

**GRAVADORES LEVES DE DADOS DE VOO NA AVIAÇÃO GERAL:
FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA A INVESTIGAÇÃO E
PREVENÇÃO DE ACIDENTES****Bruno Israel da Silva¹**
Carlos Eduardo Valle Rosa²**RESUMO**

Este estudo aborda a implementação de Lightweight Data Recorders (LDR) na aviação geral brasileira como uma estratégia para aperfeiçoar a segurança de voo, tendo como contexto a alta incidência de acidentes aeronáuticos registrados no país. Através de uma investigação detalhada, avalia-se a eficácia dos LDRs e dos programas de Flight Data Monitoring (FDM) na identificação e mitigação preditiva de riscos operacionais. Os resultados indicam que a adoção de LDRs contribui significativamente para o enriquecimento das análises de incidentes e para a implementação de medidas preventivas, reduzindo a ocorrência de acidentes. Destaca-se a importância estratégica dessas tecnologias não apenas na investigação de acidentes mas também como parte de uma abordagem proativa de gestão de segurança, sugerindo-se a integração dos LDRs nas estratégias de segurança da aviação civil brasileira.

Palavras-chave: Segurança de voo; Análise preditiva; Monitoramento de dados; Gravadores de Dados.

¹ Investigador de Acidentes Aeronáuticos Sênior, Facilitador de Gerenciamento de Recursos de Cabine (CRM) formado pelo CENIPA (2008), Perito Judicial formado pelo IBPJ (2022). Tenente Coronel Aviador da FAB, Piloto de Transporte e Reabastecimento em Voo, Bacharel em Ciências Aeronáuticas pela Academia da Força Aérea (2004), possui MBA em Gestão Executiva pela FGV (2019) e Especialização em Gestão de Processos e Gerências de Projetos pela Universidade Estácio de Sá (2016). CELOG/FAB. E-mail: israelbis@yahoo.com.br

² Doutor em Geografia, na área de Geopolítica (UFRN). Mestrado em Ciências Aeroespaciais, com ênfase em Defesa/Poder Aeroespacial pela Universidade da Força Aérea (UNIFA). Bacharelado e Licenciatura em História pela UFRN e Bacharelado em Ciências Aeronáuticas pela Academia da Força Aérea. É especialista em Didática do Ensino Superior, Pedagogia Empresarial e possui

MBA em Gestão Administrativa e Desenvolvimento Gerencial Avançado, e MBA em Gestão Estratégica em Defesa. É professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Aeroespaciais da UNIFA. Coronel da Reserva da Força Aérea Brasileira (FAB). E-mail: eduvale80@hotmail.com

LIGHTWEIGHT FLIGHT DATA RECORDERS IN GENERAL AVIATION: A STRATEGIC TOOL FOR ACCIDENT INVESTIGATION AND PREVENTION

ABSTRACT

This study focuses on the implementation of Lightweight Data Recorders (LDR) in Brazilian general aviation as a strategy to improve flight safety, within the context of the high incidence of aeronautical accidents recorded in the country. Through a detailed investigation, the effectiveness of LDRs and Flight Data Monitoring (FDM) programs in the predictive identification and mitigation of operational risks is assessed. The findings indicate that the adoption of LDRs significantly contributes to the enrichment of incident analyses and the implementation of preventive measures, reducing the occurrence of accidents. The strategic importance of these technologies is highlighted not only in accident investigation but also as part of a proactive safety management approach, suggesting the integration of LDRs into the Brazilian civil aviation safety strategies.

Keywords: Flight safety; Predictive analysis; Data monitoring; Data Recorders.

ISSN 2763-7697

1 INTRODUÇÃO

A aviação geral desempenha um papel crítico na infraestrutura aeroespacial brasileira, não apenas como componente essencial do poder nacional, mas também como uma área de interesse particular no que se refere à segurança aeronáutica. Ao longo dos últimos cinco anos, este setor tem sido associado a uma proporção significativa dos acidentes aeronáuticos no Brasil, uma tendência que, em meio à expansão contínua do setor, sinaliza a necessidade de inovação nas estratégias de prevenção de acidentes.

A pesquisa apresentada neste artigo se propõe a investigar o papel potencialmente transformador dos *Lightweight Data Recorders* (LDR), ou Gravadores de Dados de Voo

Leves, como instrumentos tanto de análise reativa quanto preditiva na mitigação de riscos operacionais e, conseqüentemente, na redução de acidentes na aviação geral.

A emergência de tecnologias avançadas, como os LDRs, marca um avanço significativo na coleta e análise de dados de voo, fornecendo um volume sem precedentes de informações detalhadas sobre o ambiente operacional das aeronaves. Estes dispositivos, capazes de registrar uma vasta gama de parâmetros de voo, apresentam-se como ferramentas vitais não somente na investigação pós-acidente, mas também como elementos fundamentais no monitoramento contínuo e na prevenção de futuros incidentes.

