

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
METEOROLOGIA**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Matheus Gouveia Oliveira Maroja**

**ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE RISCOS OPERACIONAIS DE VOO E  
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO AEROPORTO DE CAMPINA  
GRANDE – PB**

**Campina Grande, Dezembro de 2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – UACA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA - PPGMET**

**Análise da Correlação entre Riscos Operacionais de Voo e Condições  
Meteorológicas no Aeroporto de Campina Grande - PB**

**MATHEUS GOUVEIA OLIVEIRA MAROJA**

Campina Grande - PB

Dezembro de 2023

**MATHEUS GOUVEIA OLIVEIRA MAROJA**

**Análise da Correlação entre Riscos Operacionais de Voo e Condições  
Meteorológicas no Aeroporto de Campina Grande - PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

**Área:** Meteorologia Aeronáutica

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Magaly de Fátima Correia

Campina Grande - PB

Dezembro de 2023

M354a

Maroja, Matheus Gouveia Oliveira.

Análise da correlação entre riscos operacionais de vôo e condições meteorológicas no aeroporto de Campina Grande - PB / Matheus Gouveia Oliveira Maroja – Campina Grande, 2023.

69 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Profa. Dra. Magaly de Fátima Correia."

Referências.

1. Meteorologia Aeronáutica. 2. Aviação - Riscos Operacionais. 3. Cancelamento de Voo. 4. Condições Meteorológicas. 5. Aeroporto de Campina Grande. I. Correia, Magaly de Fátima. II. Título.


CDU 551.5:656.71(043)

MATHEUS GOUVEIA OLIVEIRA MAROJA


ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE RISCOS OPERACIONAIS DE VOO E  
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO AEROPORTO DE CAMPINA GRANDE -PB

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/12/2023


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente  
 **MAGALY DE FATIMA CORREIA**  
Data: 21/02/2024 19:24:27-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. **MAGALY DE FATIMA CORREIA**  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas Universidade  
Federal de Campina Grande

Documento assinado digitalmente  
 **MARIA REGINA DA SILVA ARAGAO**  
Data: 21/02/2024 19:38:36-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. **MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO**  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas Universidade  
Federal de Campina Grande

Documento assinado digitalmente  
 **DAVID MENDES**  
Data: 22/02/2024 10:45:58-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. **DAVID MENDES**  
Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora por cuidarem tão bem de mim, por sempre me guiarem e terem me proporcionado essa imensa conquista.

Agradeço à minha família pelo apoio e por sempre torcerem por mim.

A Vanderlane Cavalcanti por estar ao meu lado, me incentivando e apoiando, por sempre acreditar em mim e mostrar o quanto sou capaz. Obrigado por todo amor, cuidado e carinho. E ao nosso pequeno Simba, que nos proporciona alegria, afeto e amor todos os dias.

A professora Dr.<sup>a</sup> Magaly de Fátima Correia pela orientação, confiança e pelo tempo que se dedicou a me ajudar durante a realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG pelo conhecimento que foi repassado nas salas de aula.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | Ilustração do <i>Primary Flight Display</i> (PFD).....  | 20 |
| Figura 2  | Carta Aeronáutica IAC, aeroporto SBKG.....  | 22 |
| Figura 3  | Histórico de fatalidades na aviação civil brasileira.....   | 24 |
| Figura 4  | Aeroporto Presidente João Suassuna.....   | 39 |
| Figura 5  | Localização geográfica da cidade de Campina Grande-PB.....  | 43 |
| Figura 6  | Evolução temporal da precipitação média climatológica e umidade relativa média climatológica em Campina Grande-PB.....  | 44 |
| Figura 7  | Número de ocorrências das condições climáticas adversas por hora abaixo de 3000 metros, no período entre 2013 e 2020, dos meses de março a julho no aeroporto SBKG..... | 46 |
| Figura 8  | Número de ocorrências das condições climáticas adversas por hora abaixo de 3000 metros, no período entre 2013 e 2020, dos meses de março a julho no aeroporto SBKG..... | 47 |
| Figura 9  | Número de ocorrências por tipo de nebulosidade entre os anos de 2013 e 2020 dos meses de março a julho no aeroporto SBKG.....   | 48 |
| Figura 10 | Número de ocorrências por nebulosidade nos meses de março a julho entre os anos de 2013 e 2020 no aeroporto SBKG.....   | 48 |
| Figura 11 | Número de ocorrências de atrasos e cancelamentos de voo reportados nos meses de março a julho no período de 2013 a 2020 com origem em SBKG.....                         | 50 |
| Figura 12 | Número de ocorrências de atrasos e cancelamentos de voo reportados nos meses de março a julho no período de 2013 a 2020 com destino a SBKG.....                         | 50 |
| Figura 13 | Possível armazenagem irregular de resíduos nas proximidades do SBKG....   | 53 |
| Figura 14 | Imagens do satélite GOES-13, às 01:50UTC (A) e 18:20UTC (B) do dia 01/03/2020, evidenciando a formação de nuvens Cumulonimbus (CB) sobre o leste do NEB.....            | 55 |
| Figura 15 | (a) Classificação do vento em 01/03/2023 e (b, c) Diagramas de rosa dos ventos do dia 01/03/2020.....   | 57 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 16 | Imagens do satélite GOES-13, ambas às 16:00 UTC (A), (B) dos dias 14/06/2017 e 15/06/2017 respectivamente.....   | 58 |
| Figura 17 | (a) Classificação do vento nos dias 14/06/2017 e 15/06/2017 e (b, c) Diagramas de rosa dos ventos dos dias 14/06/2017 e 15/06/2017.....  | 60 |
| Figura 18 | (a) Classificação do vento em junho de 2017, (b) Diagrama da rosa dos ventos RWY 15 aeroporto de Campina Grande em junho de 2017, (c) Classificação do vento em março de 2020 e (d) Diagrama da rosa dos ventos RWY 15 aeroporto de Campina Grande em março de 2020..... | 62 |



## LISTA DE TABELAS

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabela 1 | Tempo Presente.....   | 25 |
| Tabela 2 | Tipos de nuvens.....  | 26 |
| Tabela 3 | Características do Aeroporto Presidente João Suassuna.....  | 39 |
| Tabela 4 | Estrutura das escalas espacial e temporal do clima.....   | 41 |
| Tabela 5 | Divisão de escalas proposta por ORLANSKY (1975).....  | 43 |
| Tabela 6 | Visibilidade média horizontal, em metros (m), no período de 2013 a 2020 dos meses de março a julho.....   | 45 |
| Tabela 7 | Velocidade média do vento (nós) no período de 2013 a 2020 dos meses de março a julho.....   | 46 |
| Tabela 8 | Justificativas e/ou ocorrências para atrasos e cancelamentos de voo reportados no período de 2013 a 2020 nos meses de março a julho com origem no Aeroporto de Campina Grande (SBKG)..... | 49 |
| Tabela 9 | Justificativas e/ou ocorrências para atrasos e cancelamentos de voo reportados no período de 2013 a 2020 nos meses de março a julho com destino ao Aeroporto Campina Grande (SBKG).....   | 50 |

## RESUMO

As condições climáticas adversas exercem um impacto considerável na eficiência das atividades aeroportuárias. A diminuição da visibilidade, a ocorrência de turbulência, a baixa altura das nuvens, a presença de ventos fortes e a intensidade das chuvas são alguns dos principais fenômenos atmosféricos frequentemente observados nos aeroportos. Como resultado, podem ocorrer atrasos, desvios e cancelamentos de voos, bem como uma redução na capacidade operacional dos aeroportos durante períodos de alto fluxo de passageiros. Além disso, acidentes também podem ocorrer como uma consequência dessas condições. Avaliar a influência de eventos climáticos significativos na aviação é, portanto, um elemento essencial para aprimorar o processo de tomada de decisões e melhorar o desempenho dos aeroportos. O aeroporto selecionado para este estudo está localizado na cidade de Campina Grande no estado da Paraíba e é gerenciado pela AENA desde o primeiro semestre de 2020. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é avaliar a influência de fenômenos meteorológicos nos atrasos e/ou cancelamentos de voos no Aeroporto João Suassuna (SBKG), localizado em Campina Grande, Paraíba, no período de 2013 a 2020 dos meses de março a julho. Foi possível observar que a visibilidade no aeroporto SBKG é limitada, predominantemente, devido à bruma úmida. Até 1000 m, a principal condição climática é o nevoeiro. A nebulosidade no aeroporto SBKG ocorre predominantemente por nuvens esparsas e céu nublado. Voos provenientes dos aeroportos mais movimentados do Brasil (SP e RJ) com destino a SBKG ocorrem em horários em que comumente acontecem os eventos meteorológicos bruma úmida e nevoeiro. Em relação aos voos com destino ao aeroporto de Campina Grande, as principais causas de atrasos e cancelamentos são as questões técnicas-operacionais e restrições operacionais, de acordo com os dados do VRA da ANAC. Os riscos identificados no aeroporto de Campina Grande, segundo a ICAO, envolvem as categorias de voo controlado para o terreno (CFIT), excursões de pista (RE), colisões com aves (BS) e riscos de colisão em voo por falta de torre de controle (MAC). As observações indicam que nos dias analisados o vento de través foi predominante no dia 01/03/2020 (78,6%), enquanto nos dias 14/06/2017 e 15/06/2017 o vento de proa foi predominante (56,4%).

**Palavras-chave:** Riscos operacionais, Cancelamento de voo, Condições meteorológicas, Campina Grande.

## ABSTRACT

Adverse weather conditions have a considerable impact on the efficiency of airport activities. Decreased visibility, the occurrence of turbulence, low cloud height, the presence of strong winds and the intensity of rain are some of the main atmospheric phenomena frequently observed at airports. As a result, flight delays, diversions and cancellations may occur, as well as a reduction in the operational capacity of airports during periods of high passenger flow. Furthermore, accidents can also occur because of these conditions. Assessing the influence of significant weather events on aviation is, therefore, an essential element to improve the decision-making process and improve airport performance. The airport selected for this study is in the city of Campina Grande in the state of Paraíba and has been managed by AENA since the first half of 2020. In this context, the objective of this research is to evaluate the influence of meteorological phenomena on delays and/or cancellations of flights at João Suassuna Airport (SBKG), located in Campina Grande, Paraíba, from 2013 to 2020 from March to July. It was possible to observe that visibility at SBKG airport is limited, predominantly due to the humid fog. Up to 1000 m, the main weather condition is fog. Cloud cover at SBKG airport is predominantly caused by scattered clouds and overcast skies. Flights from the busiest airports in Brazil (SP and RJ) to SBKG occur at times when wet mist and fog weather events commonly occur. In relation to flights to Campina Grande airport, the main causes of delays and cancellations are technical-operational issues and operational restrictions, according to data from ANAC's VRA. The risks identified at Campina Grande airport, according to ICAO, involve the categories of controlled flight to terrain (CFIT), runway excursions (RE), bird collisions (BS) and risks of collision in flight due to lack of a flight tower control (MAC). Observations indicate that on the days analyzed the crosswind was predominant on 03/01/2020 (78.6%), while on 06/14/2017 and 06/15/2017 the headwind was predominant (56.4% ).

**Keywords:** Operational risks, Flight cancellation, Weather conditions, Campina Grande.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 11 |
| 1.1 OBJETIVO .....   | 13 |
| 1.1.1 OBJETIVO GERAL .....   | 13 |
| 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 13 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....  | 14 |
| 2.1 OPERADORES AERONÁUTICOS E AEROPORTUÁRIOS .....                                   | 14 |
| 2.2 INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA .....   | 15 |
| 2.2.1 CLASSIFICAÇÃO E CAPACIDADES DE AEROPORTOS .....                                | 16 |
| 2.2.1.1 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO NÚMERO DE PASSAGEIROS .....                            | 16 |
| 2.2.1.2 CAPACIDADE.....  | 16 |
| 2.4 PROCEDIMENTOS DE NAVEGAÇÃO.....  | 17 |
| 2.4.1 VOO VISUAL (VFR).....  | 18 |
| 2.4.2 VOO POR INSTRUMENTOS (IFR).....  | 19 |
| 2.4.3 APROXIMAÇÃO.....   | 21 |
| 2.5 VOLUME DO TRÁFEGO E O GERENCIAMENTO DO RISCO .....                               | 22 |
| 2.6 AUXÍLIOS METEOROLÓGICOS .....  | 24 |
| 2.6.4 SISTEMA DE DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES METEOROLÓGICAS .....                      | 25 |
| 2.7 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS ADVERSAS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O TRANSPORTE<br>AÉREO..... | 26 |
| 2.7.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....   | 29 |
| 2.7.2 TETO .....   | 29 |
| 2.7.3 CHUVA LEVE, MODERADA E FORTE .....   | 30 |
| 2.7.4 CHUVISCO LEVE, MODERADO E FORTE .....  | 31 |
| 2.7.5 CORTANTE DE VENTO.....   | 31 |
| 2.7.6 NEVOEIRO.....  | 32 |
| 2.7.7 NÉVOA ÚMIDA .....  | 33 |
| 2.7.8 BAIXA VISIBILIDADE .....   | 33 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS .....   | 34 |
| 3.1 DADOS UTILIZADOS .....   | 34 |
| 3.1 INFORMAÇÕES DO AEROPORTO EM ESTUDO .....   | 38 |
| 3.2 INFORMAÇÕES GERAIS DO LOCAL DO ESTUDO.....                                       | 41 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 44 |
| 5. CONCLUSÃO .....   | 63 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 64 |
| APÊNDICE .....   | 69 |

## 1. INTRODUÇÃO

O desempenho do sistema aeroportuário depende de restrições internas e externas. Nesse contexto, as condições meteorológicas adversas podem causar impactos significativos nas operações de aeronaves e aeroportos, podendo afetar também toda a malha aeronáutica. Tais impactos podem incluir atrasos, cancelamentos de voo e até mesmo incidentes de segurança (SCHULTZ *et al.*, 2021). Além disso, os aeroportos têm capacidade limitada para lidar com chegadas e partidas de aeronaves. Em períodos sob influência de fenômenos atmosféricos significativos, as atividades aeroportuárias são particularmente afetadas com interferências diretas em diferentes setores da aviação. No entanto, o desempenho e eficiência dos aeroportos, dependem fundamentalmente da tecnologia disponível quando consideradas circunstâncias de condições meteorológicas visual (VMC) ou por instrumentos (IMC) (BELO-PEREIRA E SANTOS, 2016; CHRISTOPHER E JENNIFER, 2019).

Vários estudos indicam que condições meteorológicas adversas estão entre os fatores externos com grandes impactos na gestão e operação de aeroportos e que podem culminar em atrasos e cancelamentos de voos (CHRISTOPHER E JENNIFER, 2019). Esses contratempos podem acarretar prejuízos vultosos para as empresas envolvidas e problemas de natureza diversas ao usuário do transporte aéreo. Por exemplo, os custos econômicos dos atrasos no tráfego aéreo para a economia dos Estados Unidos são enormes e de longo alcance. Em 2007, o custo total dos atrasos das companhias aéreas foi de US \$ 41 bilhões (JOINT ECONOMIC COMMITTEE, 2008).

Informações contidas nas mensagens METAR (*Meteorological Aerodrome Report* - Informe meteorológico regular de aeródromo) são indicadores fundamentais no planejamento de estratégias para lidar com situações climáticas desfavoráveis já que a infraestrutura local e a tecnologia disponível representam fatores críticos nas decisões de pousos e decolagens. O METAR contém informações sobre visibilidade, vento, nebulosidade, temperatura e pressão que representam parâmetros relevantes para o tráfego aéreo, e particularmente para operações aeroportuárias. Além dessas informações, estão disponíveis dados sobre nuvens significativas relacionadas com tempestades (trovoadas), rajadas de vento e alcance visual da pista (RVR) (DE OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Chuvas intensas, rajadas de vento, baixa visibilidade e pista escorregadia se destacam entre os fatores de risco à segurança das operações aéreas (FOGACCIA e FILHO, 2002; CERQUEIRA *et al.*, 2005; BARBIERI, 2016; OLIVEIRA SILVA e MACHADO, 2016).

