidade (AD) que exigiam o desenvolvimento e implementação de mudanças de projeto ou operacionais na interação entre sistema elétrico e de combustíveis (NTSB, 2000, p. 310). O objetivo era prevenir a ocorrência de misturas explosivas de combustível/ar nos tanques de aeronaves de categoria transporte e estabelecer condições práticas que permitissem a operação segura dessas aeronaves. A Tabela 1 apresenta um resumo das primeiras recomendações emitidas após a análise do acidente.

Tabela 1 - Primeiras Recomendações Após Acidente em 1996 (NTSB, 2000).

Item	Descrição
A-96-174	<ul style="list-style-type: none">● Realizar modificações no design da aeronave, em sistemas de inertização com nitrogênio.● Adicionar isolamento entre equipamentos geradores de calor e tanques de combustível.
A-96-175	<ul style="list-style-type: none">● Modificações nos procedimentos operacionais para reduzir o potencial de misturas explosivas de combustível/ar nos tanques de combustível de aeronaves de categoria de transporte.● Para o Boeing 747, reabastecer o tanque de combustível da asa central antes do voo, monitorar e gerenciar adequadamente a temperatura do combustível no CWT e manter uma quantidade mínima de combustível apropriada.
A-96-176	<ul style="list-style-type: none">● Revisão e modificação dos manuais de Voo do Boeing 747 da TWA e de outros operadores de 747s (e outras aeronaves em que a temperatura do tanque de combustível não pode ser determinada pelas tripulações de voo).● Incluir previsões de aumentos nas temperaturas do combustível do tanque de asa central e procedimentos operacionais para reduzir o potencial de exceder os limites de temperatura do tanque.
A-96-177	<ul style="list-style-type: none">● Modificação do tanque de combustível da asa central dos aviões 747 e dos tanques de combustível de outras aeronaves localizados perto de fontes de calor.

	<ul style="list-style-type: none"> ● Incluir sondas e visores de temperatura do tanque de combustível no cockpit.
--	--

Em 18 de Fevereiro de 1997, foi emitida recomendação em vista do aprimoramento da segurança durante atividades críticas, no caso de manuseio de dispositivos explosivos para treinamentos – conforme resumido na tabela 2.

Tabela 2 - Recomendações para Manuseio de Dispositivos Explosivos (NTSB, 2000, p. 310).

Item	Descrição
A-97-11	<ul style="list-style-type: none"> ● Desenvolver e implementar procedimentos, incluindo uma lista de verificação de itens relacionados à segurança, para o manuseio e posicionamento de dispositivos explosivos de treinamento.

Uma série de outras recomendações foram emitidas em 7 de abril de 1998 visando aprimorar a detecção de problemas nos sistemas de indicação de quantidade de combustível, além de sua manutenção, no Boeing 747-100, -200 e -300. Essas recomendações, na tabela 3, exigiram inspeções detalhadas, substituição de componentes e pesquisas adicionais para garantir a integridade e confiabilidade desses sistemas críticos.

Tabela 3 - Recomendações para Sistemas de Indicação de Combustível (NTSB, 2000, p. 310).

Item	Descrição
A-98-34	<ul style="list-style-type: none"> ● Emissão de uma diretriz de aeronavegabilidade para exigir uma inspeção detalhada dos cabos do sistema de indicação de quantidade de combustível nos tanques de combustível das aeronaves Boeing 747s para detecção, substituição e reparos. ● Sondagens e Compensadores da Honeywell Series 1-3 devem ser removidos para testes.
A-98-35	<ul style="list-style-type: none"> ● Substituição dos terminais da Honeywell Corporation Series 1-3, através de uma emissão de diretriz de aeronavegabilidade, usados nas sondas de combustível do Boeing 747, por terminais que não tenham superfícies estriadas ou bordas com arestas afiadas.
A-98-36	<ul style="list-style-type: none"> ● Solicita pesquisas de sondas e cabeamento em Boeing 747s e em outros modelos de aeronaves do Part. 14 do Código de Regulamentos Federais Parte 121 para determinar se existem fontes potenciais de ignição nos tanques de combustível semelhantes às encontradas no 747.

A-98-37	<ul style="list-style-type: none"> • Solicita-se pesquisas sobre depósitos de sulfeto de cobre em peças do sistema de indicação de quantidade de combustível nos tanques de combustível.
A-98-38	<ul style="list-style-type: none"> • Exige-se a separação física e o isolamento elétrico dos cabos do <i>Fuel Quantity Indication System</i> (FQIS) em aeronaves Boeing 747 e em outras aeronaves com as mesmas instalações elétricas.
A-98-39	<ul style="list-style-type: none"> • Exige-se a instalação de sistemas de supressão de surtos em todos os tanques de combustível de aeronaves de transporte, com o objetivo de prevenir a entrada de picos de voltagem nos tanques de combustível através do cabeamento do sistema de indicação de quantidade de combustível.