Através da análise sistemática destes dados, é possível não apenas reagir a acidentes que já ocorreram, mas também antecipar e mitigar riscos potenciais, pavimentando novos caminhos para a segurança na aviação geral brasileira. Neste contexto, a pesquisa formulou a hipótese de que a implementação dos LDRs na aviação geral contribui significativamente para a prevenção de acidentes, fundamentando-se na premissa de que o acesso a dados precisos sobre os eventos que antecedem um acidente é crucial para uma investigação eficaz e para a implementação de medidas preventivas apropriadas.

Esta hipótese reflete uma compreensão abrangente da natureza dual dos LDRs: como ferramentas reativas, facilitando investigações aeronáuticas pós-evento, e como recursos preditivos, permitindo a identificação e mitigação proativa de riscos. Este artigo, não somente examina o impacto dos LDRs na melhoria da segurança operacional na aviação geral através de uma abordagem reativa, mas também destaca sua utilidade em uma estratégia proativa de gestão de riscos. Uma vez que ele não apenas contribui para o corpo existente de conhecimento sobre a segurança de voo, mas também abre novas avenidas de pesquisa e prática no campo.

A análise que se segue, é embasada por uma revisão da literatura, que busca não apenas responder ao questionamento proposto, mas também iluminar o caminho para futuras inovações na prevenção de acidentes aeronáuticos na aviação geral brasileira. Este trabalho tem o potencial de influenciar as práticas atuais, sugerindo que a adoção

generalizada dos LDRs pode ser um passo fundamental em direção a um ambiente aeronáutico mais seguro e resiliente.

2 INSERINDO CONTEXTO NOS ACIDENTES DA AVIAÇÃO GERAL

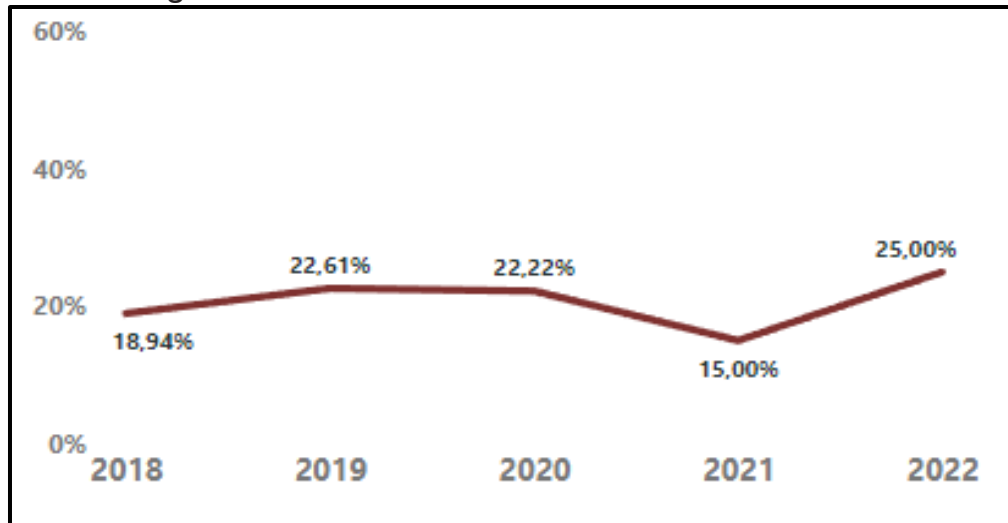
Em 11 de abril de 1951, durante a Convenção da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), foi divulgada a primeira versão do Anexo 13 – *Aircraft Accident and Incident Investigation*, documento que difunde entre os 193 países membros as normas e práticas recomendadas a serem seguidas quanto aos protocolos de investigação de acidentes aeronáuticos da aviação civil.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) por meio do seu Relatório Anual de Segurança Operacional (RASO), divulga, em dados consolidados, a estatística dos últimos cinco anos relacionada ao panorama operacional da aviação civil brasileira. Consta no documento de 2022 que ocorreram em média 120,2 acidentes aeronáuticos por ano no Brasil, dos quais, cerca de 20,7% foram ocorrências fatais com aeronaves da aviação geral (ANAC, 2022).

Aviação Geral, refere-se à “Todas as operações de aviação civil que não configurem transporte aéreo público de passageiros ou carga” (ANAC, 2024), ou seja, todas as operações de voo que não são realizadas pelas companhias aéreas comerciais ou pelas forças militares, abrangendo uma vasta gama de atividades tanto de lazer quanto de negócios.

Este segmento inclui, mas não se limita a, aeronaves de instrução de voo, aviões particulares, voos de táxi aéreo, aviação agrícola, aviação executiva (jatos privados), e helicópteros usados para propósitos diversos, desde resgates até transporte pessoal.

Figura 1 - Percentual de acidentes com fatalidades



Fonte: ANAC - RASO 2022, p. 23.

O Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), uma organização do Comando da Aeronáutica, é o responsável por elaborar e divulgar os relatórios finais (RF) dos acidentes ocorridos no território nacional, nesse documento são divulgadas as recomendações de segurança (RS), instrumento que sugere, de forma objetiva e precisa, ações para a eliminação ou mitigação de perigos decorrentes de uma condição insegura.