Entretanto, a frequência e impacto desses eventos diferem ao longo de um ano e variam com a área geográfica do país e com a categoria do aeroporto.

Outro fator de grande relevância e predominantemente observado no inverno e com grande incidência em regiões serranas, é a condição denominada “teto baixo” (quando a nebulosidade está muito perto ou até tocando o solo). Pilotos não qualificados ou conduzindo aeronaves não equipadas para voar por instrumentos (IFR – regras de voo por instrumentos) devem evitar o voo nessas condições. É imprescindível que o aeródromo de partida e de destino sejam homologados para operações por instrumentos e as condições meteorológicas predominantes no aeródromo deverão ser iguais ou superiores aos mínimos estabelecidos para operação IFR (MANSIKKA *et al.*, 2016). Estudos recentes sobre a influência de condições meteorológicas adversas nos atrasos e cancelamentos de voo no aeroporto João Suassuna, em Campina Grande, identificaram predominância de ocorrência de teto baixo, superior a 1000 horas anuais, no mês de junho no SBKG (MEDEIROS, 2018; SILVA *et al.*, 2020).

Nesse sentido, devido às preocupações com a segurança e a eficiência, é crucial compreender como essas condições meteorológicas afetam as operações de voo e desenvolver estratégias para minimizar seus impactos. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo analisar a correlação entre os riscos operacionais de voo e as condições meteorológicas no aeroporto de Campina Grande – PB.

## **1.1 OBJETIVO**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Este estudo foi desenvolvido com o propósito de oferecer recomendações que aprimorem a resiliência das operações aeroportuárias frente às nuances das da meteorologia local no Aeroporto João Suassuna em Campina Grande – PB.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar a coleta de dados históricos abrangendo o período de 2013 a 2020 dos meses de março a julho, contemplando eventos meteorológicos de relevância na região adjacente ao aeroporto João Suassuna em Campina Grande – PB.
- Identificar os tipos de eventos meteorológicos que apresentaram maior recorrência e exerceram impacto significativo nas operações aeroportuárias do aeroporto João Suassuna em Campina Grande – PB.
- Conduzir uma análise dos principais fatores contribuintes para a ocorrência de atrasos e cancelamentos de voos, especificamente associados aos eventos meteorológicos no aeroporto João Suassuna em Campina Grande – PB.
- Identificar os riscos inerentes às operações aeroportuárias, propondo recomendações substanciais destinadas a promover uma maior segurança e robustez nas operações aéreas no aeroporto de Campina Grande.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 OPERADORES AERONAÚTICOS E AEROPORTUÁRIOS

Operadores aeronáuticos e aeroportuários são empresas que atuam na gestão e operação de serviços e infraestrutura aeronáutica, como aeroportos, terminais de carga, serviços de abastecimento de aeronaves, serviços de rampa, empresas aéreas, entre outros. Esses operadores são responsáveis por garantir a segurança das operações aéreas e por oferecer serviços de qualidade para passageiros e empresas.

Os operadores aeroportuários, por exemplo, são responsáveis pela gestão e manutenção de aeroportos, incluindo o gerenciamento do tráfego aéreo, a manutenção da pista e das instalações, a segurança das operações, entre outros aspectos. Já os operadores aeronáuticos podem incluir empresas aéreas, de manutenção de aeronaves, de abastecimento de combustível, entre outros.

Segundo a ANAC, os operadores aeronáuticos do nordeste brasileiro atualmente são:

- A Gol Linhas Aéreas Brasileiras é uma companhia aérea brasileira de baixo custo, que tem sua base em São Paulo. Ela opera voos em todos os estados do nordeste, com destinos para as principais cidades da região, como por exemplo, Campina Grande, no estado da Paraíba, local do maior São João do Mundo.
- A LATAM Brasil é a maior companhia aérea do país em termos de frota e número de passageiros transportados. Ela opera em todas as regiões do país, incluindo o Nordeste, com voos para as principais capitais da região.
- A Azul Linhas Aéreas é uma companhia aérea brasileira, que tem sua sede em Barueri, São Paulo. Ela opera voos em todos os estados do nordeste, com destinos para muitas cidades da região, com forte atuação nos voos regionais.
- A VoePass é uma companhia aérea regional, que opera em diversos estados do país, incluindo o Nordeste. Ela realiza voos para cidades menores e destinos turísticos da região.

No Nordeste brasileiro, existem vários operadores aeroportuários que atuam em diferentes aeroportos. Alguns dos principais operadores são:

- *Infraero*: é uma empresa pública federal responsável pela administração da maioria dos aeroportos regionais do Brasil.
- *Vinci Airports*: é uma empresa francesa que administra aeroportos em todo o mundo, incluindo vários no Nordeste brasileiro.



- Aena Brasil: é a subsidiária brasileira da Aena *Internacional*, empresa espanhola que é uma das maiores operadoras de aeroportos do mundo e que opera alguns aeroportos do nordeste brasileiro.
- *Zurich Airport* Brasil: é a subsidiária brasileira da empresa suíça *Zurich Airport*, que opera aeroportos em todo o mundo, inclusive, no nordeste brasileiro.

## 2.2 INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA

Um aeródromo é toda área destinada a pouso, decolagem e movimentação de aeronaves e os aeroportos são aeródromos públicos dotados de instalações e facilidades para apoio de operações de aeronaves em geral, bem como, embarque e desembarque de pessoas, cargas, correios, entre outros (VALDÉS *et al.*, 2011). Sua capacidade e eficiência dependem da organização e da coordenação de todos esses fluxos (ROHACS *et al.*, 2016). Nesse contexto, a concepção de um aeroporto deve seguir alguns princípios, como:

- Ser desenhado para operar de uma maneira eficiente, considerando a segurança dos usuários e clientes;
- Ter o fluxo de aeronaves operado de forma eficiente entre os diferentes subsistemas (espaço aéreo, pistas, *taxiways* e pátio);
- Ter o acesso ao terminal facilitado;
- Ter um terminal de passageiros que permita uma integração eficiente entre o lado ar e lado terra, mantendo o adequado fluxo de passageiros;
- Ter cada subsistema flexível o suficiente para comportar demandas futuras de forma a garantir a capacidade balanceada do sistema.

Segundo HORONJEFF e MCKELVEY (1983), temperatura e ventos são componentes meteorológicos que podem influenciar no tamanho de um aeroporto. Temperatura, por exemplo, influencia no comprimento da pista, sendo exigida maior extensão para regiões cujo clima é caracterizado por altas temperaturas. A direção e a velocidade de ventos influenciam o número de pistas, seu comprimento e sua configuração. Além disso, devido à natureza complexa das operações aéreas e aeroportuárias, bem como suas interações com meio externo, é necessário planejá-las e desenvolvê-las considerando todas as condições meteorológicas e climáticas possíveis (ICAO, 2013). Como poderá ser verificado adiante, fatores climáticos e meteorológicos influenciam desde a infraestrutura do aeroporto até suas operações.

## **2.2.1 CLASSIFICAÇÃO E CAPACIDADES DE AEROPORTOS**

### **2.2.1.1 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO NÚMERO DE PASSAGEIROS**

A Norma RBCA Nº 54/2012 (ANAC, 2012) classifica os aeródromos civis públicos brasileiros, compartilhados ou não, em função do número de passageiros processados, considerando a média aritmética no período de referência e o tipo de voo que o aeródromo processa no ano corrente. Com base nestes, tem-se:

- I. Classe I: aeródromo em que o número de passageiros processados seja inferior a 200.000 (duzentos mil);
- II. Classe II: aeródromo em que o número de passageiros processados seja igual ou superior a 200.000 (duzentos mil) e inferior a 1.000.000 (um milhão);
- III. Classe III: aeródromo em que o número de passageiros processados seja igual ou superior a 1.000.000 (um milhão) e inferior a 5.000.000 (cinco milhões); e
- IV. Classe IV: aeródromo em que o número de passageiros processados seja igual ou superior a 5.000.000 (cinco milhões).

Quanto ao tipo de voo que o aeródromo processa no ano corrente:

- I. Aeródromo que não processa voo regular; para os aeródromos enquadrados na classe I, tem-se: (A) Aeródromo Classe I-A;
- II. Aeródromo que processa voo regular; para os aeródromos enquadrados na classe I, tem-se: (B) Aeródromo Classe I-B;
- III. Para aeródromos enquadrados nas classes II, III e IV, não há divisão quanto ao tipo de voo processado no aeródromo.

### **2.2.1.2 CAPACIDADE**

O termo capacidade tem várias definições, mas, geralmente, está relacionado a um limite que, quando atingido ou excedido, afeta a operação do aeroporto e o nível de serviços. A capacidade sustentada, por sua vez, representa toda a capacidade de um subsistema acomodar a demanda do tráfego, dentro de padrões de espaço e tempo a um determinado nível de serviços (IATA, 2004). Dispor de capacidade adequada para atender à crescente demanda e, ao mesmo tempo, maximizar o uso dos recursos existentes tem se tornado cada vez mais crítico. Nesse contexto, o adequado gerenciamento da capacidade e da demanda num dado ambiente representa o maior desafio para um operador aeroportuário. Vários métodos alternativos de gerenciamento da demanda frente às limitações de capacidade têm sido considerados no

passado, sendo o planejamento coordenado o mais o satisfatório (IATA, 2004). O balanceamento da capacidade de um aeroporto deve considerar os limites dos subsistemas, de maneira a permitir o fluxo máximo das operações. Nesse contexto, os principais subsistemas a serem considerados são:

- Espaço terminal - que representa capacidade de processar a aproximação, o pouso e a decolagem do tráfego aéreo;
- Pistas e táxis - que representam a capacidade de processar pouso, taxiamento e decolagem de aeronaves. O sistema de pistas é um componente crítico e afeta diretamente a capacidade de todo o aeroporto;
- Terminal de passageiros - que representa a capacidade de receber e processar passageiros;
- Acesso terrestre - que representada a capacidade (ou facilidade) de acesso ao aeroporto.

## **2.4 PROCEDIMENTOS DE NAVEGAÇÃO**

Os procedimentos de navegação aérea são técnicas e métodos utilizados para guiar uma aeronave de um ponto a outro. Eles incluem tanto as técnicas de navegação por instrumentos, como as utilizadas em condições de baixa visibilidade ou mal tempo, quanto as técnicas de navegação visual, utilizadas em condições de boa visibilidade e podem ser subdivididos em visual, não precisão e precisão por instrumentos (ICAO, 2013 DOC 9365).

Os procedimentos de navegação por instrumentos incluem o uso de equipamentos como o sistema de navegação global (GNSS), o sistema de navegação por rádio (VOR, DME, ADF, entre outros), além de outros sistemas de navegação, como o radar e o TCAS (Sistema de alerta de colisão no ar). Esses sistemas permitem que os pilotos determinem sua posição e desenhem rotas de voo precisas, mesmo em condições meteorológicas adversas.

Os procedimentos de navegação visual incluem o uso de técnicas de navegação visual para identificar pontos de referência no solo, como montanhas, rios e cidades, além de usar cartas aeronáuticas para planejar rotas de voo. Isso é feito, principalmente, em condições de boa visibilidade, onde é possível ver o terreno e seguir os procedimentos de voo visual. Além disso, existem procedimentos de navegação específicos para diferentes situações, como procedimentos de aproximação e pouso, procedimentos de emergência, entre outros. Esses procedimentos são desenvolvidos e regulamentados pelas autoridades aeronáuticas e seguidos pelos pilotos para garantir a segurança e eficiência no tráfego aéreo.

De acordo com o DECEA (2016), o número total de aeródromos no Brasil é de 2500, sendo 677 públicos e 1770 privados. Do total, 119 estão em condições de realizar operações IFR, sendo que em apenas 60 destes é prestado o Serviço de Controle de Aeródromo por uma Torre de Controle (TWR), e nos demais é prestado o Serviço de Informação de Voo de Aeródromo por um órgão AFIS. Ainda segundo a mesma fonte, as operações IFR em aeródromos, além do ganho em segurança, proporcionam significativo ganho em acessibilidade, uma vez que podem ser realizadas em condições meteorológicas mais degradadas em comparação às VFR.

#### **2.4.1 VOO VISUAL (VFR)**

O voo visual é realizado quando as condições meteorológicas são favoráveis e permitem que o piloto tenha uma visão clara da rota e do ambiente em volta da aeronave. Para a realização de voos visuais, é necessário que os mínimos meteorológicos estejam adequados para a operação, o que inclui, por exemplo, uma visibilidade mínima e uma altura mínima em relação ao solo. É importante que o piloto esteja ciente desses mínimos e os siga rigorosamente para garantir a segurança da operação, este que são (SPIRKOVSKA *et al.*, 2002; VERVERS *et al.*, 2008):

- Altura mínima de voo: 300 metros (1.000 pés) acima do nível do solo, ou 150 metros (500 pés) acima do obstáculo mais alto dentro de um raio de 8 km do avião;
- Visibilidade horizontal mínima: 5.000 metros (3.000 metros durante operações em aeroportos controlados);
- Distância mínima das nuvens: 1.000 metros abaixo, 300 metros acima e 1.500 metros à frente da aeronave.

Além do voo visual comum, existe o VFR especial, que é utilizado em condições específicas. Esse tipo de voo pode ser autorizado quando as condições meteorológicas não atendem aos mínimos para o voo visual padrão, mas ainda permitem que a aeronave opere com segurança. O VFR especial tem regras de utilização específicas, como a necessidade de autorização do controle de tráfego aéreo e restrição de altitude e velocidade.

Os mínimos meteorológicos para voos VFR especial incluem:

- Altura mínima de voo: 150 metros (500 pés) acima do nível do solo, ou 30 metros (100 pés) acima do obstáculo mais alto dentro de um raio de 3 km do avião;
- Visibilidade horizontal mínima: 1.500 metros;

- Distância mínima das nuvens: 150 metros abaixo, 300 metros acima e 1.500 metros à frente da aeronave.

#### 2.4.2 VOO POR INSTRUMENTOS (IFR)

O voo por instrumentos é a forma de operação de aeronaves em que o piloto utiliza apenas os instrumentos de bordo para orientação e controle da aeronave. Isso é necessário em situações em que as condições meteorológicas não permitem o voo visual. Vale destacar que em voos IFR, os parâmetros que o piloto deve seguir como mínimos meteorológicos, variam de acordo com as características do aeroporto, equipamentos de auxílio a navegação e tipos de aeronave.

De acordo com SIMS (2016), o ILS é dividido em:

- ILS CAT I: Sistema de aproximação e pouso de precisão que conduz a aeronave até uma altura mínima de 60 metros sobre a cabeceira da pista, requerendo uma visibilidade mínima de 800 metros como parâmetro para prosseguimento na aproximação de pouso;
- ILS CAT II: Sistema de aproximação e pouso de precisão que conduz a aeronave até uma altura mínima de 30 metros sobre a cabeceira da pista, requerendo uma visibilidade mínima de 400 metros como parâmetro para prosseguimento na aproximação de pouso;
- ILS CAT IIIA: Sistema de aproximação e pouso de precisão que conduz a aeronave até uma altura mínima de 15 metros sobre a cabeceira da pista, requerendo uma visibilidade mínima de 200 metros como parâmetro para prosseguimento na aproximação de pouso.
- ILS CAT IIIB: Sistema de aproximação e pouso de precisão que conduz a aeronave até uma altura mínima de 15 metros sobre a cabeceira da pista, requerendo uma visibilidade mínima de 50 metros como parâmetro para prosseguimento na aproximação de pouso. ILS
- CAT IIIC: Sistema de aproximação e pouso de precisão que conduz a aeronave até o pouso sem limitações de altura de decisão ou de visibilidade mínima para prosseguimento na aproximação e pouso.

O *Primary Flight Display* (PFD) é um dos principais instrumentos utilizados no voo por instrumentos. Ele apresenta informações como altitude, velocidade, rumo, inclinação da aeronave, entre outras. É importante para o piloto manter constantemente sua atenção no PFD para manter o controle da aeronave. Um exemplo de operação utilizando o PFD consta na Figura 1, onde é possível identificar o *Localizer* e o *Glide Slope* (GS), que são dois sistemas que auxiliam os pilotos na aproximação para pouso em condições de pouca visibilidade. O *Localizer* é um componente do sistema de pouso por instrumentos (ILS) e fornece orientação

lateral para a pista, enquanto o GS, fornece orientação vertical. Juntos, eles permitem que os pilotos mantenham um curso preciso em direção à pista durante a aproximação.