As recomendações finais foram emitidas em 23 de agosto de 2000 (NTSB, 2000, p.311), com o objetivo de aprimorar o design e a integridade dos sistemas de cabeamento das aeronaves certificadas nos EUA. Tais recomendações tinham como meta assegurar a separação adequada e a proteção contra riscos de ignição, especialmente em componentes localizados dentro dos tanques de combustível, segundo sintetiza a tabela 4.

Tabela 4 - Recomendações para o Design e Sistema de Cabeamento (NTSB, 2000, p. 311).

Item	Descrição
A-00-105	<ul style="list-style-type: none"> • Exige-se a análise das práticas de design dos fabricantes em relação à ligação de componentes dentro dos tanques de combustível e alterações para eliminar potenciais riscos de ignição.
A-00-106	<ul style="list-style-type: none"> • Revisão das especificações de design dos sistemas de cabeamento de todas as aeronaves certificadas nos EUA, identificando os sistemas críticos para a segurança e assegurando a adequada separação do cabeamento relacionado a esses sistemas críticos.
A-00-107	<ul style="list-style-type: none"> • Exige-se o desenvolvimento e implementação de ações corretivas para eliminar o risco de ignição representado por depósitos de sulfeto de prata em componentes dentro dos tanques de combustível.

1.4 Impactos na Certificação após o Acidente

A SFAR 88 foi introduzida pela FAA em resposta direta ao acidente do voo TWA 800. Previamente, a agência emitiu DAs para controlar os riscos associados ao vapor nos tanques de combustível, visando manter aeronaves semelhantes operacionais. Em 7 de maio de 2001, a emenda 25-102 do 14 CFR Part 25 foi publicada, focando em novas certificações e modificações de projetos para aeronaves categoria transporte, mas não se aplicava imediatamente às aeronaves já em operação na época.

Uma das principais introduções foi a adição do requisito 14 CFR §25.981(a)(3), exigindo uma análise de segurança para garantir que a presença de uma fonte de ignição no sistema do tanque de combustível não fosse resultado de apenas uma falha ou de combinação de condições de falhas ocultas.

Novos certificados de tipo e modificações em produtos têm sido isentos deste requisito até a emenda 146 do 14 CFR Parte 25 visando contornar os desafios relacionados à implementação da SFAR 88, especialmente em relação às áreas de proteção contra raios na estrutura do tanque de combustível adicionalmente à detecção de falhas ocultas no design estrutural, especialmente nas conexões elétricas. Além disso, a FAA desenvolveu a Advisory Circular (AC) 25.981-1B e introduziu a nova AC 25.981-2, focando na prevenção de fontes de ignição no tanque de combustível e na minimização da inflamabilidade, complementando os esforços para aumentar a segurança das aeronaves comerciais, especialmente após o incidente do TWA 800.

A emenda 25-102 do 14 CFR introduziu requisitos a mais na seção 14 CFR §25.981, incluindo a obrigação para detentores de novos certificados de tipo desenvolverem meios de mitigação, a Ignition Mitigation Means – IMM. A seção §25.981(a) passou a exigir limitações de controle de configuração de projeto crítico, inspeções e outros procedimentos para evitar o surgimento de fontes de ignição no tanque de combustível, os quais devem ser incluídos nas Instruções de Aeronavegabilidade Continuada (ICA). O apêndice H do 14 CFR Parte 25 também foi revisado para incorporar ações de inspeção ou manutenção do sistema do tanque de combustível nas limitações de aeronavegabilidade da ICA.

A emenda 25-102 revisou a seção §25.981(b) para exigir que as instalações de tanque de combustível fossem projetadas para minimizar a presença de vapores inflamáveis. Exemplos de medidas incluem ventilação e resfriamento ou inertização para tanques de combustível localizados na asa central, entre outras medidas mitigadoras;

Inicialmente SFAR 88 se concentrava apenas no controle de fontes de ignição, mas posteriormente incluiu melhorias de segurança, como a eliminação de depósitos de sulfeto de prata do FQIS e treinamento para envolvidos na manutenção aeronáutica (NASA, 2011). Culminando na necessidade de detentores de certificados serem obrigados a desenvolver instruções para inspeção e manutenção dos sistemas de tanque de combustível.