Para que seja possível obter eficácia no processo de investigação e emitir recomendações de segurança que abordem os eventos precedentes, uma das linhas de ação consiste na coleta e análise dos dados de voo, de forma a detectar e mitigar eventuais perigos associados, diminuindo, portanto, a probabilidade de recorrência do evento. Seguindo esse raciocínio, verifica-se que o CENIPA registrou 165 acidentes fatais no período observado, sendo os três principais tipos: Perda de Controle em Voo (65), Indeterminado (29) e Falha do Motor em voo (21), que somados, representam aproximadamente 70% dos acidentes fatais registrados.

Nesse cenário, chama a atenção as 29 ocorrências do tipo UNK - Indeterminado, que, conforme consta no Manual de Investigação do SIPAER (MCA 3-6/2017), são ocorrências em que não existem informações suficientes para a sua categorização. Esse dado indica que em 18% dos acidentes fatais registrados entre 2018 e 2022, não havia informações suficientes para a categorização da ocorrência, podendo ser inferido que também não havia informações suficientes para a investigação, o que pode prejudicar a emissão de recomendações de segurança eficazes, interferindo negativamente no ciclo da prevenção, o que pode favorecer a recorrência do evento.

Em 1950, quando foram introduzidos pela primeira vez os Gravadores de Dados de Voo ou *Flight Data Recorders* (FDR) e Gravadores de Voz de Cabine ou *Cockpit Voice Recorder* (CVR), buscava-se fornecer informações que pudessem auxiliar aos investigadores de acidentes aeronáuticos a determinar as circunstâncias em que uma ocorrência aeronáutica aconteceu, especialmente quando não havia sobreviventes, de forma a estabelecer como normativa para a viação regular, a obrigatoriedade de instalação destes equipamentos.

Seguindo caminho evolutivo, em seu *DOC 9756 - Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation*, a OACI (2011) reforça os benefícios para a investigação de acidentes aeronáutica obtidos com a utilização de *Lightweight Data Recorders*, nesse caso, denominados Gravadores de Imagem de Voo ou *Airborne Image Recorders* (AIR):

Ainda que os FDR e CVR sejam fontes inestimáveis, informações adicionais podem ser obtidas com a visualização do interior da cabine. Os benefícios do AIR incluem a documentação da interação homem-máquina (acionamento de interruptores, manetes e comandos de voo), o ambiente da cabine (fumaça ou iluminação), comunicações não verbais e outras interações da tripulação. Os AIR têm o potencial de capturar centenas de parâmetros adicionais não registrados atualmente. Além disso, em aeronaves que não sejam equipadas com um FDR ou CVR, um gravador de imagens aerotransportado pode ser um meio de baixo custo de equipar a aeronave com um FDR ou CVR. Um Gravador de Imagens de Voo forneceria dados dos parâmetros de indicação dos instrumentos da cabine. (OACI, 2011, p. III-7-19, tradução nossa).

Tal assertiva reforça a hipótese de que estes gravadores podem fornecer informações cruciais para o melhor entendimento do ambiente operacional analisado, favorecendo, por tanto, a detecção de fatores que possam ter contribuído para a ocorrência. No mesmo sentido, Kuo (2019), destaca a ausência destes equipamentos na aviação geral, o que demanda dos investigadores a utilização de técnicas convencionais para buscar os fatores contribuintes de uma ocorrência:

Ao contrário da investigação de acidentes da aviação regular, as aeronaves da aviação geral geralmente não possuem gravadores de dados de voo (FDR). Desta forma, os investigadores necessitam confiar mais em técnicas tradicionais de investigação, como entrevistas com testemunhas, análises realizadas no local do acidente e exames em instrumentos de voo. (KUO, 2019, p 2, tradução nossa).

Ainda, em seu artigo, Kuo (2019) defende que o uso de Gravadores de Dados de Voo Leves pode aumentar a eficácia da investigação, fornecendo informações de atitude, manobras e comunicação da tripulação, o que, em complemento das técnicas tradicionais, pode aumentar a eficácia do processo.

De acordo com Gregson (2017), em comparação com os esforços concentrados na investigação da causa raiz, existe menos ênfase na criação e implementação de recomendações de segurança. Ainda, de acordo com a OACI (2012) apenas 70% das recomendações de segurança são consideradas eficazes pelos próprios investigadores.

Uma possível causa para tal constatação, é de que as investigações da aviação geral, frequentemente, carecem de informações factuais para subsidiar recomendações de segurança eficazes. Conforme constatado por Kuo (2019), as investigações desse segmento são altamente dependentes das técnicas tradicionais de investigação, o que pode trazer como efeito colateral certo grau de imprecisão nos dados colhidos.

Sendo assim, tomando-se por base as conclusões da OACI (2011), reforçadas no artigo de Kuo (2019), verifica-se que a utilização de gravadores de

dados de voo pode fornecer informações cruciais para uma melhor compreensão do ambiente operacional de uma ocorrência.

Uma vez que dados factuais forneçam uma visão precisa e detalhada do ambiente operacional de uma ocorrência, o investigador pode identificar os fatores que contribuíram para o evento, possibilitando a emissão de recomendações de segurança eficazes, que servirão ao fim maior de uma investigação de um acidente aeronáutico, que é evitar a recorrência do evento e desenvolver a segurança da aviação, nos moldes do pensamento de Gregson (2017).