O *Localizer* funciona transmitindo sinais de rádio na frequência de 108,10 a 111,95 MHz. O equipamento de bordo do avião recebe esses sinais e, por meio do PFD, exibe a orientação lateral do avião em relação ao eixo central da pista. O piloto ajusta o curso do avião de acordo com as indicações do display, mantendo-o no caminho certo para o pouso.

O GS, por sua vez, fornece orientação vertical para o avião durante a aproximação para pouso. Ele é transmitido na frequência de 329,15 a 335 MHz e é exibido no PFD. O GS indica a taxa de descida necessária para manter o avião no caminho certo em direção à pista. O piloto ajusta a altitude do avião de acordo com as indicações do GS, mantendo uma taxa de descida constante e adequada para a aproximação.

Em conjunto, o *Localizer* e o *Glide Slope* ajudam os pilotos a manterem um curso preciso em direção à pista durante a aproximação e aterrissagem, permitindo que a aeronave pouse com segurança mesmo em condições de pouca visibilidade.

De acordo com o ROTAER (2021), o aeroporto do estudo, possui o ILS CAT I instalado. Pode ser verificado na Figura 1, o display primário de um avião, sintonizado com o equipamento ILS, mostrando como é possível identificar o eixo ideal para manter o centro da pista, com a adição do GS, para identificação do ângulo de planeio correto, respectivamente os eixos lateral e vertical referentes ao aeródromo.



Figura 1 – Ilustração do *Primary Flight Display* (PFD). Fonte: FAA, 2017 (Editado).

### 2.4.3 APROXIMAÇÃO

Em uma aproximação aeronáutica em regras de voo por instrumentos comumente são utilizadas as cartas do tipo IAC (Carta de Aproximação por Instrumentos). Como ilustrado na Figura 2, a carta IAC em questão é do tipo RNAV (navegação de área, sendo um sistema de aproximação por GPS) da pista 15 (RWY15), do aeroporto SBKG (Aeroporto João Suassuna, localizado em Campina Grande - PB). Esta carta é um documento que fornece informações sobre a navegação, altitude, velocidade, comunicação, procedimentos de aproximação, informações de terreno, a fixação de rota, incluindo as frequências e identificadores de rádio, altitude mínima de decisão, altitude de decisão, e as distâncias entre os fixos de navegação. Importante ressaltar, que mostra o trajeto de aproximação, incluindo as curvas de nível, o perfil de aproximação, e as informações sobre o plano de voo. Além disso, a carta mostra informações sobre o terreno e obstáculos próximos ao aeroporto, incluindo as altitudes e distâncias aos obstáculos, além de informações sobre as iluminações do campo, incluindo as luzes de aproximação, luzes de pista e luzes de orientação, além de informações sobre o uso dos equipamentos de navegação, como o sistema de aproximação por instrumentos (ILS) e o sistema de aproximação por GPS. Conforme apresentado na Figura 2, é possível verificar duas altitudes diferentes para o piloto seguir na aproximação, sendo elas (ANAC, 2021):

- A Altitude mínima de decisão (MDA, *Minimum Decision Altitude*), que é a altitude na qual um piloto deve ter uma visibilidade adequada para tomar uma decisão, se deve continuar ou não com a aproximação. Portanto, se a visibilidade não estiver disponível nessa altitude, a aproximação deve ser abandonada e a arremetida é obrigatória. Vale ressaltar que esta altitude está atrelada a um procedimento de pouso de não-precisão, pois o piloto não possui auxílio-rádio atuando para auxiliá-lo no sentido vertical, apenas vertical, logo, quanto antes o piloto chegar na MDA, melhor, pois ele tem até o MAPT (ponto de aproximação perdida) que consta na carta para visualizar a pista.
- Altitude de decisão (DA, *Decision Altitude*), que é a altitude específica na qual um piloto deve ter uma visibilidade adequada para continuar a aproximação e pousar com segurança e ela está atrelada a um procedimento de precisão. Ela pode ser confundida com a MDA, porém, é uma altitude exata no sentido horizontal e vertical com o eixo da pista, que é triangulada com o auxílio do ILS em seu total funcionamento, e nesta altitude o piloto deve estar visual com a pista, e caso contrário, a arremetida é obrigatória.

Em resumo, a MDA é a altitude onde o piloto decide se continua ou não a aproximação, podendo manter-se nesta altitude por um curto período, enquanto a DA é o ponto onde o piloto decide se pode ou não pousar.

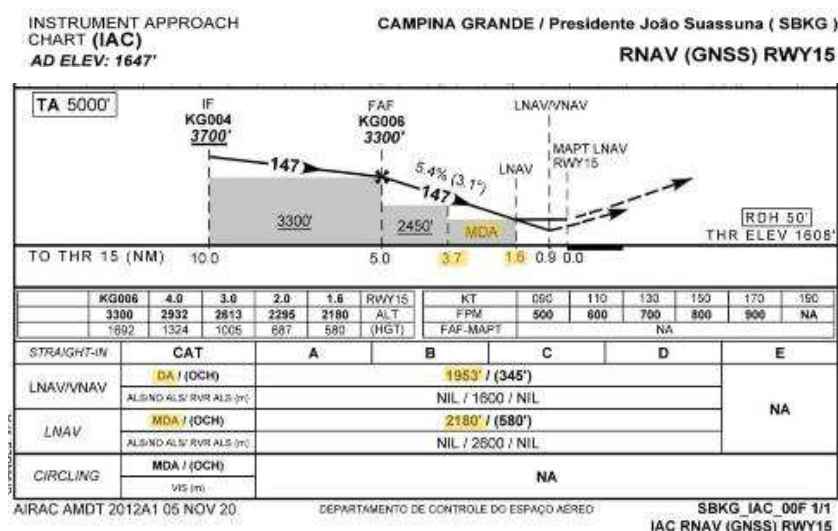


Figura 2 – Carta Aeronáutica IAC, aeroporto SBKG. Fonte: AIS WEB, 2023 (Editado).

## 2.5 VOLUME DO TRÁFEGO E O GERENCIAMENTO DO RISCO

De acordo com a ICAO, em 2017 as companhias aéreas em todo o mundo transportaram cerca de 4,1 mil milhões de passageiros e 56 milhões de toneladas de carga em 37 milhões de voos comerciais. Todos os dias, os aviões transportam mais de 10 milhões de passageiros e cerca de 18 mil milhões de dólares em mercadorias. Isto indica o impacto econômico significativo da aviação na economia mundial, o que também é demonstrado pelo fato de a aviação representar 3,5% do produto interno bruto (PIB) mundial (2,7 bilhões de dólares americanos) e ter criado 65 milhões de empregos a nível mundial e é importante destacar que a aviação fornece a única rede de transporte mundial rápida, gerando crescimento econômico, criando empregos e facilitando o comércio internacional e o turismo.

O setor da aviação cresce rapidamente e continuará a crescer, onde as estimativas mais recentes sugerem que a procura de transporte aéreo aumentará em média 4,3% ao ano durante os próximos 20 anos, e se esta trajetória de crescimento for alcançada até 2036, a indústria do transporte aéreo contribuirá então com 15,5 milhões de empregos diretos e 1,5 bilhões de dólares do PIB para a economia mundial. Uma vez tidos em conta os impactos do turismo global, estes números poderão aumentar para 97,8 milhões de empregos e 5,7 bilhões de dólares em PIB. Em meados da década de 2030, espera-se que nada menos que 200 mil voos por dia



descolem e aterrem em todo o mundo. Todavia, a crescente procura de tráfego aéreo também envolve desafios, entre os quais as importantes implicações que envolvam melhorias na infraestrutura dos aeroportos e a segurança operacional na operação aeronáutica.

Gerenciar e mitigar os riscos é crucial para garantir a segurança e a eficiência das operações aéreas, exigindo procedimentos operacionais precisos, treinamento adequado da tripulação, manutenção rigorosa da aeronave, consideração cuidadosa das condições ambientais e operacionais. Vale ressaltar que, de acordo com as definições da ICAO, as sete categorias de acidentes aeronáuticos concentram-se em:

- CFIT: Colisão em voo com terreno, água ou obstáculo sem indicação de perda de controle;
- LOC – I: Perda de controle em voo;
- RE – Excursão em pista, que é um desvio lateral ou ultrapassagem longitudinal da superfície da pista;
- *FIRE* - Fogo ou fumaça dentro ou fora da aeronave, em voo ou no solo;
- ARC – Qualquer decolagem ou pouso envolvendo contato anormal com a pista. Vale ressaltar que aterrissagens bruscas e toques com a cauda estão incluídos nesta categoria;
- SCF - Falha ou mau funcionamento de um sistema ou componente de uma aeronave, relacionado ao seu projeto, ao processo de fabricação ou a um problema de manutenção, que leve a um acidente;
- USOS – *Undershoot Landing* – Aproximação em que uma aeronave toca o solo antes da zona de toque ideal ou *Overshoot Landing* que é uma aproximação em que a aeronave toca o solo após a zona de toque ideal.

Como ilustrado na Figura 4, é possível observar uma tendência de queda na série de dados históricos de fatalidades decorrentes de acidentes aeronáuticos se analisarmos o ano de 1979 até o ano de 2020.



Figura 3 - Histórico de fatalidades na aviação civil brasileira. Fonte: CENIPA (2020).

De acordo com a ANAC (2020), avanços na tecnologia e manutenção, melhoria nos procedimentos de segurança, treinamento e capacitação, melhoria na infraestrutura aeronáutica, regulamentação e fiscalização, aprendizado com acidentes passados, conscientização sobre segurança estão entre os fatores contribuintes principais que contribuem com a diminuição de ocorrências aeronáuticas que envolvem fatalidades.

## 2.6 AUXÍLIOS METEOROLÓGICOS

A redução dos mínimos meteorológicos para a operação de aeroportos aumenta a necessidade de informações precisas e atualizadas sobre as condições meteorológicas locais e ao longo das rotas aéreas, demandando o emprego de instrumentos e equipamentos de observações modernos, bem como de prognósticos meteorológicos cada vez mais assertivos (HENRIQUES e MATSCHINSKE, 2005). No âmbito brasileiro, as atividades da Meteorologia Aeronáutica estão organizadas da seguinte forma:

- Rede de Estações Meteorológicas;
- Rede de Centros Meteorológicos;
- Bancos de Dados - Operacional (OPMET) e climatológico (BDC);
- Sistema de divulgação de informações meteorológicas.

## 2.6.4 SISTEMA DE DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES METEOROLÓGICAS

Os códigos do tipo METAR são um tipo de relatório meteorológico emitido pelas estações meteorológicas aeronáuticas. Ele fornece informações atuais sobre a visibilidade, temperatura, pressão, vento, nuvens e outros parâmetros meteorológicos importantes para a aviação. É emitido a cada 60 minutos.

SPECI é um tipo especial de relatório METAR que é emitido sempre que há uma mudança significativa nas condições meteorológicas, como por exemplo, uma mudança brusca na visibilidade, vento, temperatura, pressão, entre outros. Ele é emitido fora do horário normal do relatório METAR e tem a finalidade de fornecer informações mais precisas e atualizadas para os pilotos.

Alguns exemplos de códigos METAR e SPECI são “METAR SBKG 021300Z 12010KT 9999 BKN030 27/19 Q1015” e “SPECI SBKG 010215Z 11005KT 9999 FEW013 23/20 Q1015” respectivamente, é possível observar informações da localidade, horário (em UTC), direção e velocidade do vento, visibilidade horizontal, tempo presente, temperaturas máxima e mínima e pressão do ar. Vale ressaltar que também é possível verificar o tempo presente a partir de descritores, precipitadores, escurecedores, entre outros, como mostrado na Tabelas 1 e 2:

Tabela 1 – Tempo Presente.

| <b>Descritor</b>      | <b>Precipitantes</b>        | <b>Escurecedores:</b>     | <b>Outros</b>                   |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| <b>MI:</b> baixo      | <b>DZ:</b> chuveiro         | <b>BR:</b> névoa úmida    | <b>SQ:</b> tempestade           |
| <b>BC:</b> banco      | <b>RA:</b> chuva            | <b>FG:</b> nevoeiro       | <b>SS:</b> temp. de areia       |
| <b>DR:</b> flutuante  | <b>SN:</b> neve             | <b>HZ:</b> névoa seca     | <b>DS:</b> temp. de poeira      |
| <b>BL:</b> soprada    | <b>SG:</b> grãos de gelo    | <b>SA:</b> areia          | <b>FC:</b> tromba d’água        |
| <b>SH:</b> pancada    | <b>IC:</b> cristais de gelo | <b>FU:</b> fumaça         | <b>PO:</b> redemoinho de poeira |
| <b>TS:</b> trovoada   | <b>GR:</b> granizo          | <b>DU:</b> poeira extensa |                                 |
| <b>FZ:</b> congelante | <b>PE:</b> pelotas de gelo  |                           |                                 |

Fonte: Lift Aviation, 2023.

Tabela 2 - Tipos de Nuvens.

| <b>Sigla</b>  | <b>Nome</b> | <b>Altitude</b> | <b>Significado</b>  |
|---------------|-------------|-----------------|---|
| Cirrus        | Ci          | 5 a 13 km       | Nuvens finas, brancas e fibrosas em forma de penas ou véus                                |
| Cirrostratus  | Cs          | 5 a 13 km       | Nuvens finas, transparentes e esbranquiçadas que cobrem todo o céu                        |
| Cirrocumulus  | Cc          | 5 a 13 km       | Nuvens pequenas, brancas e redondas que parecem grãos de arroz                            |
| Altostratus   | As          | 2 a 6 km        | Nuvens cinzentas e opacas que cobrem todo o céu   |
| Alto cumulus  | Ac          | 2 a 6 km        | Nuvens brancas ou cinzentas em forma de lençóis ou rolos                                  |
| Stratus       | St          | 0,1 a 1,5 km    | Nuvens baixas e cinzentas que cobrem todo o céu e reduzem a visibilidade                  |
| Stratocumulus | Sc          | 0,1 a 3 km      | Nuvens baixas e cinzentas em forma de rolos ou lençóis                                    |
| Nimbostratus  | Ns          | 0,1 a 4 km      | Nuvens cinzentas e opacas que cobrem todo o céu e trazem chuva ou neve                    |
| Cumulus       | Cu          | 0,1 a 9 km      | Nuvens brancas e fofas em forma de cúpula ou torre  |
| Cumulonimbus  | Cb          | 0,1 a 14 km     | Nuvens densas e escuras em forma de torre, que trazem chuva, trovoadas e rajadas de vento |

Fonte: Anexo 3 ICAO - Serviço Meteorológico de Navegação Aérea Internacional.

## **2.7 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS ADVERSAS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O TRANSPORTE AÉREO**

As condições climáticas adversas podem causar atrasos ou cancelamentos de voos, bem como, aumentar o risco de acidentes ou incidentes aéreos. Por exemplo, ventos fortes podem dificultar a decolagem e a aterrissagem, e a turbulência pode ser perigosa para os passageiros e a tripulação, além de causar danos à aeronave. O nevoeiro e a baixa visibilidade também podem dificultar a navegação e o pouso, especialmente em aeroportos sem equipamentos de navegação por instrumentos avançados. Em algumas situações, as condições climáticas adversas podem levar a desvios de rotas de voo ou até mesmo à necessidade de desviar para outro aeroporto.

Para garantir a segurança e minimizar os impactos das condições climáticas adversas no transporte aéreo, as companhias aéreas e as autoridades de aviação devem monitorar cuidadosamente as condições meteorológicas e tomar medidas preventivas, como ajustar rotas de voo, cancelar voos ou atrasá-los, quando necessário. Além disso, as equipes de manutenção das aeronaves devem realizar inspeções rigorosas para garantir que as aeronaves estejam em boas condições para voar em condições climáticas adversas.

