

---

# O envolvimento do fabricante nos processos de investigação de acidentes

Frederico Moreira Machado<sup>1</sup>

1 Embraer S.A.

---

## BIOGRAFIA:

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

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

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

## Manufacturer Involvement in the Processes of Accident Investigation

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

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

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

## 1 INTRODUÇÃO

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

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

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

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

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

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

## 2 ESTUDOS CONCEITUAIS E PRELIMINARES

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

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

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

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

## 3 ENSAIOS EM VOO / BANCADAS DE TESTES

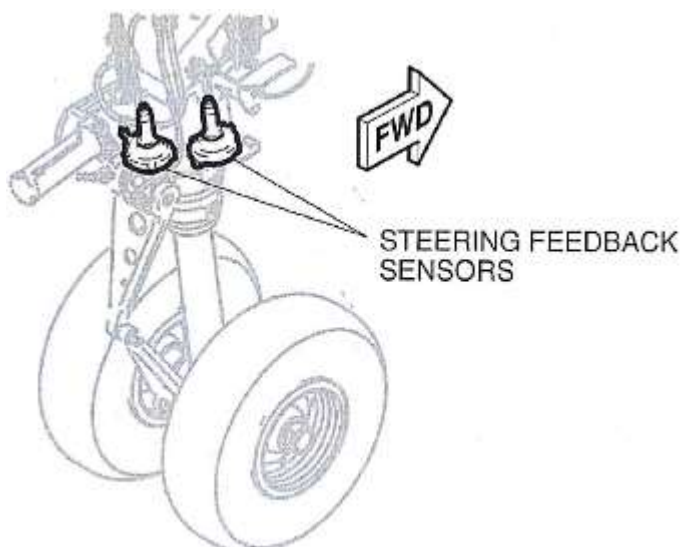
O trabalho de ensaios em voo e em solo corresponde a um relevante aspecto da atuação do fabricante de aeronaves ao longo do ciclo de vida de um projeto. Embora cada vez mais características dos projetos possam ser analisadas através de simulação computacional, a realização de ensaios em componentes reais,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

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



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

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



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

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

#### 4 TREINAMENTO DE TRIPULANTES

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

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

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



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

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

## 5 AERONAVEGABILIDADE CONTINUADA

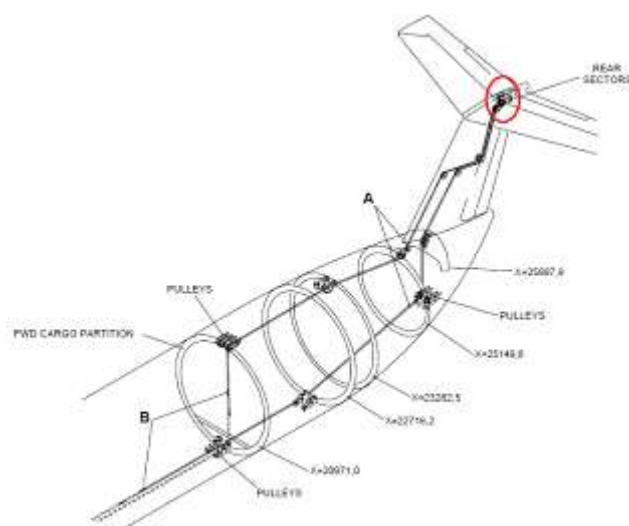
A emissão do Certificado de Tipo (TC) da aeronave por parte das autoridades de certificação representa um importante momento do ciclo de vida do produto aeronáutico, pois este estabelece os requisitos aplicáveis ao projeto, conforme regulamento destas autoridades, ou seja, a base de certificação. Esta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

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

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

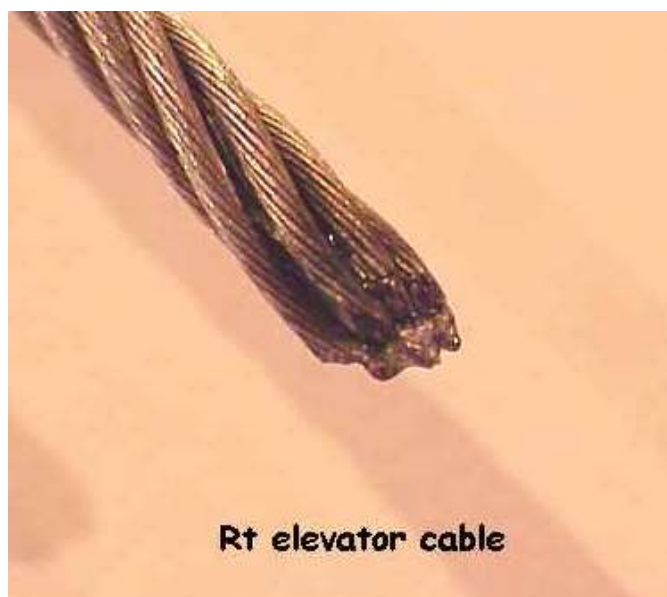
Um exemplo que ilustra muito bem esta modalidade de contribuição do fabricante foram dois incidentes com aeronaves da família ERJ 145 nos Estados Unidos. Descreveremos aqui a ocorrência de maior severidade e que motivou a emissão de um Boletim de Serviço com a solução definitiva para a condição identificada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