Ainda que o uso reativo dos dados de voo tenha alicerçado o caminho da prevenção de acidentes por mais de cinquenta anos, a evolução tecnológica passou a disponibilizar maior quantidade de dados e novas ferramentas que orientam para abordagens inovadoras, como por exemplo os programas FDM.

2 PROGRAMAS DE MONITORAMENTO DE DADOS DE VOO

Uma vez que os FDR e CVR tem seu uso direcionado para a investigação de acidentes aeronáuticos, um Gravador de Acesso Rápido ou *Quick Access Recorder* (QAR) assim como o FDR, é capaz de registrar dados de subsistemas e aviônicos, no entanto, os dados armazenados em um QAR são facilmente acessíveis, tendo como foco programas de monitoramento de dados de voo ou *Flight Data Monitoring* (FDM).

De acordo com a Airbus (2016), um programa FDM é projetado para melhorar a segurança de voo identificando os riscos de segurança operacional, por meio da análise de rotina dos dados registrados durante todos os voos. Esses dados são comparados com valores pré-definidos, para verificar se a aeronave foi operada fora do envelope ou dos procedimentos operacionais padrão.

Quando uma possível ocorrência é destacada pelo programa, a análise estatística avalia se ela é isolada ou parte de uma tendência, possibilitando que ações corretivas sejam adotadas caso necessário. Tal característica, fornece aos operadores uma ferramenta de identificação preditiva dos riscos de segurança,

além de maior controle e mitigação dos riscos associados.

De maneira similar ao trabalho do CENIPA no Brasil, o Conselho Nacional de Segurança nos Transportes (NTSB), é a organização governamental norte-americana responsável por investigar os acidentes aeronáuticos ocorridos naquele país. Por meio da *Most Wanted List*, o NTSB (2021) comunica à sociedade as principais melhorias de segurança que, quando implementadas, poderão evitar acidentes, reduzir seu número bem como a gravidade dos ferimentos e, por fim, salvar vidas.

Em sua lista para os anos de 2021 e 2022, o NTSB (2021) defende que:

[...] uma vez que os aviões comerciais são obrigados a ter FDR e CVR, o NTSB acredita que outros tipos de aeronaves comerciais transportando passageiros, como aviões fretados e da aviação geral, devem ser equipados com dados, áudio e dispositivos de gravação de vídeo. Esses operadores também devem ter programas que analisem os dados derivados desses dispositivos. Gravadores e programas de gerenciamento de dados de voo não só ajudariam os investigadores a resolver acidentes, mas também ajudariam os operadores de aeronaves a evitar acidentes em primeiro lugar, permitindo que as ações da tripulação fossem avaliadas regularmente. (NTSB, 2021, tradução nossa).

Nota-se a preocupação do NTSB em difundir para a aviação de pequeno porte (aviação geral), os benefícios da implantação de programas FDM, o que vai além de sua relevância para as investigações de acidentes.

Corroborando os esforços do NTSB, a Airbus (2016) afirma que:

A força de um programa FDM é fornecer dados obtidos em uma grande quantidade de voos durante um período significativo. Isso possibilita uma abordagem estatística que permite monitorar tendências de ocorrência (eventos) e, portanto, identificar riscos ou acompanhar sua evolução. (AIRBUS, 2016, p. 11, tradução nossa)

Uma vez que essa abordagem estatística, centrada em dados é possível, o contínuo monitoramento de eventos de interesse para a prevenção de acidentes permite que seus precursores sejam gerenciados antes que um acidente ocorra, contribuindo assim para a prevenção de acidentes, o que encontra suporte na

conclusão de De Hughes (2009):

A prevenção de acidentes na Aviação Geral poderia ser melhorada pelo uso difundido de gravadores de dados de voo leves, mesmo fora de uma estrutura obrigatória, especialmente através de monitoramento de dados de voo, instrução, simulação de voo e atividades de lazer. (DE HUGHES, 2009, p. 2, tradução nossa).

Desta maneira, dadas as capacidades de gravação e análise de dados de um programa FDM, conforme definido pela Airbus e sua importância, como ressaltado pelo NTSB e por De Hughes, verifica-se a necessidade de buscar soluções inovadoras para a gestão de riscos, o que pode ser obtido por meio da implantação de programas de monitoramento de dados de voo. Tais programas, além de fornecer uma visão única e consolidada do ambiente operacional, podem favorecer o aprimoramento do processo de tomada de decisão, o incremento da mitigação de riscos e obtenção da visão estratégica, o que contribui diretamente para a prevenção de acidentes.

Ressalta-se ainda que, à medida que maior volume de dados coletados é devidamente tratado, estas informações levam ao aumento da base de dados, sendo possível monitorar sua evolução, comparar com outras bases de dados ao redor do mundo e gerando conhecimento.

Por fim, a implantação de programas de monitoramento de dados de voo na aviação geral pode, por meio de uma abordagem preditiva, centrada em processo decisório proativo, possibilitar a evolução do modelo de gestão reativo da segurança de voo para o modelo preditivo, isto é, atuando sistemicamente antes que um acidente ocorra.