A meteorologia aeronáutica está intimamente ligada às operações de voo e segurança da aviação, e uma série de parâmetros e fenômenos meteorológicos são de interesse para a aviação, especialmente na região nordeste do Brasil. Entre os principais parâmetros meteorológicos de interesse estão a visibilidade, o vento, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a presença de nuvens e precipitação.

A visibilidade é uma variável crucial, especialmente em condições de baixa visibilidade, como nevoeiro ou neblina. A intensidade e a direção do vento também são importantes, uma vez que o vento cruzado pode impactar a segurança do pouso e decolagem. A temperatura do ar e a umidade relativa do ar são fatores relevantes na determinação da performance do avião, assim como a densidade do ar. A presença de nuvens e precipitação também é um fator crítico que pode afetar a segurança do voo.

Além das variáveis meteorológicas mencionadas anteriormente, é fundamental que os operadores aeronáuticos tomem precauções voltadas para a utilização de auxílios à navegação aérea, como o *Instrument Landing System* (ILS) e o *VHF Omnidirectional Range* (VOR). Esses auxílios fornecem informações cruciais sobre a localização e o deslocamento do avião, bem como a altitude e a direção do vento.

O ILS é particularmente importante em condições de baixa visibilidade, como nevoeiro ou chuva intensa, pois fornece orientação precisa ao piloto durante as fases críticas do pouso. O VOR, por sua vez, permite que o piloto navegue em relação a um sinal de rádio estabelecido, ajudando a manter uma rota precisa e segura.

É importante ressaltar que esses auxílios não substituem a habilidade e a experiência dos pilotos, mas são ferramentas valiosas que ajudam a garantir a segurança do voo. Por isso, é essencial que os operadores aeronáuticos mantenham esses sistemas em perfeitas condições de funcionamento e que os pilotos sejam adequadamente treinados em sua utilização.

Dessa forma, a utilização de auxílios à navegação aérea, como o ILS e o VOR, é um elemento-chave para uma operação segura em todas as condições meteorológicas e climáticas na região nordeste do Brasil e em todo o mundo.

Alguns fenômenos meteorológicos específicos que afetam a aviação na região nordeste do Brasil como o Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL) incluem a ocorrência de tempestades, a presença de ventos fortes e as chuvas intensas, entre outros eventos, onde ocorrem períodos prolongados de seca e altas temperaturas. Para lidar com esses fenômenos, é importante monitorar em tempo real as condições meteorológicas por meio de tecnologias avançadas de previsão e instrumentação.

O DOL é um fenômeno meteorológico que ocorre na região tropical do Atlântico, principalmente durante os meses de outono e inverno, e em específico no nordeste brasileiro, é comumente visto nos meses de maio, junho, julho e agosto. O DOL é caracterizado por uma série de ondas de ar de baixa amplitude e longo período que se movem para oeste a uma velocidade de cerca de 15 a 25 metros por segundo, vale ressaltar que pode afetar a segurança das operações aéreas de várias maneiras. Em primeiro lugar, as ondas de ar podem causar turbulência e instabilidade na atmosfera, o que pode afetar a capacidade dos aviões de manterem sua trajetória de voo desejada. Isso pode ser particularmente problemático durante a decolagem e a aterrissagem, quando os aviões estão em altitudes mais baixas e são mais suscetíveis a perturbações. Além disso, o DOL pode afetar o desempenho dos aviões, reduzindo sua velocidade e aumentando o consumo de combustível. Isso pode afetar a capacidade dos aviões de alcançar suas altitudes de cruzeiro e sua capacidade de voar em condições de vento de proa. Por fim, o DOL pode afetar a visibilidade, especialmente em áreas onde há nuvens e precipitação associadas ao fenômeno. Isso pode afetar a capacidade dos pilotos de visualizar o terreno e outros aviões, aumentando o risco de colisões. Portanto, é importante que os pilotos e as companhias aéreas estejam cientes da atuação do DOL e de seus possíveis efeitos na segurança das operações aéreas. Isso inclui a monitorização cuidadosa das condições meteorológicas e a adoção de medidas preventivas, como o desvio de rotas de voo para evitar áreas onde o DOL é mais intenso.

MAROJA *et al.* (2022) observaram o fenômeno DOL no dia 13 de junho de 2019 com o auxílio de imagens de satélite, de radar meteorológico e dados disponibilizados pela ANAC, bem como, pelas informações fornecidas pelos aeroportos e pelas empresas aéreas. Esse fenômeno causou uma série de alagamentos e cancelamentos de voos. É importante destacar a região de Campina Grande, localizada no estado da Paraíba, que sedia um evento de grande relevância durante os meses de junho e julho e, infelizmente, não possui equipamentos em solo totalmente operacionais para elevar os níveis de segurança dos voos.

### **2.7.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Nos últimos anos, as mudanças climáticas têm impactado diversas áreas da sociedade, incluindo a aviação. No nordeste brasileiro, por exemplo, a intensificação de fenômenos climáticos extremos, como tempestades e secas prolongadas, tem afetado a operação de aeroportos e as condições de voo na região.

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), o nordeste brasileiro tem experimentado um aumento na frequência e na intensidade de eventos climáticos extremos nas últimas décadas, incluindo tempestades, ventos fortes e chuvas intensas. Isso tem afetado diretamente a operação de aeroportos da região, que muitas vezes precisam ser fechados ou interromper as atividades devido às condições climáticas adversas. Além disso, as mudanças climáticas também têm impactado a segurança dos voos, com possíveis turbulências, tempestades e mudanças inesperadas nas condições atmosféricas. Como resultado, as companhias aéreas precisam estar cada vez mais atentas às condições meteorológicas e investir em tecnologias para garantir a segurança dos passageiros e da tripulação.

Segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), divulgado em 2021, as mudanças climáticas têm um impacto significativo na aviação global, afetando a segurança, a eficiência e a sustentabilidade do setor. As condições climáticas extremas, como tempestades e ventos fortes, podem aumentar o risco de acidentes e incidentes aeronáuticos, bem como, interferir na precisão dos sistemas de navegação, exigindo maior atenção e preparação por parte das companhias aéreas e dos profissionais envolvidos na operação dos aeroportos. Por isso, é fundamental que sejam adotadas medidas de segurança apropriadas e tecnologias avançadas de previsão meteorológica e de auxílio-navegação para as aeronaves, com o objetivo de garantir a segurança dos passageiros e da tripulação durante as operações aéreas.

### **2.7.2 TETO**

Segundo o DECEA, o teto mínimo é uma medida essencial para garantir a segurança das operações aéreas, tanto em condições visuais quanto instrumentais. No caso do voo visual (VFR), o teto mínimo é a altura mínima em relação ao solo que deve ser mantida pelo piloto para manter a segurança do voo. No entanto, em alguns casos, como no VFR Especial, a aeronave pode voar abaixo do teto mínimo para fins de resgate, vigilância ou outras finalidades, desde que sejam tomadas precauções adicionais.

O teto mínimo para voos VFR varia de acordo com as condições climáticas de cada região. De acordo com a norma estabelecida pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) da Força Aérea Brasileira (FAB), o teto mínimo para voos VFR é de 300 metros de altitude em áreas urbanas e 150 metros em áreas rurais. Já para os voos IFR, o teto mínimo é determinado pelo *Instrument Flight Rules* (IFR) e pode variar de acordo com a categoria da aeronave, o tipo de procedimento de pouso e as condições meteorológicas locais. Os pilotos devem estar sempre atentos aos limites de teto mínimo estabelecidos para cada tipo de operação e condições meteorológicas, a fim de garantir a segurança do voo e evitar possíveis acidentes aéreos.

### **2.7.3 CHUVA LEVE, MODERADA E FORTE**

A chuva é um fenômeno meteorológico comum e pode afetar as operações aeronáuticas, especialmente em relação à visibilidade e turbulência. As chuvas podem ser classificadas em leve, moderada e forte, de acordo com a intensidade da precipitação. A chuva leve é aquela que produz um acumulado de água de até 2,5 milímetros por hora, o que geralmente não afeta as operações aéreas. No entanto, é importante que os pilotos estejam sempre atentos às condições meteorológicas, pois mesmo uma chuva leve pode levar a uma redução significativa na visibilidade. A chuva moderada é aquela que produz um acumulado de água entre 2,5 e 7,6 milímetros por hora. Nesse caso, os pilotos devem ficar atentos à possível formação de turbulências e mudanças nas condições de voo. Além disso, a chuva moderada pode afetar a visibilidade e a operação de equipamentos de navegação, o que pode levar a atrasos ou cancelamentos de voos. Já a chuva forte é aquela que produz um acumulado de água acima de 7,6 milímetros por hora. Essa intensidade de precipitação pode levar a uma redução significativa da visibilidade, o que pode afetar a segurança das operações aéreas. Nesses casos, é comum que haja atrasos ou cancelamentos de voos, a fim de garantir a segurança dos passageiros e da tripulação (DECEA, 2016).

MEDEIROS E ARAGÃO (2017) avaliaram a frequência de registros de condições atmosféricas adversas e sua relação com redução na visibilidade horizontal na área do aeroporto de Campina Grande na Paraíba. Foi observado que as condições meteorológicas adversas podem impactar atividades aeroportuárias distintas e comprometer a segurança dos voos, principalmente em procedimentos de pouso e decolagem. Dados estatísticos disponibilizados por órgãos oficiais, informações meteorológicas registradas em mensagens METAR, imagens de satélite meteorológico GOES nos canais espectrais do visível e do infravermelho térmico, foram utilizados. Os resultados indicaram que bruma úmida (neblina) e precipitação de



intensidade leve estão entre os fatores que mais contribuíram na redução da visibilidade horizontal para valores abaixo de 3000 metros. Além disso, tais fenômenos meteorológicos são predominantes no mês de junho.

#### **2.7.4 CHUVISCO LEVE, MODERADO E FORTE**

De acordo com a literatura, o chuvisco reduz mais a visibilidade do que a chuva, devido à menor distância entre as suas gotas. Nas operações aeronáuticas, o chuvisco é classificado em três intensidades: leve, moderado e forte. No nordeste brasileiro, o chuvisco é comum, principalmente nas regiões litorâneas. Conforme as normas estabelecidas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) da Força Aérea Brasileira (FAB), o chuvisco leve é definido como uma precipitação cuja intensidade é menor que 0,5 mm/h, o chuvisco moderado é caracterizado por uma intensidade entre 0,5 e 1,5 mm/h, e o chuvisco forte é aquele com intensidade acima de 1,5 mm/h. É importante que os pilotos estejam sempre atentos às condições meteorológicas locais e às previsões de chuviscos, a fim de adequar o plano de voo e as operações de pouso e decolagem às condições de visibilidade e segurança. É recomendado que os pilotos evitem operações em chuviscos moderados ou fortes, uma vez que a visibilidade pode ficar comprometida e aumentar os riscos de acidentes aéreos.

#### **2.7.5 CORTANTE DE VENTO**

A *Wind Shear*, também conhecida como cortante de vento, é um fenômeno meteorológico que pode ocorrer em qualquer lugar e momento, mas é mais comum em áreas de mudanças abruptas de vento, como regiões montanhosas, áreas de tempestades e em torno de aeroportos. No nordeste brasileiro, a *Wind Shear* é uma preocupação constante para as operações aeronáuticas, especialmente durante a estação chuvosa (NTSB, 1986).

A *Wind Shear* pode ser vertical ou horizontal e tem o potencial de afetar a segurança dos voos, causando instabilidade na aeronave, perda de sustentação e queda repentina. Em casos extremos, a *Wind Shear* pode levar a acidentes graves. Um dos acidentes aéreos mais conhecidos relacionados a *Wind Shear* foi o voo 191 da Delta Air Lines em 1985, que ocorreu em Dallas-Fort Worth, Texas, Estados Unidos. O avião McDonnell Douglas L-1011 Tristar da Delta Air Lines, que realizava o voo 191 de Fort Lauderdale, Flórida para Los Angeles, Califórnia, encontrou uma *Wind Shear* durante a aproximação para o pouso e acabou caindo no solo. O acidente resultou na morte de 137 das 163 pessoas a bordo, além de uma pessoa em

terra. O incidente levou a indústria da aviação a reconhecer a importância de lidar com Wind Shear e desenvolver tecnologias para preveni-la ou minimizar seus efeitos (NASA, 2018).

Os pilotos são treinados para detectar e lidar com a Wind Shear durante o voo, por meio de equipamentos de bordo e técnicas de pilotagem específicas. Os aeroportos e aeronaves mais recentes também possuem sistemas de detecção de Wind Shear para alertar os pilotos sobre o perigo. No entanto, a melhor forma de evitar acidentes é manter-se atualizado sobre as condições meteorológicas locais e planejar o voo de acordo com essas informações (NASA, 2018).

### **2.7.6 NEVOEIRO**

O nevoeiro é uma condição meteorológica que afeta diretamente as operações aeronáuticas, devido à redução da visibilidade. No nordeste brasileiro, os nevoeiros são comuns em regiões litorâneas e de serra. Existem diferentes tipos de nevoeiros, como o de radiação, o de advecção, o de evaporação e o de mistura (SOARES, 2014).

O nevoeiro de radiação ocorre geralmente em regiões de baixada, durante a noite, quando a radiação solar é dissipada. O de advecção ocorre devido ao transporte de ar úmido sobre superfícies frias, como no litoral nordestino, por exemplo. Já o de evaporação é comum em regiões costeiras, onde a umidade do ar é alta e o mar está relativamente frio. Por fim, o de mistura é causado pelo encontro de duas massas de ar com diferentes temperaturas. O nevoeiro pode ser responsável por diversos acidentes e incidentes aéreos, devido à redução da visibilidade. Um exemplo foi o maior desastre aéreo até o momento, ocorrido em 1997 entre os voos KLM 4 805 e o Pan Am 1 736, onde duas aeronaves colidiram no aeroporto de Tenerife. Além disso, o nevoeiro também pode resultar em atrasos ou cancelamentos de voos (DECEA, 2016).

MEDEIROS (2018) relatou que as limitações na visibilidade decorrentes da formação de névoas úmidas (neblina) e nevoeiros têm um impacto abrangente em quase todas as atividades realizadas nos aeroportos. Além das consequências financeiras resultantes do consumo adicional de combustível causado por repetidas aproximações e arremetidas, há questões relacionadas diretamente à segurança dos voos e interrupções no fluxo do tráfego aéreo. Além disso, foi observado que a maioria das pesquisas realizadas no Brasil aborda principalmente o fenômeno do nevoeiro de radiação. Portanto, é crucial conduzir estudos para compreender os mecanismos envolvidos em sua formação, tais como processos radiativos, fluxos turbulentos na superfície, circulações de mesoescala e topografia. Análises numéricas

demonstram que o balanço de energia desempenha um papel crucial no nevoeiro de advecção. A localização de formação do nevoeiro é altamente sensível ao teor de umidade nas áreas adjacentes, enquanto as variações na velocidade do vento têm um impacto menor.

À vista disso, é importante que os pilotos estejam sempre atentos às condições meteorológicas locais e às previsões de nevoeiro, a fim de adequar o plano de voo e as operações de pouso e decolagem às condições de visibilidade e segurança.

### **2.7.7 NÉVOA ÚMIDA**

A névoa úmida, também conhecida como neblina, é um fenômeno meteorológico comum no nordeste brasileiro, especialmente em regiões costeiras. Ela ocorre quando o ar úmido é resfriado até o ponto de saturação, formando pequenas gotículas de água suspensas no ar. Além disso, pode afetar a segurança de voo, pois reduz a visibilidade e pode causar desorientação espacial. Os pilotos precisam estar atentos às condições meteorológicas e adotar procedimentos de pouso e decolagem adequados, como o uso de instrumentos e aproximação por instrumentos (ILS) (SOARES, 2014). A névoa úmida pode causar problemas nas operações de manutenção das aeronaves, pois a umidade pode danificar componentes eletrônicos e causar corrosão em partes metálicas. Por isso, é importante adotar medidas de proteção e manutenção adequadas.

