

ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS METEOROLÓGICAS EM ACIDENTES DE AVIÃO REGISTRADOS PELA SIPAER (2015-2025)

LUÍS AFONSO PEREIRA ALARCÃO¹; JONAS DA COSTA CARVALHO²; ROSE ANE PEREIRA DE FREITAS³

¹ UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – lusafonso626@gmail.com

² UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – jonascc01@gmail.com

³ UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – freitas.rose@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A segurança operacional na aviação é um tema de extrema importância, uma vez que a aviação civil, com sua rapidez e eficiência, tornou-se um dos meios de transporte mais utilizados globalmente, superando barreiras geográficas e conectando pessoas e regiões (KELLY, 2019). A investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos tornam-se essenciais não apenas para a proteção da vida humana, mas também para o aprimoramento contínuo das práticas de segurança no setor. A análise detalhada dos incidentes, juntamente com a implementação de estratégias de mitigação de riscos, é essencial para o avanço das normas e tecnologias que garantem a segurança das operações aéreas (ROSE, 2006; MACRAE, 2002).

A atmosfera e seus fenômenos representam um dos maiores desafios da aviação, devido à sua natureza dinâmica, imprevisível e complexa. Nesse cenário, as condições meteorológicas exercem um impacto significativo na segurança operacional (GULTEPE, 2019). Durante o voo, a interação com a atmosfera pode gerar riscos consideráveis, uma vez que a aeronave está exposta a fenômenos como tempestades, cortes de vento, turbulência, formação de gelo e nevoeiro. Esses fenômenos afetam diretamente o desempenho da aeronave e a capacidade do piloto, podendo, em situações extremas, contribuir para a ocorrência de acidentes. Por exemplo, o acúmulo de gelo nas superfícies expostas da aeronave aumenta o peso e a resistência ao avanço, reduzindo a eficiência do voo e ampliando o risco de falhas operacionais (GULTEPE, 2019).

Por sua vez, fenômenos atmosféricos como as tempestades, tem uma grande relevância para a segurança operacional, caso entre em contato com a aeronave, podendo ocasionar cortantes de vento, fenômenos com ação em todos os níveis do voo, tendo mais potencial para causar acidentes em baixos níveis (inicialmente no solo até 600 metros de altura), na decolagem, pouso ou fases de aproximação. Ocasionalmente por diversos fatores por exemplo sistemas frontais, presença de nuvens convectivas, brisas marítimas e terrestres, dentre outros. Outro fenômeno frequentemente presente nas ocorrências meteorológicas é a turbulência, caracterizada pelo movimento irregular do fluxo de ar que pode acarretar correntes ascendentes e descendentes sobre uma aeronave em voo, é ocasionada a partir do fluxo de vento através de uma estrutura sólida, podendo ser um prédio, uma montanha e até mesmo uma torre de sinal. (ANAC, 2025).

Logo, este estudo tem como objetivo analisar estatisticamente a influência de diferentes fenômenos meteorológicos na segurança operacional da aviação, caracterizando padrões de ocorrência e identificando fatores associados. Ao produzir esse conhecimento, busca-se contribuir para a prevenção de acidentes e o aprimoramento das práticas de segurança aérea, reafirmando o compromisso

da ciência, ensino, pesquisa e extensão com a proteção da vida, a afirmação de direitos sociais e a promoção da justiça ambiental, em diálogo com a sociedade na construção de um futuro mais equânime e sustentável.

2. METODOLOGIA

Para as análises, foram utilizados dados disponibilizados pelo Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER, 2025), que registra dados de ocorrências aeronáuticas no Brasil. O período de dados analisado neste estudo compreende de 1º de janeiro de 2015 a 13 de julho de 2025. Considerando variáveis como: data, tipo e classificação da ocorrência, localidade, unidade federativa (UF) e operação.

Em sua estrutura, os dados analisados são categorizados pelo tipo de evento, que no nosso caso são os meteorológicos, e pela sua classificação: Acidente, caracterizado por situações em que há danos ou perdas significativas à aeronave e, eventualmente, vítimas; Incidente, definido como uma ocorrência que afeta ou pode afetar a segurança das operações, mas sem resultar em danos graves; e Incidente Grave, entendido como uma situação em que o risco de acidente foi elevado, mas que acabou não resultando em consequências mais sérias(SIPAER, 2025).