3 DA TEORIA PARA A PRÁTICA: O USO DE DADOS EM APOIO À INVESTIGAÇÃO SIPAER

Na investigação conduzida pelo SIPAER referente ao incidente da aeronave PR-WBV, um modelo PC-12, em 2018, a utilização de dados técnicos extraídos da

suíte de aviônicos da aeronave e de sistemas de manutenção, demonstrou ser fundamental para a análise precisa do evento. O acidente, caracterizado pela falha no sistema de controle de passo da hélice durante a descida, que levou a uma condição de passo "bandeira" irrecuperável, culminou em uma tentativa de pouso forçado no Aeródromo de Ubatuba (SDUB), SP. A aeronave sofreu danos substanciais, e os ocupantes, ferimentos de graus variados (Figura 2).

Além de estar equipada com um CVR, a aeronave também contava com o *Aircraft Condition Monitoring System* (ACMS) e o *Fault History DataBase* (FHDB), ambos integrantes da suíte de aviônicos, registrando dados de voo e dos sistemas do avião. Embora esses dados não fossem resistentes a impactos como os do FDR ou CVR, foram considerados úteis na investigação, conforme indicado pelo *Technical Memo* (TM) TM-12-006531 do fabricante da aeronave.

Figura 2 - Registro da aeronave no local do acidente



Fonte: CENIPA – RF A-080/CENIPA/2018 – PR-WBV.

Um fato que sem mostrou crucial para a qualidade e precisão da investigação foi a possibilidade de extração e recuperação de dados adicionais do ACMS por meio da *Modular Avionics Unit* (MAU). Esse equipamento tinha a

capacidade de registrar dados em uma frequência de 1 Hz e possibilitou a recuperação de todas as informações dos 30 minutos anteriores ao impacto, com posterior validação de sua confiabilidade.

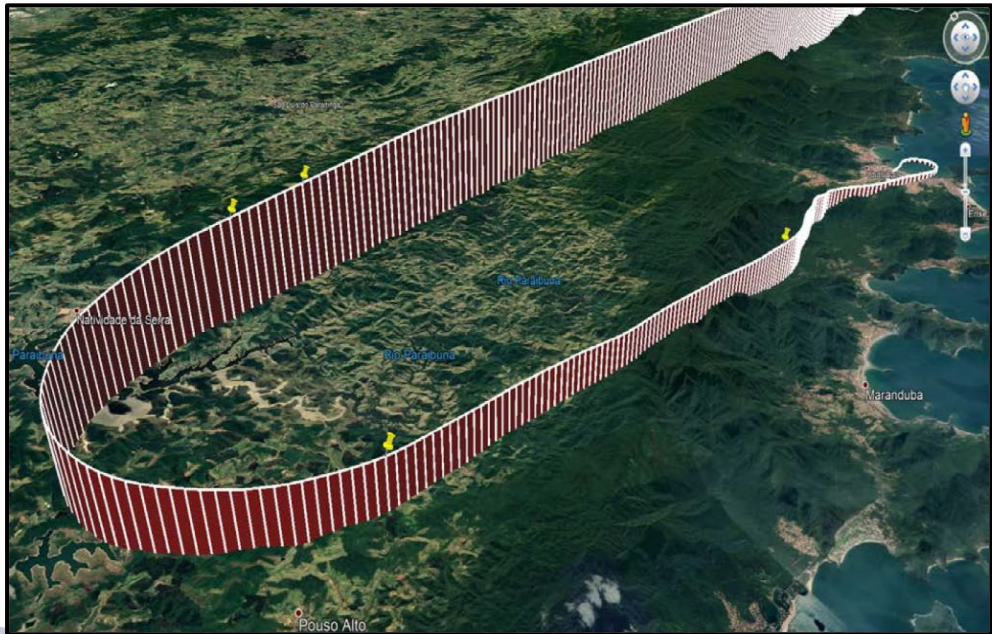
Este nível de detalhe permitiu não só a recriação da rota de voo percorrida pela aeronave no simulador do Laboratório de Leitura e Análise de Dados de Gravadores de Voo (LABDATA) do CENIPA, mas também a compreensão precisa das condições de voo e a sequência de eventos que levaram ao desfecho.

A análise dos dados do ACMS e do FHDB revelou as primeiras indicações de anormalidade logo após a decolagem, com a rotação da hélice começando a diminuir progressivamente. Este ponto crítico, junto à subsequente manifestação da condição de passo "bandeira", foi de vital importância para entender as ações da tripulação e a cadeia de eventos.

Os dados técnicos evidenciaram que, às 20h33min50s (UTC), 22 segundos após a redução do motor, iniciou-se a queda progressiva da rotação da hélice, culminando em avisos críticos de ENGINE NP, um dos quais é vividamente ilustrado na Figura 3 da recriação do voo em simulador produzida a partir dos dados do voo.

A capacidade de correlacionar dados técnicos específicos com os relatos da tripulação e com as evidências físicas do local do acidente reforça a robustez das conclusões da investigação. Neste caso, os dados do ACMS e do FHDB não apenas corroboraram a sequência de eventos relatados pela tripulação, mas também forneceram uma compreensão mais profunda das interações entre os sistemas da aeronave e suas respostas às condições emergenciais.