### **2.7.8 BAIXA VISIBILIDADE**

A baixa visibilidade é um dos principais fatores que afetam a segurança de voo nas operações aeronáuticas, especialmente em regiões com condições meteorológicas adversas, como no Nordeste brasileiro. A falta de visibilidade pode ser ocasionada por diversos eventos meteorológicos, como neblina, nevoeiro, chuva, chuvisco, entre outros. Essas condições podem comprometer a capacidade do piloto em visualizar a pista, bem como outros objetos e aeronaves em seu entorno (SOARES, 2014). Além disso, a baixa visibilidade pode dificultar a comunicação entre os pilotos e os controladores de tráfego aéreo, aumentando o risco de erros de comunicação e consequentemente, de acidentes aéreos. É importante destacar que a baixa visibilidade é um problema especialmente em operações de pouso e decolagem, momentos críticos do voo (DECEA, 2016).

Para minimizar os riscos, é fundamental que as equipes de controle de tráfego aéreo e as tripulações das aeronaves estejam preparadas para lidar com as condições meteorológicas adversas, e adotem medidas preventivas e corretivas para garantir a segurança do voo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 DADOS UTILIZADOS

Foram obtidos dados de METAR e SPECI. A obtenção de tais dados foi distribuída em 3 etapas, onde na primeira etapa foram coletadas informações do período de 01/01/2013 a 31/12/2020, dos meses de março, abril, maio, junho e julho fornecidos pela API REDEMET. Foram encontrados 91632 registros sem remoção de erros (registro sem informação METAR) e excluindo os registros sem dados METAR, restaram 76309 registros. Após tratamento de erros (faltando informações e códigos publicados erroneamente) nos códigos METAR, restaram 73124 registros. Posteriormente, foram selecionados os dados dos meses de março, abril, maio, junho e julho, que geraram um total de 27480 registros. Além disso, também foram utilizadas as normais climatológicas do INMET.

O seguinte passo a passo foi realizado no processo de Extração, Transformação e Carregamento (ETL) dos dados:

✓ Extração:

1. Acesso API REDEMET (produto de interfaces de programação de aplicativos (APIs));
2. Exportação de dados no período de 01/01/2013 a 31/12/2020 em CSV (*Comma-Separated Values*);

✓ Transformação/tratamento:

3. Importação do arquivo CSV para o SGBD (Sistema de Gerenciamento de Bancos de Dados) PostgreSQL para utilização de linguagem de programação SQL com o objetivo de realizar a manipulação dos dados;
4. Após tratamento, foi realizada a exportação dos dados tratados em tipo CSV;

✓ Carregamento:

5. Importação dos dados em tipo CSV para o Microsoft Excel, posteriormente, foi realizada a conversão para tipo .xlsx (pasta de trabalho do Excel não-habilitada para macros). Neste momento, os dados estão prontos para gerar as visualizações, aplicação de técnicas estatísticas, e elaborações de tabelas e gráficos.

A primeira etapa ou etapa de **extração** refere-se à coleta dos dados do site público REDEMET, essa que advém de forma bruta (METAR/SPECI) e foi utilizada uma fonte de integração de dados chamada API ou Interface de Programação de Aplicações, que é um conjunto de definições e protocolos utilizados para disponibilizar um fluxo de dados entre um sistema e outro, sem a necessidade de envolvimento entre os softwares. Os dados foram exportados do banco da REDEMET direto para a máquina, em formato separado por vírgula (.CSV) cada código METAR/SPECI do período.

Na sequência, a etapa de **transformação**, onde os dados são processados para tornarem-se adequados (limpos) para a análise. A manipulação dos dados foi realizada utilizando a linguagem de programação dos bancos de dados conhecida como SQL. Para isso, foi realizada uma importação dos dados para o sistema de gerenciamento de bancos de dados chamado PostgreSQL, que possibilita trabalhar com dados relacionais, ou comumente conhecido, trabalhar com dados em formatos de tabelas/planilhas. O PostgreSQL facilitou as atividades de raspagem, arredondamento, combinação e demais manipulações dos dados.

Por fim, o último passo para obtenção dos dados METAR/SPECI consistiu na etapa de **carregamento dos dados**, esta que, foi realizada ao gerar uma exportação dos dados separados por vírgula, permitindo que fosse possível trabalhar com os dados do METAR/SPECI em formato de tabelas. Vale destacar que nesta etapa os dados já estão tratados e prontos para realizar uma análise exploratória dos dados (AED). Segundo TUKEY (1977) é uma abordagem que fornece ferramentas para conduzir a um entendimento inicial sobre os dados e o seu potencial. A AED auxilia na checagem do processamento dos dados, detecta se há outliers (valores discrepantes ou anômalos), além de fomentar hipóteses sobre os dados por meio da descoberta de padrões.

Os dados usados para a contextualização dos atrasos aéreos de chegada e cancelamentos de voo foram baseados no Relatório de Voo Regular Ativo (VRA) fornecido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Um aspecto igualmente importante na realização desse estudo constitui um subconjunto desse grupo de registros mais abrangente. As justificativas presentes nos dados dos voos com atrasos e cancelamentos, consideradas neste estudo, de acordo com a planilha disponível no site da ANAC, são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1– Registros de atrasos e cancelamentos de voo no aeroporto de Campina Grande (SBKG) e causas associadas.

| CÓDIGO | JUSTIFICATIVA |
|--------|---------------|
|--------|---------------|

|    |   |
|----|---|
| AA | ATRASO AEROPORTO DE ALTERNATIVA –<br>ORDEM TÉCNICA                                |
| AF | FACILIDADES DO AEROPORTO -<br>RESTRIÇÕES DE APOIO                                 |
| AG | MIGRAÇÃO/ALFÂNDEGA/SAÚDE  |
| AI | AEROPORTO DE ORIGEM INTERDITADO   |
| AJ | AEROPORTO DE DESTINO INTERDITADO  |
| AM | ATRASO AEROPORTO DE ALTERNATIVA –<br>CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS                     |
| AS | SEGURANÇA/PAX/CARGA/ALARME  |
| AR | AEROPORTO COM RESTRIÇÕES<br>OPERACIONAIS  |
| AT | LIBERAÇÃO DE SERVIÇO DE TRÁFEGO<br>AÉREO/ANTECIPAÇÃO                              |
| DF | AVARIA DURANTE OPERAÇÕES EM VOO   |
| DG | AVARIA DURANTE OPERAÇÕES EM SOLO  |
| FP | PLANO DE VOO - APROVAÇÃO  |
| GF | ABASTECIMENTO/DESTANQUEIO   |
| MA | FALHA EQUIPO AUTOMOTIVO E DE<br>ATENDIMENTO DE PAX                                |
| MX | ATRASOS NÃO ESPECÍFICOS – OUTROS  |
| OA | AUTORIZADO  |
| RA | CONEXÃO DE AERONAVE   |
| RI | CONEXÃO AERONAVE/VOLTA – VOO DE<br>IDA NÃO PENALIZADO AEROPORTO<br>INTERDITADO    |
| RM | CONEXÃO AERONAVE/VOLTA – VOO DE<br>IDA NÃO PENALIZADO CONDIÇÕES<br>METEOROLÓGICAS |

|    |   |
|----|---|
| TC | TROCA DE AERONAVE   |
| TD | DEFEITOS DA AERONAVE  |
| WA | ALTERNATIVA ABAIXO DOS LIMITES  |
| WI | DEGELO E REMOÇÃO DE NEVE E/OU LAMA EM AERONAVE  |
| WR | ATRASO DEVIDO RETORNO – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS                                      |
| WO | AEROPORTO ORIGEM ABAIXO DOS LIMITES   |
| WP | ATRASO DEVIDO RETORNO – ORDEM TÉCNICA   |
| WT | AEROPORTO DESTINO ABAIXO DOS LIMITES  |
| WS | REMOÇÃO GELO/ÁGUA/LAMA/AREIA-EM AEROPORTO   |
| XA | PROGRAMADO – FERIADO NACIONAL   |
| XB | AUTORIZADO  |
| XI | DEVIDO AEROPORTO DE ORIGEM INTERDITADO  |
| XJ | DEVIDO AEROPORTO DE DESTINO INTERDITADO   |
| XL | FALTA PAX COM PASSAGEM MARCADA – ( APENAS PARA AS LINHAS AÉREAS DOMÉSTICAS REGIONAIS) |
| XM | CANCELAMENTO – CONEXÃO AERONAVE/VOLTA – VOO DE IDA CANCELADO – AEROPORTO INTERDITADO  |
| XN | CANCELAMENTO POR MOTIVOS TÉCNICOS – OPERACIONAIS                                      |
| XO | CANCELAMENTO – AEROPORTO ORIGEM ABAIXO LIMITES  |
| XT | CANCELAMENTO – AEROPORTO DESTINO ABAIXO LIMITES                                       |

|    |  |
|----|--|
| XR | CANCELAMENTO DE VOOS OPERADOS EM<br>“CODE SHARING”   |
| XS | CANCELAMENTO – CONEXÃO<br>AERONAVE/VOLTA – VOO DE IDA<br>CANCELADO – CONDIÇÕES<br>METEOROLÓGICAS |

Fonte: DECEA, 2000.

Vale ressaltar que para análise dos dados de vento, foi utilizada a linguagem de programação *Python*, no ambiente de desenvolvimento *PyCharm* para a implementação de três códigos distintos. Para a construção desses códigos, foram utilizadas as bibliotecas *Pandas*, *NumPy*, *Matplotlib* e *Windrose*.

O primeiro código elaborado teve como propósito a geração de uma representação gráfica de uma rosa dos ventos. Esta representação permitiu visualizar a distribuição e a intensidade das direções do vento de maneira clara e concisa. O segundo código foi desenvolvido com o intuito de calcular e apresentar o percentual entre o vento de proa e o vento de través. Essa análise possibilitou uma compreensão mais aprofundada da influência e da prevalência desses tipos de vento na amostra estudada. Por fim, o terceiro código foi elaborado para gerar um gráfico de dispersão, oferecendo uma visualização mais detalhada do comportamento do vento na amostra em questão. Esse gráfico proporcionou *insights* relevantes para a compreensão dos padrões e variações do comportamento do vento ao longo do período de estudo.

A escolha desses códigos e ferramentas possibilitou uma análise abrangente e detalhada dos dados relacionados ao comportamento do vento na amostra em estudo, fornecendo uma base sólida para a análise e interpretação dos resultados obtidos.

### 3.1 INFORMAÇÕES DO AEROPORTO EM ESTUDO

Para aplicação da análise, foi escolhido o Aeroporto Presidente João Suassuna localizado na cidade de Campina Grande no estado da Paraíba, que opera voos regionais e nacionais, desempenhando um papel fundamental no crescimento urbano e regional de Campina Grande, atuando como um meio de conexão entre a cidade e outras metrópoles do país, e contribuindo para o desenvolvimento do estado da Paraíba, sendo considerado o principal aeroporto da região (título de Melhor Aeroporto Regional do Nordeste no Prêmio Aviação Mais Brasil 2022). Vale ressaltar, que este aeroporto é operado pela AENA, empresa espanhola responsável pela gestão



aeroportuária desde janeiro de 2020. Tal aeroporto possui uma pista de 1.565 metros de comprimento por 45 metros de largura, além de um terminal de passageiros com capacidade para 250 mil passageiros anualmente.

Atualmente, as companhias aéreas, que atuam no aeroporto são a Azul Linhas Aéreas e a Gol Linhas Aéreas, operando em voos comerciais. Além disso, o aeroporto também é utilizado para voos privados e de pequeno porte. As informações gerais sobre o aeroporto estão apresentadas na Figura 4 e Tabela 3.



Figura 4 – Aeroporto Presidente João Suassuna. Fonte: Google Earth (2021).

Tabela 3 – Características do Aeroporto Presidente João Suassuna.

|   |
|---|
| <b>Nome do Aeroporto:</b> PRESIDENTE JOÃO SUASSUNA                            |
| <b>Código (ICAO - <i>International Civil Aviation Organization</i>):</b> SBKG |
| <b>Localização:</b> CAMPINA GRANDE - PB                                       |
| <b>Coordenadas geográficas:</b> 07° 16'' 09' Sul e 035° 53'' 42' Oeste.       |
| <b>Tipo:</b> Aeródromo público  |
| <b>Categoria do Aeródromo:</b> Nacional                                       |

---

**Distância e direção do aeródromo em relação ao centro da cidade:** 6 km na direção Sul

---

**Fuso horário:** três horas a menos do que o horário UTC

---

**Tipo de operação:**

- VFR DIURNA e NOTURNA e IFR DIURNA e NOTURNA
  - ILS CAT I (APENAS LOC, TORNANDO-SE UM AUXÍLIO DE NÃO-PRECISÃO)
- 

**Luzes do Aeroporto:** Farol rotativo de aeródromo; indicador de direção de vento iluminado.

---

**Características da pista:**

- Altitude: 502 metros ou 1647 pés
- Cabeceiras da pista: 15 e 33.
- Dimensões da pista: 1.565 metros de comprimento por 42 metros de largura.
- Tipo de pavimento: asfalto ou concreto asfáltico.
- Resistência do piso: 50
- Tipo de piso: flexível
- Resistência do subleito: alta
- Pressão máxima dos pneus: alta (pressão limitada a 1,75MPa)
- Método de avaliação: técnica: Consiste no estudo específico das características do pavimento e na aplicação da tecnologia do comportamento dos pavimentos.
- Distâncias declaradas:

Cabeceira 15, distâncias:

Disponível para decolagem (TODA): 1.565 metros;

Disponível para corrida de decolagem (TORA): 1.565 metros;

Disponível para Aceleração e Parada (ASDA): 1.565 metros;

Disponível para pouso (LDA): 1.475 metros;

Cabeceira 33, distâncias:

Disponível para decolagem (TODA): 1.475 metros;

Disponível para corrida de decolagem (TORA): 1.475 metros;

Disponível para Aceleração e Parada (ASDA): 1.475 metros;

Disponível para pouso (LDA): 1.475 metros

**Luzes da pista:**

- Luzes ao longo das laterais da pista, de 60 em 60 metros.
-

- 
- Luzes (azuis) de pista de táxi, indicando sua trajetória.

Para cabeceira 15:

- AVASIS (VASIS de duas barras com n° reduzido de caixas)
- PAPI (Sistema indicador de rampa de aproximação de precisão), com rampa normal de 3°.
- Luzes de cabeceira (verde no início e vermelha no fim da pista).

Para cabeceira 33:

- Luzes de cabeceira (verde no início e vermelha no fim da pista).

---

Fonte: ROTAER, 2023.

### 3.2 INFORMAÇÕES GERAIS DO LOCAL DO ESTUDO

De acordo com MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA (2007), o clima pode ser estudado por meio de suas dimensões espacial e temporal, sendo ambas avaliadas conjuntamente conforme apresentando na Tabela 4.

Tabela 4 – Estrutura das escalas espacial e temporal do clima.

| Ordem de grandeza | Subdivisão             | Escala horizontal | Escala Vertical | Temporariedade das variações | Exemplificação                                     |
|-------------------|------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|--|
| Macroclima        | Clima zonal e regional | >2.000 km         | 3 a 12 Km       | De semanas decênios          | Globo, continente, oceano etc.                     |
| Mesoclima         | Clima regional, local  | 2.000 km a 10 km  | 12 km a 100 m   | De horas a dias              | Região natural, metropolitana, cidade etc.         |
| Microclima        | Local                  | 10 km a metros    | Abaixo de 100 m | De minutos ao dia            | Bosque, uma edificação, logradouro, aeroporto etc. |

Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

Os fenômenos que ocorrem na atmosfera possuem dimensões espaciais e temporais muito diferentes, geralmente sobrepostas entre si e são analisados em uma variedade de escalas de movimento. ORLANSKI (1975) propôs uma definição de escala baseada no tempo característico

e dimensão dos fenômenos atmosféricos. Em análises meteorológicas esta escala continua sendo a terminologia mais utilizada devido à sua simplicidade conforme apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Divisão de escalas proposta por ORLANSKY (1975).

| Divisão        | Comprimento de escala horizontal (L) | Tempo de vida  | Fenômenos atmosféricos   |
|----------------|--------------------------------------|----------------|--|
| Meso- $\alpha$ | 200 – 2500 km                        | 1 a 7 dias     | Frentes, furacões<br>JBN, LI, tempestades locais, circulações locais |
| Meso- $\beta$  | 20 – 200 km                          | 1 hora a 1 dia | Tempestades locais, turbulência de ar claro                          |
| Meso- $\gamma$ | 2 – 20 km                            | 1 hora         |  |

No presente estudo as análises concentram-se predominantemente na região do aeroporto de Campina Grande (SBKG). Pretende-se dar enfoque aos padrões microclimáticos do sítio aeroportuário e os sistemas de pistas, bem como, as dimensões mesoclimáticas da zona de controle de aproximação e da zona de tráfego do aeródromo. A escala temporal adotada é contemporânea, que é comumente utilizada em estudos climatológicos atuais (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007), levando em consideração características predominantes de tempo, a variabilidade climática de curta duração e o estabelecimento de médias.