Como o foco deste estudo, está sobre os eventos meteorológicos, foi aplicado um filtro para selecionar apenas esse tipo de ocorrência, definindo como variáveis de interesse as seguintes: tempestade, cortante de vento, turbulência, formação de gelo e nevoeiro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados identificou-se um total de 8.903 registros de ocorrências meteorológicas nos últimos 10 anos (Figura 1), envolvendo a aviação, abrangendo diferentes estados brasileiros. Ao analisar o conjunto geral, o maior impasse para a segurança operacional está ligado a falha ou mal funcionamento do sistema, sendo o tipo de ocorrência mais frequente, destacando-se como um fator que impacta diretamente o desempenho e a estabilidade da aeronave.

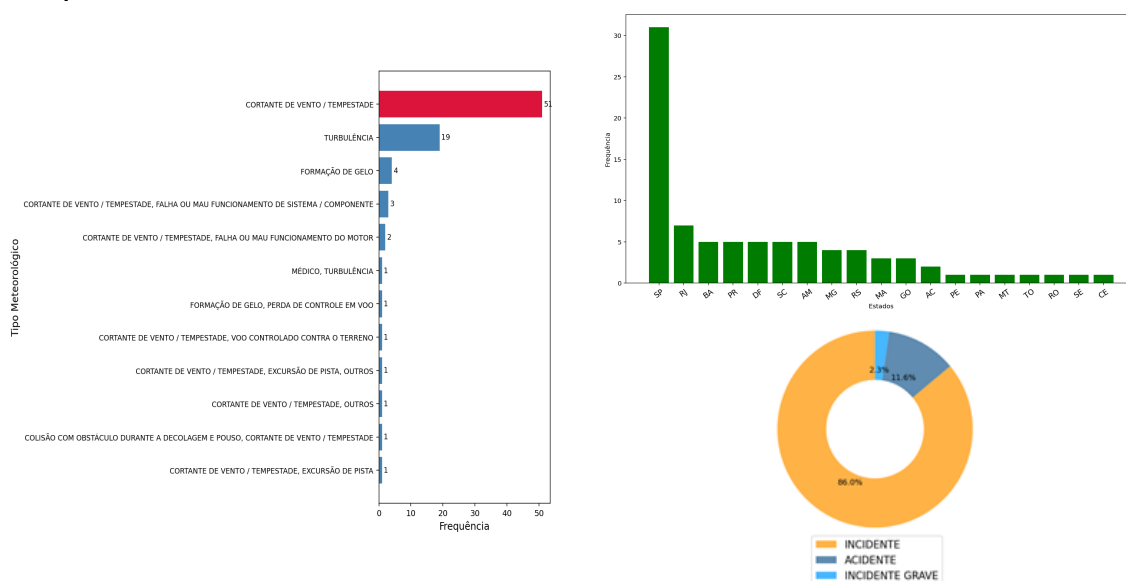


Figura 1. (a) Distribuição dos registros de ocorrências meteorológicas, com destaque para o vento cortante, que apresenta a maior frequência entre os

eventos registrados. (b) Frequência de registros meteorológicos por estado. (c) Frequência de ocorrências por tipos.

A análise das ocorrências meteorológicas evidenciou diferenças significativas entre os tipos de eventos registrados. Verificou-se que apenas 1,1% do total de ocorrências esteve associado a fenômenos meteorológicos, percentual justificável pela predominância de fatores operacionais ou humanos. Nesse conjunto, foram identificados 86 casos, em sua maioria relacionados a cortante de vento/temporal, turbulência e formação de gelo, destacando-se pelo elevado potencial de impacto na segurança da aviação.

Na Figura 1b evidencia-se que dentre a classificação de ocorrência por estados do Brasil, São Paulo apresentou o maior número de registros (31), seguido por RJ (7), e BA (5). Entre os aeroportos, Guarulhos se destacou como a localidade com maior número de registros, sendo o principal polo de observação e registro de eventos meteorológicos. No entanto, é importante destacar que este estado também apresenta o maior fluxo de voos, o que sugere que a maior quantidade de registros pode refletir a intensidade das operações e não apenas a severidade meteorológica.

A Figura 1c apresenta o gráfico de pizza mostrando a frequência das classificações por tipos de ocorrências, sendo elas: 86,0% classificadas como incidente, 11,6% como acidente e 2,3% como incidente grave, sendo observado então que os eventos sem danos significativos prevalecem.

Dentre os diversos tipos de ocorrências meteorológicas registradas, apenas um acidente foi associado a cortante de vento e tempestade especificamente, permitindo impactos. Apresenta-se na Figura 2, a caracterização do cenário meteorológico no dia do acidente.