Figura 3 – Rota percorrida pela aeronave com destaque para a curva realizada em direção à SDUB



Fonte: CENIPA – RF A-080/CENIPA/2018 – PR-WBV.

Legenda: Os quatro pontos destacados em amarelo, referem-se aos avisos NP CAUTION CAS, registrados.

Este evento denota como o uso de dados de LDR no apoio à investigação SIPAER enfatiza a evolução contínua das metodologias de investigação de segurança aérea. A disponibilidade e a análise de dados técnicos precisos permitem uma avaliação mais detalhada e fundamentada dos fatores contribuintes para um acidente, reforçando a importância de sistemas avançados de monitoramento de voo não apenas para a operação segura das aeronaves, mas também como ferramentas indispensáveis na prevenção de futuros acidentes.

Inferese assim que o investimento em tecnologias de gravação e monitoramento de dados de voo contribui para o avanço da segurança de voo, promovendo um ambiente mais seguro e operacionalmente controlado.

4 MONITORAMENTO DE DADOS: O EXEMPLO DA NBAA

A *National Business Aviation Association* (NBAA) é uma organização que representa os interesses da aviação de negócios nos Estados Unidos e em todo o mundo. Fundada em 1947, a NBAA promove a indústria da aviação de negócios, defendendo políticas, oferecendo oportunidades educacionais, e fornecendo uma ampla gama de serviços que garantem a segurança, eficiência e profissionalismo dentro do setor. Com mais de 11.000 membros, a associação desempenha papel relevante na representação de empresas que dependem da aviação geral para sucesso e produtividade, contribuindo significativamente para o desenvolvimento global.

De acordo com a NBAA (2024), a segurança na aviação geral tem se beneficiado consideravelmente do uso de tecnologias avançadas de monitoramento e gravação de dados de voo, como evidenciado pela adoção de Programas de Monitoramento de Dados de Voo (FDM). A implementação desses programas, juntamente com o uso dos *Lightweight Data Recorders* (LDRs), tem proporcionado uma ferramenta estratégica essencial para a investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos. Essa seção destaca a relevância e o impacto positivo dessas tecnologias na promoção de práticas de voo seguras na aviação geral.

Em seu artigo denominado *Case Studies of Flight Data Monitoring Programs* (NBAA 2024), a organização defende que a análise dos dados obtidos por meio do FDM tem levado a melhorias significativas nas técnicas de pouso, contribuindo para a redução do número de eventos críticos associados a essa fase de voo. Departamentos de voo profissionais frequentemente integram um programa de Sistema de Gerenciamento de Segurança (*Safety Management System - SMS*) em seus manuais operacionais, enfatizando a gestão de riscos, a redução de lesões pessoais e perdas materiais, e o aumento da conscientização sobre segurança entre os colaboradores.

Por meio da estipulação de políticas e procedimentos que garantem

condições de trabalho seguras em todos os aspectos das operações de aviação, a identificação de comportamentos que levam a práticas inseguras, e a promoção de uma cultura de segurança, os programas de FDM têm se mostrado instrumentos essenciais na mitigação de riscos operacionais. Esses programas enfatizam a importância do voo dentro de critérios de aproximação estabilizados, incluindo a manutenção da aeronave na trajetória de voo correta e a observância estrita dos limites do ILS (*Instrument Landing System*).

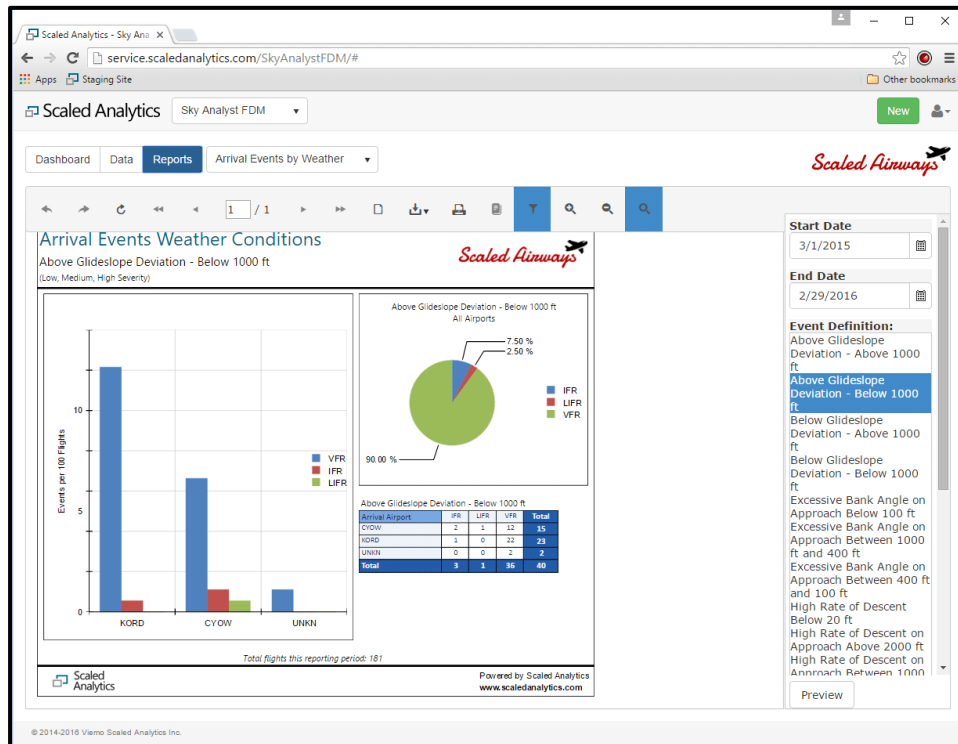
Um estudo de caso que ilustra a eficácia do FDM envolve a análise de dados do Programa de Garantia da Qualidade de Operações de Voo (*Flight Operations Quality Assurance - FOQA*), que destacou nove eventos em um período de quatro meses, todos caracterizados por uma descida abaixo da trajetória de planeio ideal em condições meteorológicas visuais (VMC). O padrão observado despertou a atenção para a necessidade de investigação e possível revisão das técnicas de pouso adotadas.