Esta pesquisa foi desenvolvida com base na localização geográfica (área serrana e próxima do litoral), característica que favorece a ocorrência de fenômenos atmosféricos restritores de visibilidade tais como, neblina e chuvas intensas) e pelo percentual relativamente alto de atrasos e cancelamentos de voos em condições meteorológicas adversas. Vale ressaltar que, mudanças significativas do tempo podem resultar também da atuação conjunta de sistemas atmosféricos de diferentes escalas e estudos mostram que eventos extremos de precipitação na região de Campina Grande se desenvolvem em ambientes sob a influência de vórtices ciclônicos de altos níveis (VCANs), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) cuja atuação é mais comum no período de janeiro a abril e dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), influentes nos meses de junho e julho, período de grande fluxo de turistas por ocasião dos festejos juninos em toda região Nordeste. Estudos recentes ressaltam a relevância da realização de pesquisas adicionais que permitam maior compreensão sobre mecanismos de desenvolvimento e manutenção dos DOL (GOMES *et al.*, 2015; PONTES DA SILVA, 2011). A grande variação no padrão de nebulosidade associado aos DOL dificulta a identificação dos processos e fenômenos físicos envolvidos na intensificação da atividade convectiva na distribuição espacial da precipitação e conseqüentemente na definição precisa dos fenômenos de maior impacto na aviação.

O Aeroporto João Suassuna (SBKG), tema central desse estudo, está situado na cidade de Campina Grande, a cerca de 120 km do litoral da Paraíba, e apresenta características específicas que favorecem a formação de nuvens e precipitação, principalmente em função do relevo (Figura 5). A atmosfera é influenciada por circulações do tipo brisa, incluindo circulações de encosta, brisas de vale-montanha e brisas marítimas, que favorecem o transporte de umidade, fator determinante na formação e desenvolvimento da nebulosidade (SILVA, 2018; SILVA *et al.*, 2020).

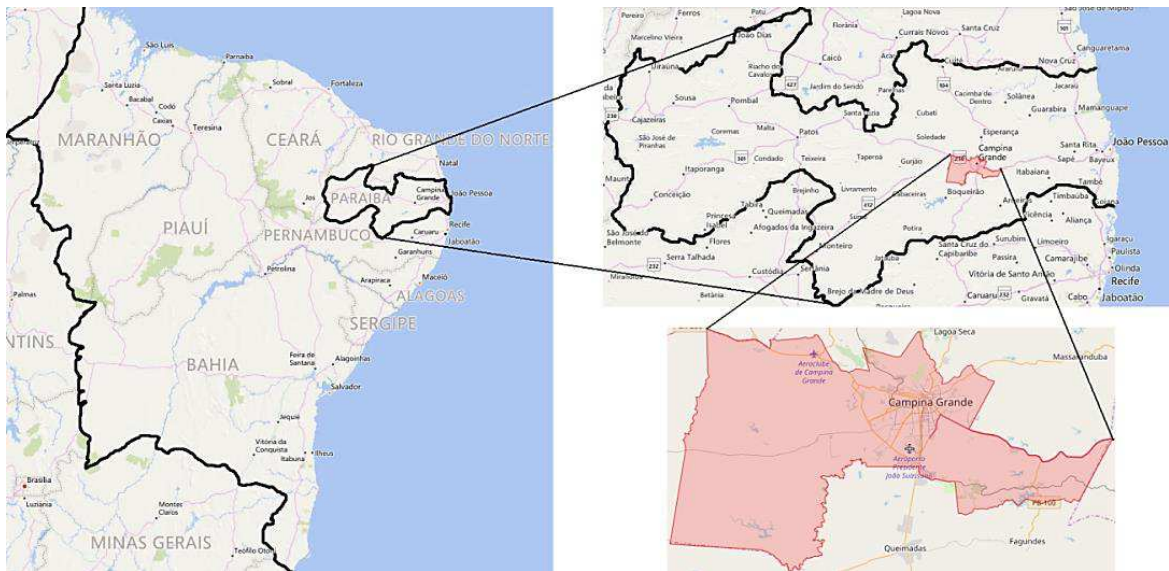


Figura 5 – Localização geográfica da cidade de Campina Grande-PB. Fonte: WIKIMAPIA (adaptado).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O histograma apresentado na Figura 6 permite uma comparação entre o comportamento da média climatológica da precipitação e da umidade relativa em Campina Grande-PB. É possível verificar a forte correlação entre as duas variáveis. Observa-se um ciclo sazonal bem definido com valores mais elevados no período úmido, de março a julho e valores mais baixos de agosto a janeiro. Como o objetivo desta pesquisa refere-se às condições meteorológicas relacionadas a redução de visibilidade, os meses de março a julho foram os escolhidos para dar continuidade ao estudo. Nestes meses registrou-se uma precipitação significativa, tendo o mês de junho registrado níveis de precipitação particularmente elevados, ultrapassando 120 mm de precipitação acumulada. Além disso, a umidade relativa do ar neste mês foi superior a 80%.

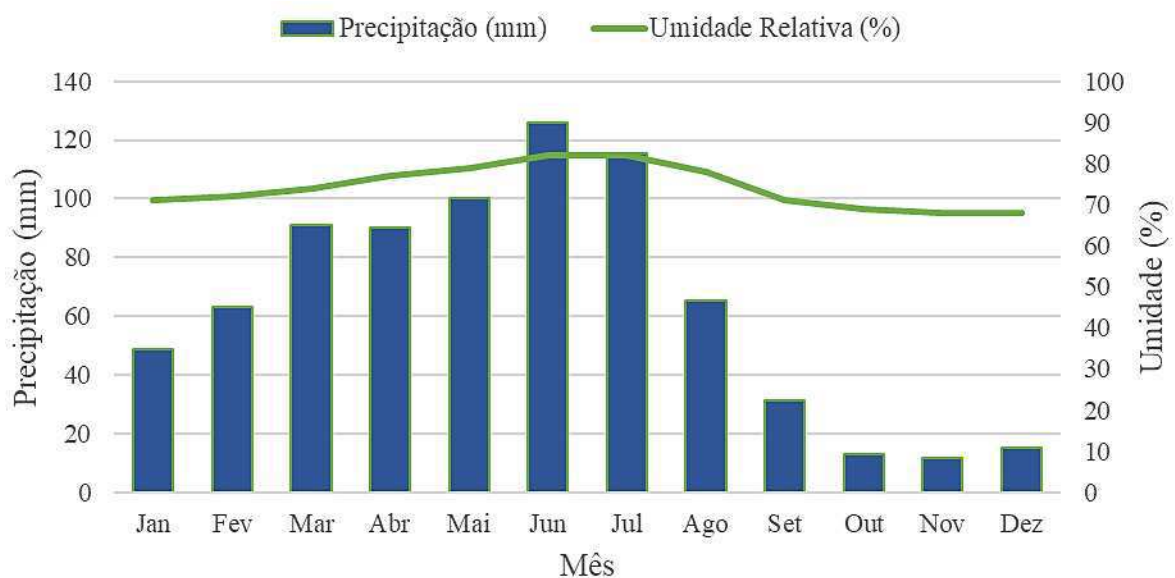


Figura 6 – Evolução temporal da precipitação média climatológica e umidade relativa média climatológica em Campina Grande-PB. Fonte de dados: INMET.

A Tabela 6 apresenta a visibilidade horizontal média, mediana e o desvio padrão, em metros obtidos a partir de observações feitas no aeroporto SBKG entre o período de 2013 a 2020 dos meses de março a julho. A visibilidade horizontal média variou entre 1345,45 m e 1649,09 m. Condições de baixa visibilidade (menor que 3000 m) foram analisadas para todo período em estudo. Valores inferiores a 3000 m podem ser ocasionados por neblina, nevoeiro, fumaça densa, chuva intensa ou outras condições climáticas adversas. Em tais condições, a capacidade de ver claramente pontos de referência à distância é significativamente afetada, o que pode ter implicações em pousos e/ou decolagens de aeronaves (MERCAN, 2020). A visibilidade no

aeroporto SBKG é limitada, predominantemente, devido à bruma úmida (BR) e chuva leve (-RA). A localização geográfica do aeroporto representa um dos fatores locais que mais contribui para essa condição climática. A visibilidade horizontal mediana atingiu um valor mínimo de 1000 m no ano de 2020. Esse valor indica que pelo menos 50% dos registros em 2020 indicam a presença de nevoeiro. Além disso, o desvio padrão médio, que é uma medida estatística que indica a dispersão dos valores em relação à média, variou entre 627,21 e 775,33 m.

Tabela 6 – Visibilidade média horizontal, em metros (m), no período de 2013 a 2020 dos meses de março a julho.

| Ano  | Visibilidade horizontal média (m) | Desvio padrão (m) | Mediana (m) |
|------|-----------------------------------|-------------------|-------------|
| 2013 | 464,81                            | 334,94            | 500         |
| 2014 | 652,94                            | 386,34            | 800         |
| 2015 | 638,89                            | 360,38            | 500         |
| 2016 | 640,63                            | 391,40            | 500         |
| 2017 | 496,88                            | 260,69            | 500         |
| 2018 | 594,64                            | 372,09            | 650         |
| 2019 | 688,24                            | 290,30            | 900         |
| 2020 | 853,85                            | 240,56            | 1000        |

A Tabela 7 resume a velocidade média anual do vento em nós, com visibilidade abaixo de 3000 m, entre os anos de 2013 e 2020, dos meses de março a julho, registrada no aeroporto SBKG. A velocidade média do vento atingiu a mínima de 3,14 nós (em 2013) e a máxima de 8,00 nós (em 2015, 2016, 2017 e 2020). Tais valores são considerados baixos e indicam uma atmosfera estável e/ou estagnada. LI *et al.* (2020) relataram que a baixa velocidade do vento é um dos principais contribuintes para formação e persistência de neblina. A localização do SBKG próximo ao litoral sofre influência da brisa marítima que transporta umidade favorece ainda mais a formação de neblina no período noturno em função do resfriamento da superfície e estabilização da atmosfera.

Tabela 7 – Velocidade média do vento (nós) no período de 2013 a 2020 dos meses de março a julho.

| Ano  | Velocidade do vento média (nós) | Desvio padrão (kt) | Mediana (nós) |
|------|---------------------------------|--------------------|---------------|
| 2013 | 3,46                            | 1,78               | 3             |
| 2014 | 4,56                            | 2,39               | 4             |
| 2015 | 5,47                            | 1,46               | 5             |
| 2016 | 4,75                            | 4,15               | 4             |

|      |      |      |   |
|------|------|------|---|
| 2017 | 5,82 | 1,76 | 5 |
| 2018 | 4,23 | 2,23 | 4 |
| 2019 | 4,82 | 1,69 | 4 |
| 2020 | 8,08 | 3,67 | 9 |

A Figura 7 ilustra o número de ocorrências das condições climáticas caracterizadas por visibilidade horizontal abaixo de 3000 m, no período de 2013 a 2020 dos meses de março a julho no aeroporto SBKG. Foi observado que até 1000 m, a principal condição climática é o nevoeiro. De acordo com KULKARNI *et al.* (2019), a ocorrência de dias com nevoeiro (visibilidade inferior a 1000 metros) e nevoeiro denso (visibilidade inferior a 200 metros) em um aeroporto tem um impacto significativo nas operações de voo. Essas condições climáticas adversas podem resultar em um aumento de desvios de rotas, atrasos e cancelamentos de voos, o que pode acarretar perdas econômicas significativas para as companhias aéreas.

Em altitudes superiores a 1000 metros, a bruma (ou névoa) úmida é a condição climática predominante, ocorrendo aproximadamente 140 vezes quando a visibilidade horizontal está em torno de 2000 metros, seguida da chuva que incidiu aproximadamente 120 vezes. A bruma úmida dificulta a visualização de pontos de referência. Isso pode afetar a capacidade dos pilotos em realizar procedimentos de aproximação, pouso e decolagem com segurança. Além disso, podem ser necessárias restrições operacionais, como aumentar as distâncias de separação entre as aeronaves, reduzir a velocidade de aproximação e aumentar as altitudes mínimas de voo. Isso pode resultar em atrasos e interrupções nos voos (ISIL *et al.*, 2022).

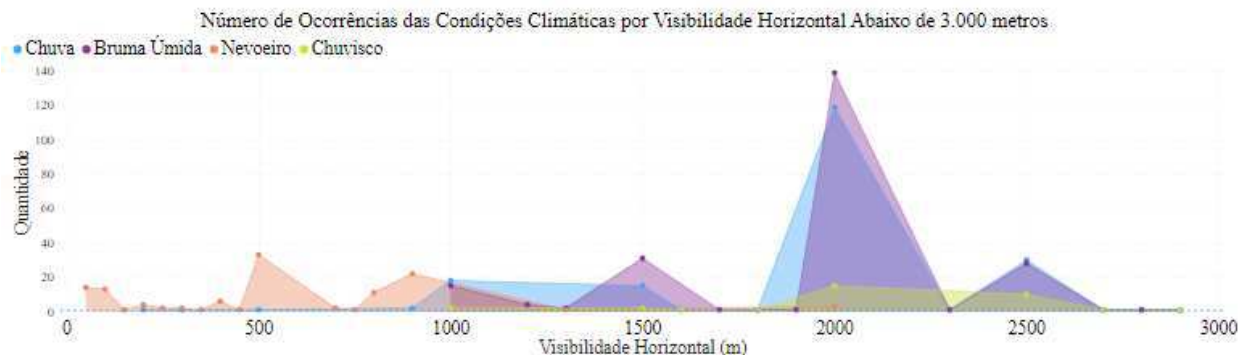


Figura 7 – Número de ocorrências das condições climáticas por visibilidade horizontal abaixo de 3000 m no período entre 2013 e 2020 dos meses de março a julho no aeroporto SBKG.

O número de ocorrências das condições climáticas por hora UTC nos anos de 2013 a 2020 dos meses de março a julho no aeroporto SBKG é apresentada na Figura 8. O nevoeiro é a condição



climática mais comum no período das 23:00 às 06:00 horas. Entre 04:00 e 07:00 horas, a bruma úmida se torna a condição climática predominante. Já, das 08:00 às 18:00 horas, a chuva ocorre com maior frequência, registrando a maior parte das ocorrências nesse intervalo de tempo. Vale salientar que de acordo com a operadora aeronáutica de Campina Grande, a AENA, os voos provenientes das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro com destino a SBKG ocorrem a partir das 04:00 UTC, correspondendo a 01:00 horas do horário local. Tais voos acontecem em períodos que ocorrem predominantemente bruma úmida e nevoeiro, aumentando, possivelmente as chances dos desvios de rota para os aeroportos mais próximos e cancelamentos dos voos.