Posteriormente, para promover a responsabilidade compartilhada entre operadores e fabricantes para questões críticas de aeronavegabilidade, promulgou-se o 14 CFR Parte 26. Foi introduzida novas iniciativas de segurança, incluindo requisitos adicionais relacionados à inflamabilidade nos tanques de combustível. Tais requisitos, além de complementarem os

estabelecidos no a Parte 25 (25-102), focam na implementação de alterações nos projetos de tipo das aeronaves em serviço, demonstrando a colaboração necessária entre operadores e fabricantes para assegurar a segurança operacional das aeronaves, também explorado nas partes 91 (91-266), Parte 121 (121-282), 125 (125-36) e 129 (129-30), os quais exigem os procedimentos de inspeção e manutenção do tanque de combustível conforme especificado nos manuais dos fabricantes.

Por fim, com a publicação do 14 CFR Parte 26, subparte D (Inflamabilidade nos tanques de combustível), a FAA passou a exigir requisitos para limitar a exposição à inflamabilidade em tanques propensos a explosões e instalação de meios de mitigação de ignição em tanques afetados, ao invés de adotar tecnologias para torná-lo inerte.

2 Metodologia

Aplica-se aqui uma leitura comparada entre o Relatório Final e a SFAR 88, além das documentações a eles ligadas. Admite-se como pressuposto que as recomendações do Relatório interpretam corretamente a regulamentação de projeto (Part 25 e afins) vigente ao voo TWA 800. Toma-se os termos destas recomendações, elencadas anteriormente, como critério imediato para julgar a fundamentação da regulamentação proposta pela SFAR 88. Leva-se também em consideração se o próprio autor do Relatório (NTSB) julgou atendidas tais recomendações. Compara-se, assim, se a dimensão alcançada por esse último corresponde ao contexto de certificação e operação que caracterizam aquelas recomendações. Por fim, para caracterizar a transformação na segurança de voo, compara-se o SFAR 88 com os dados sobre acidentes aeronáuticos com fatores contribuintes, ou causas, semelhantes ao do TWA 800.

3 Resultados e discussão

A análise das recomendações, que levam já em conta as regulamentações pertinentes ao contexto de falhas elétricas e tanques de combustível vigentes para o acidente da TWA, evidencia a esfera de necessidade da SFAR 88. Este último documento (Parte 21, Título 14 CFR) engloba desde a necessidade de pesquisas para novas tecnologias até a revisão e substituição de componentes certificados até então, sendo possível considerá-la uma resposta direta ao acidente. No entanto, também foram necessárias modificações em outras regulamentações complementares para alcançar todas as etapas de liberação de uma aeronave para operar, controlando e mitigando os riscos de segurança das aeronaves, especialmente as turboélice. Especificamente, para as recomendações da NTSB, a SFAR 88 e a Parte 25 (padrões

de aeronavegabilidade) possuem uma maior abrangência de requisitos que atendem diretamente às solicitações resultantes do acidente, visando que aeronaves com o mesmo padrão de cabeamento elétrico e equipamentos intra-tanque possam permanecer em operação, evitando que acidentes semelhantes ocorram novamente.

Por outro lado, as modificações nas regulamentações das Partes 26 (manutenções especiais em tanques de combustível), 91 (requisitos de equipamentos), e 129 (requisitos para tanques de combustível para aeronaves estrangeiras operarem nos Estados Unidos), além das abordadas na tabela 5, complementam e também contribuem para um sistema mais seguro de sistemas elétricos e tanques de combustível apesar de não atenderem ao relatório diretamente. A tabela 5 exemplifica quais regulamentações atendem a cada recomendação, evidenciando a interconexão entre as diversas partes regulatórias e breve descrição de como atuam para garantir a segurança operacional das aeronaves.

Tabela 5 - Relação de Recomendações Atendidas.

Rec.	Regulamentação	Abordagem
A-96-174	SFAR 88, 14 CRF Parte 25 e Parte 121	Modificações no design da aeronave para prevenir riscos de ignição nos tanques de combustível.
A-96-175	SFAR 88, 14 CRF Parte 25, Parte 121 e 125.	Modificações nos procedimentos operacionais para reduzir o potencial de misturas explosivas de combustível/ar nos tanques de combustível.
A-96-176	14 CRF Parte 25	Revisão e modificação de manuais de voo para incluir procedimentos operacionais destinados a reduzir o potencial de exceder os limites de temperatura do tanque de combustível.
A-96-177	14 CRF Parte 25	Modificação do sistema de tanque de combustível para incorporar sondas de temperatura.
A-97-11	SFAR 88, 14 CRF Parte 25, 26 e Parte 91.	Procedimentos para manuseio de explosivos por equipes de detecção de equipamentos explosivos.
A-98-34	SFAR 88, 14 CRF Parte 25	Inspeção detalhada da fiação do sistema de indicação de quantidade de combustível.
A-98-35	SFAR 88, 14 CRF Parte 25	Substituição de terminais.
A-98-36	SFAR 88, 14 CRF Parte 25	Pesquisa de sondas e cabeamento.