O protocolo operacional da empresa exigia que os pilotos seguissem os critérios de aproximação estabilizada, com especial atenção à manutenção dentro de um ponto específico da rampa de planeio (*Glide Slope - GS*) e do localizador (*Localizer - LOC*) durante as aproximações ILS. A análise dos eventos FOQA, juntamente com a ausência de formulários correspondentes do SMS, levou a uma investigação mais aprofundada, que identificou um piloto frequentemente envolvido nesses eventos.

Após análise detalhada dos voos assinalados, descobriu-se que a discrepância nos dados de aproximação resultava da transição do piloto do GS eletrônico para o sistema de Guiamento Visual ou *Visual Approach Slope Indicator (VASI)* em altitudes abaixo das recomendadas, sem considerar as diferenças sutis entre os dois métodos de orientação.

A percepção de que operadores de jatos empresariais são pequenos demais para se beneficiarem de um programa de FOQA é um equívoco comum, conforme aponta a Scaled Analytics (2024).

Figura 4 - Imagem ilustrativa de reporte FOQA



Fonte: Scaled Analytics.

Mesmo que a mineração de dados estatísticos possa representar um desafio devido à frequência relativamente baixa de voos, existem inúmeros outros benefícios que um programa de FOQA em escala reduzida pode oferecer. Isso inclui a identificação de áreas para melhoria nos Procedimentos Operacionais Padrão (SOPs), monitoramento do desempenho da aeronave, aprimoramento de programas de treinamento, monitoramento de eventos de manutenção e solução de problemas de manutenção. Além disso, o FOQA pode detectar questões operacionais em aeroportos, como problemas em procedimentos de chegada/partida, atrasos em liberações de controle de tráfego aéreo (ATC) e alertas TCAS, enfatizando a importância dessa ferramenta para otimizar a segurança e eficiência das operações de aviação de negócios.

No caso analisado, a conscientização e a subsequente alteração na técnica

de aproximação do piloto, ilustra como os dados coletados podem ser utilizados para refinar as técnicas de voo, concorrendo para que as operações aéreas sejam realizadas dentro dos padrões de segurança estipulados, denotando o caráter preditivo da gestão de Segurança centrada na análise de dados de voo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução tecnológica na aviação, especialmente no âmbito dos *Lightweight Data Recorders* (LDRs) e dos Programas de Monitoramento de Dados de Voo (FDM), representa uma revolução significativa na maneira como a segurança de voo é gerenciada e aprimorada. O avanço dessas tecnologias, passando da gravação analógica para digital e, por fim, para dispositivos de estado sólido, não apenas expandiu exponencialmente a quantidade de dados disponíveis para análise, mas também aprofundou o entendimento dos ambientes operacionais, facilitando investigações aeronáuticas mais eficazes e permitindo a implementação de medidas preventivas mais robustas.

A instalação de gravadores de dados de voo leves, conforme investigado neste estudo, fornece insights precisos sobre os eventos que precedem um incidente ou acidente, permitindo não apenas uma reação rápida aos eventos já ocorridos, mas também a identificação proativa de riscos potenciais. Essa capacidade de antecipação e prevenção é crucial na redução de acidentes na aviação geral, demonstrando a importância da implementação generalizada dos LDRs para a segurança aérea.

Além disso, o papel preditivo dos programas FDM na prevenção de acidentes é um ganho inestimável para a segurança da aviação. Por meio do monitoramento contínuo e análise de dados, esses programas possibilitam a identificação de padrões de risco, aperfeiçoamento dos procedimentos operacionais padrão (SOPs), melhorias nos programas de treinamento, e o diagnóstico preciso de eventos de manutenção. Este enfoque preditivo não somente aumenta a segurança operacional como também promove uma cultura

de segurança proativa entre os operadores de aviação geral.