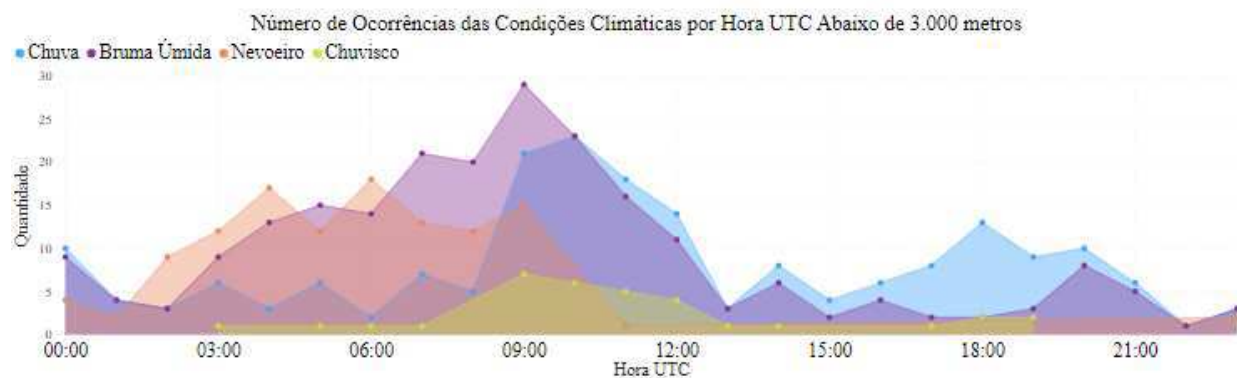


Figura 8 – Número de ocorrências das condições climáticas adversas por hora abaixo de 3000 metros, no período entre 2013 e 2020, dos meses de março a julho no aeroporto SBKG.

O número de ocorrências por tipo de nebulosidade (poucas nuvens (1 a 2 oitavos), nuvens esparsas (3 a 4 oitavos), céu nublado (5 a 7 oitavos) ou céu encoberto (8 oitavos), utilizando-se, respectivamente, as abreviaturas FEW, SCT, BKN ou OVC) no período de 2013 a 2020 dos meses de março a julho é mostrada na Figura 9. A nebulosidade no aeroporto SBKG ocorre predominantemente por nuvens esparsas e tempo nublado. Vale salientar que os meses de junho e julho fazem parte da época que na cidade de Campina Grande, ocorre o maior festival junino do mundo (SENADO, 2023) com uma alta considerável do fluxo de passageiros, e foram observadas o maior número de ocorrências de céu nublado ou encoberto nos meses de junho e julho em comparação com os demais meses. Portanto, os pilotos precisam confiar mais nos informes meteorológicos, instrumentos de bordo, como altímetros, velocímetros e indicadores de navegação. Logo, a falta de referências visuais claras pode exigir uma maior dependência dos instrumentos e auxílios em solo como o ILS, PAPI, luzes do aeródromo e outros para manter a orientação espacial e a segurança do voo. Ademais, se têm o aumento das áreas de turbulência (GULTEPE *et al.*, 2019).

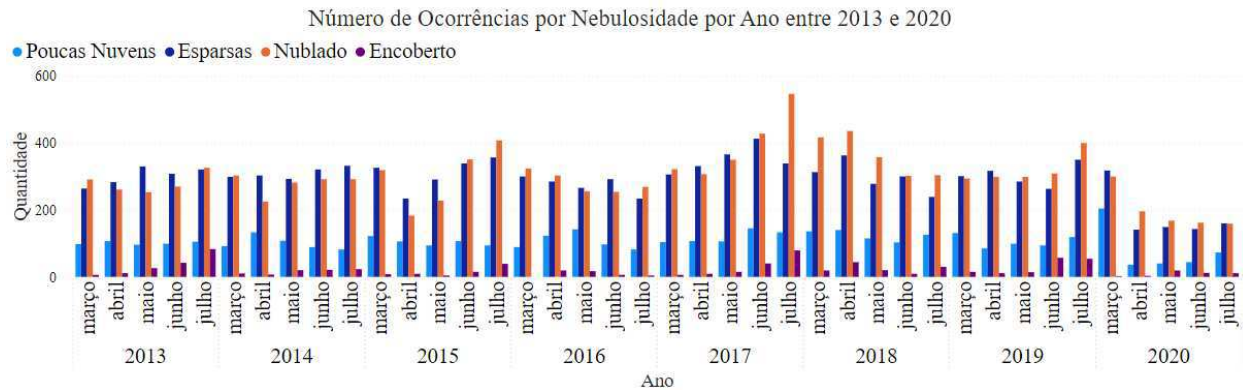


Figura 9 – Número de ocorrências por tipo de nebulosidade entre os anos de 2013 e 2020 dos meses de março a julho no aeroporto SBKG.

As condições climáticas desempenham um papel crucial no funcionamento e na segurança das operações aéreas. Os efeitos conjuntos de alterações nas condições climáticas e meteorológicas afeta diretamente o desempenho de aeronaves em um aeroporto (OO, K. *et al.*, 2022). A nebulosidade nos meses de março a julho no período de 2013 a 2020 do aeroporto SBKG é exibida na Figura 10. Ao longo de todos os meses do ano, o tempo nublado e a presença de nuvens esparsas são as ocorrências predominantes. Todavia, foi observado um aumento considerável de ocorrências de condições adversas que impactam a operação reduzindo a visibilidade horizontal, onde entre todos os meses de março a julho, foram observadas 149 ocorrências de névoa úmida ou neblina para os meses de março e 358 ocorrências para os meses de julho, bem como, o nevoeiro, onde foram observadas 18 ocorrências em todos os meses de março e 53 ocorrências em todos os meses de julho do período.

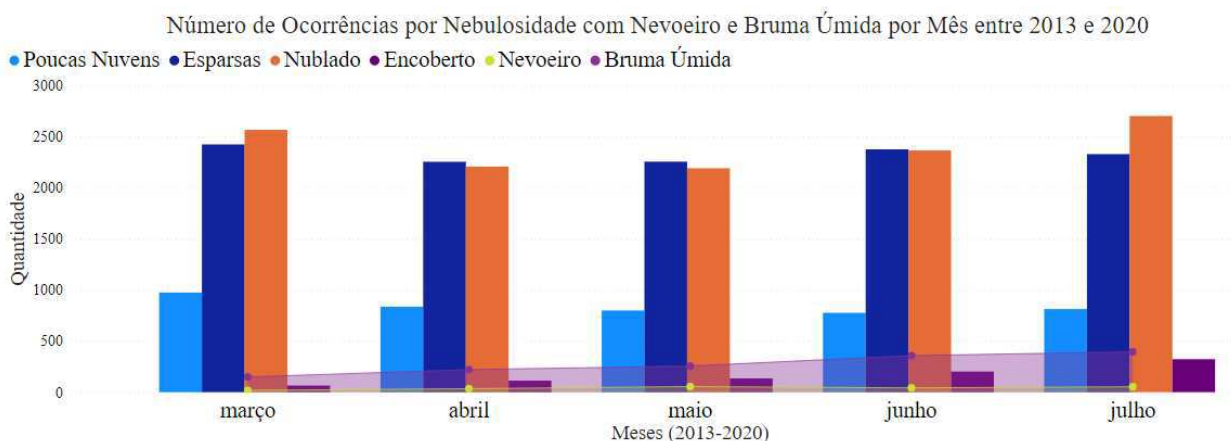


Figura 10 – Número de ocorrências por nebulosidade nos meses de março a julho entre os anos de 2013 e 2020 no aeroporto SBKG.

As Tabelas 8 e 9 exibem os atrasos e cancelamentos de voos com origem ou destino ao aeroporto de Campina Grande (SBKG) no período de 2013 a 2020 dos meses de março a julho. É visto que os atrasos de voos com origem em Campina Grande estão relacionados principalmente, conexão de aeronave (RA) e liberação de serviço de tráfego aéreo/antecipação (AT), com número de ocorrências de 105 e 73, respectivamente. Por outro lado, os cancelamentos de voos são principalmente motivados por questões técnicos-operacionais (XN), com um total de 308 casos. Além disso, há também casos em que o aeroporto de origem não atende aos requisitos mínimos exigidos para a decolagem (XO) com 69 ocorrências registradas.

Por outro lado, os voos com destino a Campina Grande enfrentam atrasos principalmente devido a conexão de aeronave (RA) e a aeroporto com restrições operacionais (AR) com um total de 45 e 41 ocorrências, respectivamente. Quanto aos cancelamentos de voos, as principais causas são questões técnicos-operacionais (XN), com um total de 118 casos, seguido pela situação em que o aeroporto de destino não atende aos requisitos mínimos exigidos para o pouso (XT), com 41 ocorrências registradas.

Com base nos dados de voos passados obtidos pelo conjunto de dados do Voo Regular Ativo (VRA) disponibilizado pela ANAC, durante o período analisado, verificou-se entre o período 2013 a 2020, entre os meses de março a julho, ocorreram um total de 2980 voos com origem no aeroporto de Campina Grande. Dentre esses voos, 393 foram cancelados, o que representa aproximadamente 13,19% do total de voos com origem naquele aeroporto. Da mesma forma, durante o mesmo período, houve um total de 3020 voos com destino ao aeroporto de Campina Grande. Dessas operações, 419 voos foram cancelados, o que corresponde a cerca de 13,87% do total de voos com destino ao aeroporto.

Tabela 8 – Justificativas e/ou ocorrências para atrasos e cancelamentos de voo reportados no período de 2013 a 2020 nos meses de março a julho com **origem** no Aeroporto de Campina Grande (SBKG).

| Origem – Campina Grande – PB (SBKG) |         |    |    |    |    |    |               |     |    |    |
|-------------------------------------|---------|----|----|----|----|----|---------------|-----|----|----|
| Justificativa/<br>Ocorrências       | Atrasos |    |    |    |    |    | Cancelamentos |     |    |    |
|                                     | RA      | AJ | AR | AT | WO | WT | XS            | XN  | XO | XT |
|                                     | 105     | 4  | 14 | 73 | 5  | 2  | 5             | 308 | 69 | 9  |
|                                     |         |    |    |    |    |    | XI            |     |    |    |
|                                     |         |    |    |    |    |    | 1             |     |    |    |

Tabela 9 – Justificativas e/ou ocorrências para atrasos e cancelamentos de voo reportados no período de 2013 a 2020 nos meses de março a julho com **destino** ao Aeroporto Campina Grande (SBKG).

| Justificativa/<br>Ocorrências | Atrasos |    |    |    |    |    | Cancelamentos |    |    |
|-------------------------------|---------|----|----|----|----|----|---------------|----|----|
|                               | AR      | AJ | AF | RA | WO | WT | XN            | XO | XT |
|                               | 41      | 16 | 7  | 45 | 7  | 9  | 118           | 5  | 41 |
|                               |         |    |    |    |    |    | XS            | XJ |    |
|                               |         |    |    |    |    |    | 2             | 2  |    |

As Figuras 11 e 12 apresentam número de ocorrências mensais com base nas justificativas para atrasos e cancelamentos de voo reportados nos meses de março a julho, para o período de 2013 a 2020, com origem e destino para Campina Grande (SBKG), respectivamente. Para os voos com origem em SBKG, as questões técnicos-operacionais (XN) são as principais causas de atrasos e cancelamentos, juntamente com liberação de serviço de tráfego aéreo (AT). Em relação aos voos com destino a SBKG, os principais motivos de atrasos e cancelamentos são as questões técnicos-operacionais (XN) e aeroporto com restrições operacionais (AR). Portanto, é fundamental ressaltar que entre os registros das justificativas nominadas com AR, podem conter casos relacionados com condições adversas de tempo.



Figura 11 – Número de ocorrências de atrasos e cancelamentos de voo reportados nos meses de março a julho no período de 2013 a 2020 com **origem** em SBKG.



Figura 12 – Número de ocorrências de atrasos e cancelamentos de voo reportados nos meses de março a julho no período de 2013 a 2020 com **destino** ao SBKG.

O aeroporto de Campina Grande possuía distâncias declaradas de pouso e decolagem de 1600 metros, estes que, hoje, foram reduzidos para 1475 metros e 1565 metros, respectivamente, devido a inclusão de uma zona de parada de segurança (RESA) de 90 m x 90 m em cada cabeceira da pista (15/33). Essa redução nas distâncias disponíveis para operações de pouso e decolagem pode ter impactos significativos. Uma pista mais curta limita a capacidade das aeronaves em realizar manobras de pouso e decolagem, o que pode resultar em restrições operacionais. Com menos espaço para decolar e pousar, os aviões podem precisar ajustar sua carga ou capacidade de passageiros para cumprir os requisitos de segurança pois a RESA foi implementada removendo parte da pista, dessa forma, ambas as cabeceiras foram deslocadas, diminuindo as distâncias declaradas.

Como resultado, a redução das distâncias disponíveis pode levar a uma diminuição no número de passageiros que podem ser acomodados em cada voo. Isso pode afetar a capacidade do aeroporto de atender à demanda de passageiros e ter implicações econômicas para as companhias aéreas e para a região em termos de acesso e conectividade.

De acordo com os dados históricos entre os anos de 2002 e 2022, sete categorias fazem parte da maioria dos acidentes aeronáuticos (AIRBUS, 2022):

- Voo controlado contra o terreno (CFIT)
- Perda de Controle em voo (LOC-1)
- Excursão de pista (RE)
- Fogo (F-NI e F-POST)
- Contato anormal com a pista (ARC)
- Falha ou mau funcionamento do sistema/componente (SCF)
- Pouso antecipado/Pouso tardio (USOS)

Com destaque para o evento *Mid-Air Collision* (MAC) que mesmo não estando entre as categorias em que mais ocorrem acidentes aeronáuticos, a implementação de uma torre de controle no SBKG, aumentaria a gestão de tráfego e a segurança operacional, pois de acordo com a AENA (2023), o fluxo de passageiros cresceu consideravelmente em relação ao ano de 2022.

Sendo assim, baseando-se nestas categorias, foram observados riscos que envolvem a operação do Aeroporto João Suassuna de Campina Grande que podem resultar em acidentes aeronáuticos e necessitam de maior atenção pelas autoridades, que são:

1. CFIT: De acordo com a ICAO, o CFIT são a segunda maior categoria de acidentes. O número destes acidentes vem diminuindo com o desenvolvimento contínuo das tecnologias de navegação e do Sistema de Alerta e Consciência do Terreno (TAWS) já equipadas nas

aeronaves de última geração. Tais acidentes ocorrem em fases críticas do voo (pouso e/ou decolagem) e geralmente são provocados pela presença de diversos obstáculos ao redor do aeródromo, a exemplo de fios de alta tensão nos arredores do Aeroporto de Campina Grande, oriundos de uma subestação de energia com sinalização diurna e noturna precária, com 36 m de altura e distância de 500 a 1500 m à direita do alinhamento da RWY 15 (cabeceira comumente utilizada devido a predominância do vento). As defesas existentes para controlar os riscos é a instalação de ILS no aeródromo. No caso do aeroporto SBKG, tal instalação foi impedida por órgão regulador de operar em sua total funcionalidade e não foi possível determinar exatamente a causa. Ações que podem ser tomadas para evitar tais acidentes é a proibição da operação com reportes de *Wind Shear*;

2. *Runway Excursion (RE)*: É um desvio ou ultrapassagem da superfície da pista. Esses eventos de superfície ocorrem enquanto uma aeronave está decolando ou pousando e envolvem muitos fatores que vão desde aproximações instáveis até as condições da pista. De acordo com a ICAO, as excursões de pista, incluindo os tipos laterais e longitudinais, são a terceira maior causa de acidentes fatais e a principal causa de perdas de casco. Pistas com dimensões reduzidas, como a do Aeroporto de Campina Grande (distância declarada de pouso de 1475 metros) e/ou pistas escorregadias resultam em uma RE. Existem defesas para mitigar os acidentes fatais no SBKG como o Serviço de Salvamento e Combate a Incêndio (SESCINC) provido conforme requerido pela legislação e para aumentar a segurança operacional, existe uma *Runway Safety Area (RESA)* de 90x90 em ambas as cabeceiras do aeroporto. As ações que podem ser tomadas para evitar o RE seria: (i) não realizar o procedimento de aproximação visual no período noturno com PAPI inoperante, (ii) proibir a operação com chuva forte e (iii) proibir a operação com pista contaminada ou com poças d'água.
3. *Bird Strike (BS)*: O BS ocorre quando se tem a colisão de aeronaves com pássaros e acontece principalmente nas fases críticas do voo (pouso e/ou decolagem). O BS incide, mais frequentemente, quando se tem a presença de lixões ao redor do aeroporto. O Aeroporto de Campina Grande possui como defesa a divulgação de informações adicionais que cita que é comumente vista concentração de aves na aproximação. Foi observado no decorrer deste estudo, uma evidência no momento de uma aproximação pela cabeceira 15, uma espécie de armazenamento de resíduos e não foi encontrado nenhuma empresa regular que faça este tipo de armazenagem nas proximidades do SBKG (Figura 13). É recomendo que o aeroporto desenvolva e publique um Programa de Gerenciamento do Risco da Fauna

(PGRF) e uma Identificação do Perigo da Fauna (IPF), conforme RBAC nº 164 caso ainda não o possua, e que abra uma investigação para verificar qual tipo de resíduo é armazenado no ambiente abaixo;



Figura 13 – Possível armazenagem irregular de resíduos nas proximidades do SBKG.