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



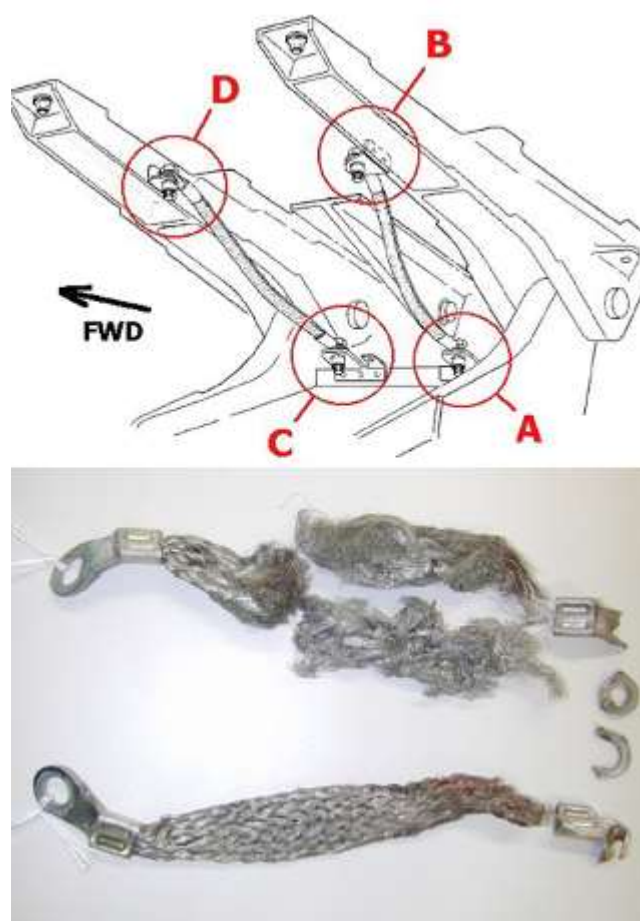
**Figura 4** – Localização do dano nos cabos de comando do profundor da aeronave N290SK (Embraer)

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



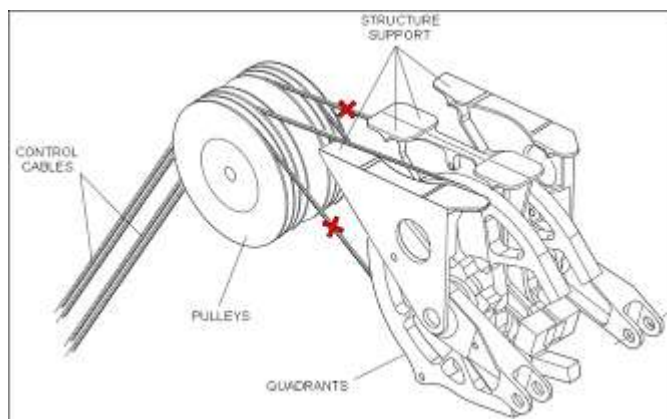
**Figura 5** – Dano em um dos cabos de comando rompidos (Embraer)

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



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

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



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

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

## **AGRADECIMENTOS**

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

## **REFERÊNCIAS**

- BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC 21: Certificação de produto aeronáutico**. Brasília, 2010.
- BRASIL. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **DIVOP N° 009/2015: Pouso com o trem de nariz não baixado ou rotacionado**, 2015, 6p.
- ESTADOS UNIDOS. National Transportation Safety Board. **Aviation Accident Report: Embraer EMB-500, N100EQ**. Washington, 2016, 71p.
- ESTADOS UNIDOS. National Transportation Safety Board. **Aviation Incident Report: Embraer EMB-145LR, N290SK**. Washington, 2003, 5p.
- ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. **Doc 9760 – Airworthiness Manual**. 3.ed. Montreal, 2014.
- RAYMER, D.P. **Aircraft Design: A Conceptual Approach**. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992. 745p.

....