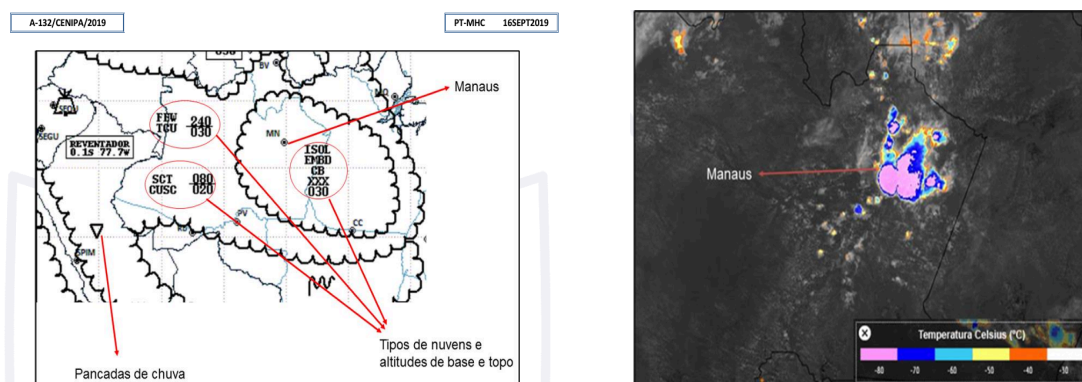


Figura 2. (a) Carta SIGWX da América do Sul às 18 UTC de 16 de setembro de 2019 (REDEMET, 2025), evidenciando o sistema convectivo que atuava sobre a região de Manaus no momento do evento; (b) Imagem do satélite GOES-13 às 16 UTC do mesmo dia, mostrando a temperatura do topo das nuvens associadas à tempestade.

O acidente em estudo esteve associado à formação de nuvens Cumulonimbus (Cb), típicas da Região Norte, que apresentaram forte desenvolvimento vertical, atingindo até 18 km de altitude. Esse sistema convectivo severo gerou chuva intensa em curto período, rajadas de vento de aproximadamente 85 km/h e elevada atividade elétrica, configurando o evento meteorológico que resultou no acidente de interesse.

Diante dos resultados obtidos, evidencia-se a relevância da aplicação de análises estatísticas como ferramenta essencial para direcionar investigações meteorológicas voltadas à aviação, a distribuição clara dos padrões analisados, permitindo identificar tanto os tipos de ocorrências mais frequentes quanto aquelas de caráter mais raro.

4. CONCLUSÕES

O emprego de filtrações sucessivas possibilita o refinamento dos dados, conduzindo à identificação de casos específicos de maior interesse operacional. Além disso, a metodologia apresentada demonstra potencial de adaptação para outros conjuntos de dados aeronáuticos, ampliando seu escopo de aplicação. Este estudo, portanto, constitui a fase inicial de uma investigação mais ampla, incluindo análises sinóticas detalhadas, contribuindo de forma significativa para a compreensão dos fenômenos atmosféricos associados à aviação, oferecendo informações importantes para a formulação de ações preventivas e para o fortalecimento da segurança operacional no transporte aéreo. Destaca-se, ainda, a necessidade de monitoramento contínuo de eventos recorrentes, como turbulência, e de atenção estratégica a eventos menos frequentes, mas de grande gravidade. Em consonância com a perspectiva da UFPel Afirmativa, este trabalho contribui com o compromisso da ciência, do ensino, da pesquisa e da extensão na promoção da justiça social e ambiental, fortalecendo o diálogo entre universidade e sociedade em prol de um futuro mais equânime e sustentável.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Ministério da Educação (MEC) pela bolsa do Programa de Educação Tutorial (PET) ao primeiro autor.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Segurança Operacional**. Brasília: ANAC, 2025. Acesso em: 28 ago. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/meteorologia-aeronautica>

MACRAE, Carl; PIDGEON, Nick; O'LEARY, Mike. Assessing the risk of flight safety incident reports. Investigation and Reporting of Incidents and Accidents (IRIA 2002), 2002.

ROSE, Andrew. Measuring operational safety in aviation. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, v. 78, n. 1, p. 26-31, 2006.

KELLY, Damien; EFTHYMIOU, Marina. An analysis of human factors in fifty controlled flight into terrain aviation accidents from 2007 to 2017. Journal of safety research, v. 69, p. 155-165, 2019.

GULTEPE, Ismail et al. A review of high impact weather for aviation meteorology. Pure and applied geophysics, v. 176, n. 5, p. 1869-1921, 2019.

SISTEMA DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. **Painel SIPAER**. Brasília: CENIPA, 2025. Acesso em: 28 ago. 2025. Disponível em: <https://painelsipaer.cenipa.fab.mil.br/extensions/Sipaer/Sipaer.html>