A eficácia dessas tecnologias é evidenciada por estudos de caso, como o analisado neste artigo, onde a análise de dados de voo permitiu a identificação e correção de práticas inseguras na fase de pouso, contribuindo assim para a mitigação significativa do número de eventos críticos. Isso ilustra o poder dos dados não apenas na reação aos incidentes, mas, mais importante, na prevenção de futuros eventos através da adaptação e aperfeiçoamento de técnicas e procedimentos.

Além da segurança operacional, o estudo destaca a relevância dos LDRs e FDM na promoção de uma aviação civil mais forte e segura, servindo como um instrumento essencial para a projeção do Poder Aeroespacial Brasileiro nos fóruns internacionais, como a OACI. Esta projeção não apenas reflete o comprometimento do Brasil com os mais altos padrões de segurança de voo, mas também enfatiza a importância de adotar as melhores práticas e tecnologias disponíveis globalmente para avançar a segurança da aviação brasileira.

Por fim, este trabalho não somente contribui para o corpo existente de conhecimento sobre a segurança de voo, mas também abre caminho para futuras inovações e melhorias na prevenção de acidentes aeronáuticos na aviação geral brasileira. O investimento contínuo em tecnologias de gravação e monitoramento de dados de voo é essencial para o avanço da segurança de voo, criando um ambiente aeronáutico mais seguro e operacionalmente eficaz. Enfatizando assim a importância de se buscar, entre as melhores práticas globais, modelos e ferramentas que possam elevar ainda mais o nível de segurança de voo na aviação brasileira, garantindo assim a proteção contínua de vidas e recursos.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. Flight Data Monitoring on ATR Aircraft. Blagnac, França: ATR, 2016.
Disponível em:

https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/16T0153_ATR_FDM_2016.pdf
. Acesso em: 19 nov. 2023.

ANAC. Agência Nacional da Aviação Civil. **Relatório Anual de Segurança Operacional (RASO) – 2022**. Brasília, DF: Governo Federal, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/gerenciamento-da-seguranca-operacional/arquivos/RASO_20221.pdf. Acesso em: 03 abr. 2024.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. DCA 1-1. **Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira**, Brasília, DF, 10 nov. 2020. Disponível em: https://www2.fab.mil.br/unifa/ppgca/images/conteudo/D-QBRN/DCA_1-1_DOCTRINA_BSICA_DA_FORA_AREA_BRASILEIRA_-_VOLUME_1_2020.pdf. Acesso em: 10 ago. 2023.

BRASIL, Comando da Aeronáutica. MCA 3-6. **Manual de Investigação do SIPAER**, Brasília, DF, 11 nov. 2019. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/legislacao/seguranca-de-voo?download=154:mca-3-6-2017> . Acesso em: 03 abr. 2023.

DE HUGUES, Philippe Plantin. Safety Strides Foreseen with Lightweight Flight Recorders for GA. **ISASI Proceedings**, Estados Unidos, p. 34-36, 2009.

DELHOM, Joel. Flight Data Analysis (FDA), a predictive tool for Safety Management System (SMS). **Safety First: The Airbus Safety Magazine**, Blagnac, França, n. 17, p. 15-18, JAN 2014. Disponível em: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/3831.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2023.

GREGSON, Maria. **What makes a good safety recommendation in the aviation industry?**. Sterling, VA: ISASI, Abril 2017. Disponível em: <https://isasi.org/Documents/ScholarshipEssays/ISASI%20Kapustin%20Scholarship%20Entry%20-%20Maria%20Gregson.pdf>. Acesso em: 9 out. 2023.

KUO, Brian C. **Achieving GA FDM: Application of a Lightweight Recording System**. Taiwan: TTSB, 2019. Disponível em: http://www.flightsafety.org.tw/web/uploads/tad_uploader/user_1/07-ENG.pdf. Acesso em: 19 nov. 2023.

NBAA, National Business Aviation Association. **Case Studies of Flight Data Monitoring (FDM) Programs**. Washington, DC, Estados Unidos da América, 2024. Disponível em <https://nbaa.org/aircraft-operations/safety/safety-data-collection-analysis-and-sharing/flight-data-monitoring-fdm/case-studies-of-flight-data-monitoring-fdm-programs/>. Acesso em 03 abr 2024.

NTSB. National Transportation Safety Board. **Most Wanted List of Transportation Safety Improvements**. Washington, DC, Estados Unidos da América, 2022. Disponível em: <https://www.nts.gov/Advocacy/mwl/Documents/2021-2022/2021-22-MWL-Brochure.pdf>. Acesso em: 03 abr 2024.

OACI. Organização da Aviação Civil Internacional. DOC 9756. **Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation**: Part II Procedures and Checklists, Montreal, Canadá, 2012. Disponível em: <http://aaib.gov.mn/wp-content/uploads/2018/12/Doc-9756-Part-II-Procedures-And-Checklists.pdf>. Acesso em: 9 out. 2023.

SCALED ANALYTICS. **FOQA and Flight Data Monitoring Series Part 1: Introduction to FOQA**. Ontario, Canadá, 2024. Disponível em: <https://scaledanalytics.com/wp-content/uploads/2016/03/ReportExample-300x232.png.webp>. Acesso em: 3 abr 2024.



**Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas**
ISSN 2763-7697