A-98-37	SFAR 88, 14 CRF Parte 25	Pesquisas sobre depósitos de sulfeto de cobre.
A-98-38	SFAR 88, 14 CRF Parte 25	Separação física e isolamento elétrico do sistema de cabeamento.
A-98-39	SFAR 88, 14 CRF Parte 25	Separação física e isolamento elétrico do sistema de cabeamento.
A-00-105	SFAR 88, 14 CRF Parte 25	Modificações no design da aeronave para prevenir riscos de ignição.
A-00-106	SFAR 88, 14 CRF Parte 25	Exame das práticas de design dos fabricantes.
A-00-107	SFAR 88, 14 CRF Parte 25	Desenvolvimento de ações corretivas.

Partindo da revisão dos requisitos vigentes à época e a implementação da SFAR 88, os avanços tecnológicos na segurança das aeronaves foram significativos, com a introdução de novos padrões e procedimentos para garantir a prevenção de ignição nos tanques de combustível, foi possível alcançar novas tecnologias que controlassem os riscos elétricos nas aeronaves. Essas medidas resultaram em um ambiente regulatório mais robusto, conseqüentemente, também proporcionou uma base para o desenvolvimento e a adoção de tecnologias mais avançadas no campo da eletrificação das aeronaves. Novas soluções e integrações mais complexas aos sistemas elétricos puderam ser implementados devido aos avanços com processos de certificação mais rigorosos e uma maior ênfase na conformidade contínua com os padrões de segurança. Assim, a crescente eletrificação das aeronaves ao longo dos anos pôde ocorrer de maneira mais segura, impulsionada pelos aprimoramentos regulatórios estabelecidos pela SFAR 88 e medidas subsequentes.

Conclusão

A SFAR 88 e as demais regulamentações que sofreram revisões e modificações desempenharam um papel crucial na melhoria da segurança da aviação, especialmente no que diz respeito à prevenção de incêndios, explosões nos tanques de combustível, controle operacional e manutenção contínua para componentes elétricos. A implementação de padrões mais rigorosos de projeto, manutenção e inspeção contribuiu significativamente para reduzir a incidência de eventos relacionados. Reconhece-se como as lições aprendidas de um acidente

podem e devem contribuir para o avanço do setor aeronáutico quanto a tecnologia e segurança como para o caso de eletrificação de aeronaves. Contudo, para a implementação de novas tecnologias, mudanças nas práticas de manutenção e operação para atender a complexidade das aeronaves modernas, são desafios técnicos que exigem uma abordagem antecipativa, proativa e rígida quantos aos padrões de segurança por parte dos reguladores, operadores e fabricantes visando que não sejam mais necessário que tragédias ocorram para impulsionar avanços significativos como os alcançados a partir do acidente da TWA 800.

Referências

[FAA] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **14 CFR Part 21. Equivalent Safety Provisions for Fuel Tank System Fault Tolerance Evaluations (SFAR 88); Final Rule.** September 10, 2002.

[FAA] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **14 CFR Part 25: Transport Airplane Fuel Tank System Design Review; Flammability Reduction, and Maintenance and Inspection Requirements.** [Docket No. FAA- 1999-6411; Amendment Nos. 21-78,25-102]. Final Rule. May 7, 2001.

[FAA] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **14 CFR Part 26: Enhanced Airworthiness Program for Airplane System/fuel Tank Safety (EAPAS/FTS).** [Docket No. FAA-2004-18379; Amendment NOS. 1-60,21-90,25-123,26-0]. Final Rule. November 8, 2007.

[ICAO] INTERNATIONAL CIVIL ORGANIZATION (2020). **Annex 13: Aircraft Accident and Incident Investigation.** 20. ed. Montreal: ICAO.

[NASA] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **System failure Case Studies.** Fire in the Sky. January 2011, Volume 5, Issue 1.

[NTSB] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. **Aircraft Accident Report: In-flight Breakup Over the Atlantic Ocean, Trans World Airlines Flight 800, Boeing 747-131, N93119.** Washington, D.C.,1996.