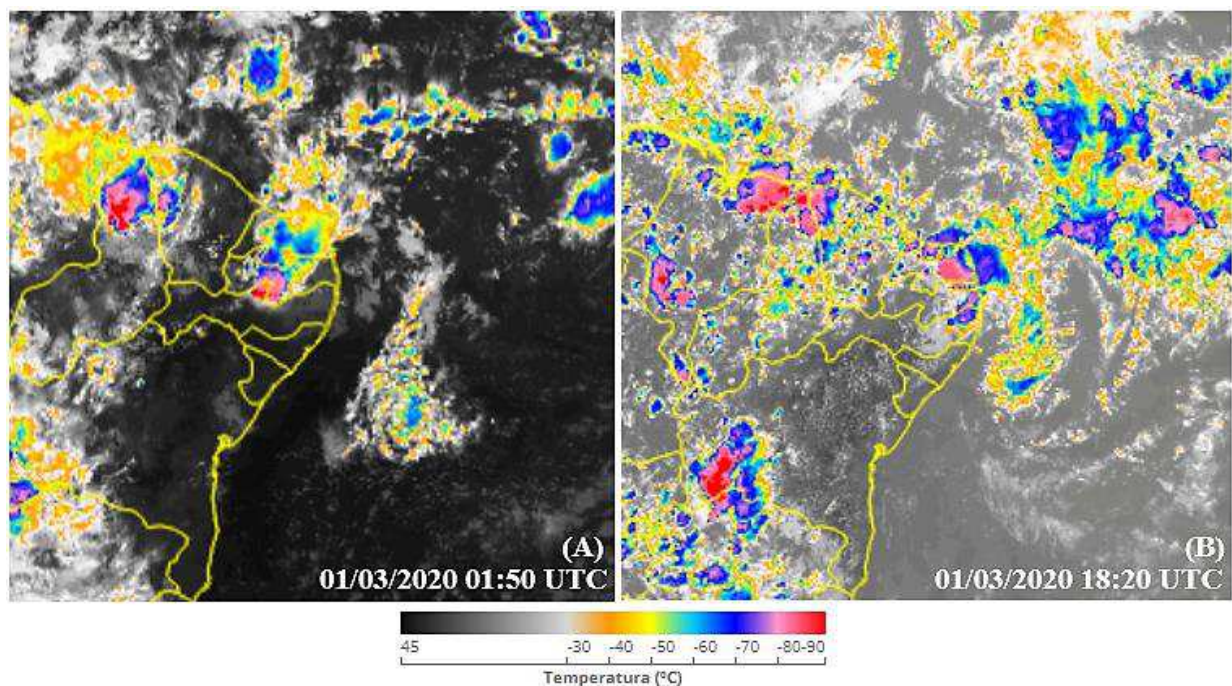
4. *Mid-Air Collision (MAC)*: A falta de torre de controle afeta toda a operação de voo na zona aeroportuária até a parada dos motores. A falta de TWR pode acarretar uma colisão no ar (MAC), onde duas aeronaves entram em contato uma com a outra enquanto ambas estão em voo. As possíveis consequências de um MAC são perda temporária ou permanente de controle como resultado de dano, manobra de evasão ou manuseio incorreto, resultando potencialmente em colisão com o terreno ou pouso de emergência como resultado de danos à aeronave e/ou ferimentos a tripulação e passageiros. É comumente assumido que qualquer MAC causaria a perda da aeronave e de todas as pessoas a bordo. Na verdade, os relatórios de acidentes e incidentes graves mostram que ocorreram alguns acidentes MAC não fatais. No entanto, na maioria dos casos, o resultado é a perda total. Uma possível solução para evitar a MAC seria aplicabilidade das regras do ar (ICA 100-12) a todas as aeronaves operando no espaço aéreo brasileiro e a implementação de uma torre de controle no aeródromo.

- **Estudos de caso com registros de cancelamentos de voo em condições adversas de tempo**

Buscando um melhor entendimento dos eventos que ocorrem da região em que está localizado o Aeroporto de Campina Grande foram escolhidos os dias 14/06/2017, 15/06/2017 e 01/03/2020. Foi possível observar que nesses três dias, aconteceram quatro cancelamento de voos. Estes que de acordo com os dados disponibilizados pela ANAC, foram cancelados com a justificativa do aeroporto de destino (SBKG) estar com condições meteorológicas abaixo dos mínimos operacionais.

- Dia 01 de março de 2020

No dia 01/03/2020, foram cancelados os voos GOL1634, com chegada prevista às 02:05 UTC e AZUL6980 com chegada prevista às 18:05 UTC. De acordo com as mensagens METAR e SPECI disponibilizadas, foram observadas pancadas de chuva, chuvas de intensidade leve, moderada e forte, visibilidade horizontal reduzida em até 4000 metros, bem como, nuvens cumulonimbus (CB) (Figura 14A-B). Para esse dia, foi possível identificar células de CB com temperaturas de brilho de -80 a -90 °C. Tais temperaturas indicam células convectivas profundas (OGUNGBENRO *et al.*, 2016).





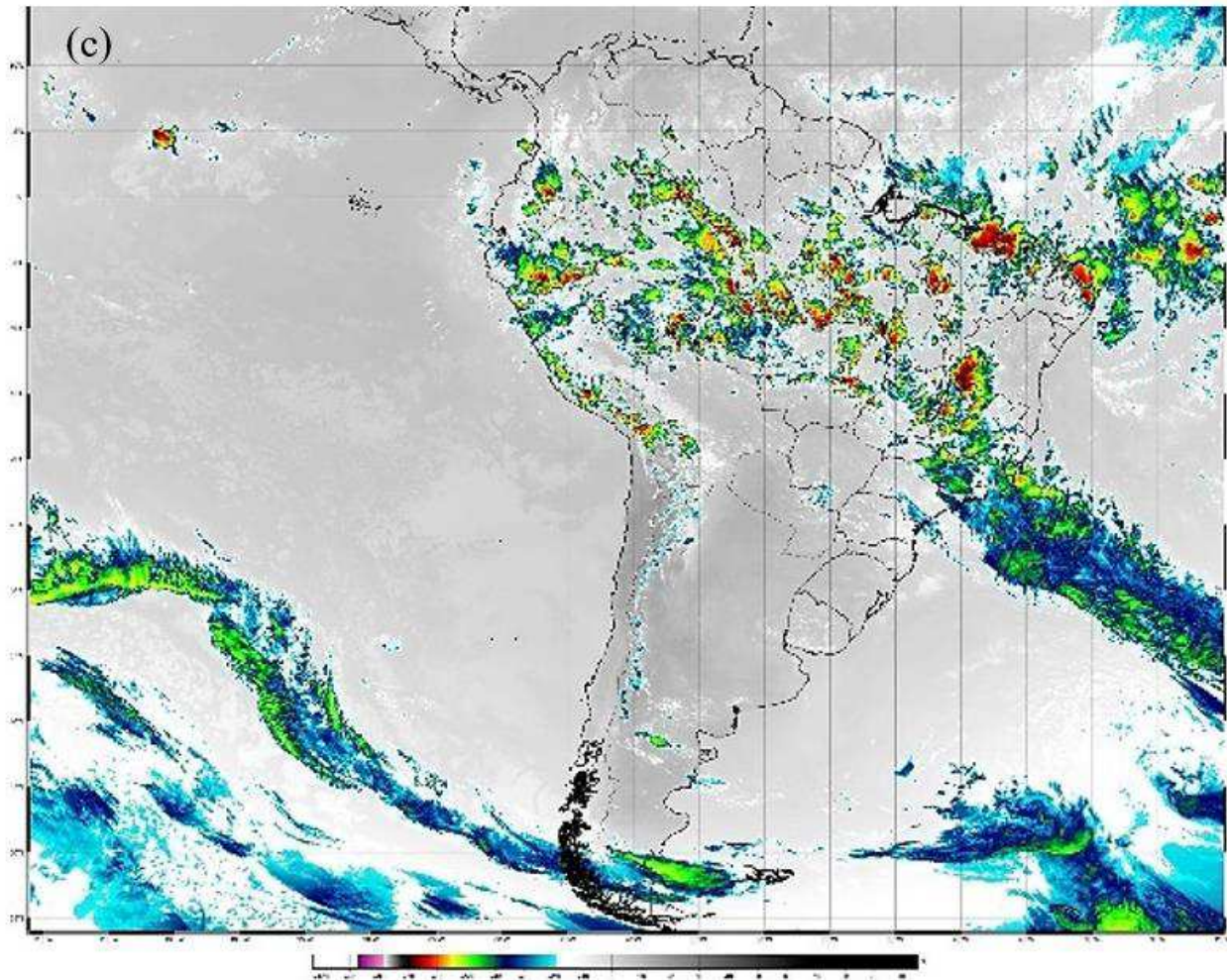


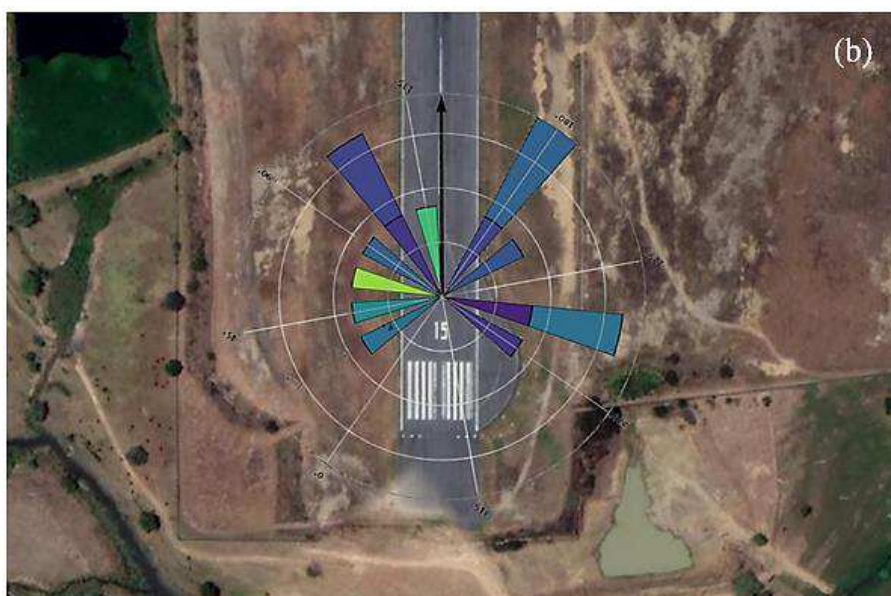
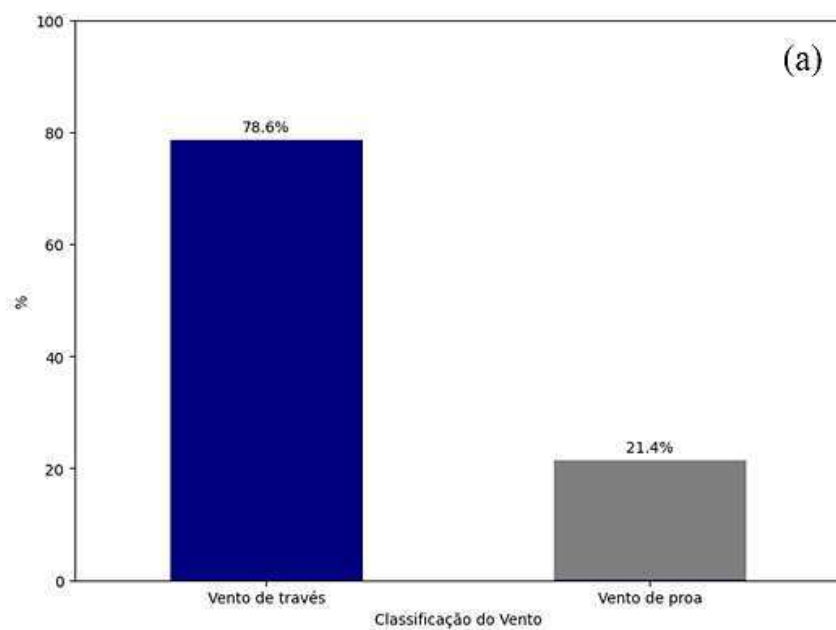
Figura 14 – Imagens do satélite GOES-13, às 01:50UTC (A), 18:20UTC (B) do dia 01/03/2020, evidenciando a formação de nuvens Cumulonimbus (CB) sobre o leste do NEB e (C) Imagens do satélite GOES-16. Fonte: (A), (B) REDEMET (adaptado) e (C) INPE.

A configuração da nebulosidade observada na imagem de satélite (Figura 14C) indica que a distribuição espacial da convecção na região de estudo teve forte influência da atuação de um vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN). A posição geográfica, do VCAN tem forte influência na intensidade e distribuição espacial da precipitação. Nas áreas sob a influência da atividade convectiva do sistema é possível observar formações de nuvens Cumulonimbus, chuva e variações na intensidade e direção do vento.

O gráfico da rosa dos ventos para o dia 01/03/2020, dia este que houve condições meteorológicas significativas de tempo com registro de chuva, com intensidades variando de leve, a moderada e forte com visibilidade horizontal reduzida em até 4000 metros, é ilustrado na Figura 15. No histograma apresentado na Figura 15 A, observa-se que 78,6% dos ventos foram do tipo través, enquanto 21,4% ocorreram do tipo proa. Além disso, verificou-se que o vento não

apresentou uma direção predominante e variou bastante durante o dia, possivelmente decorrente da atividade convectiva na região.

A ilustração da variação da variação do vento na área da pista do aeroporto SBKG incluindo características da cobertura do solo, permite observar contrastes significantes pela distribuição irregular de vegetação e solo descoberto na área do aeroporto. Esse contraste gera gradientes horizontais de temperatura e pressão e conseqüentemente de circulações locais direcionados da alta para baixa pressão. As mudanças na direção do vento indicam também a influência da complexidade do relevo na região.



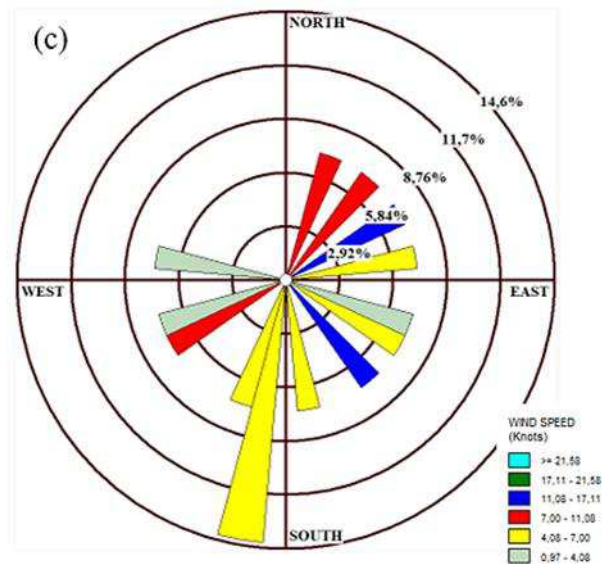


Figura 15 – (a) Classificação do vento em 01/03/2020 e (b, c) Diagramas de rosa dos ventos do dia 01/03/2020.

- Dias 14 e 15 de junho de 2017

Nos dias 14/06/2017 e 15/06/2017 foram cancelados os voos GOL2170, onde ambos com previsão de chegada para às 15:40 UTC, e de acordo com as mensagens METAR e SPECI do aeroporto no horário e nas proximidades dos horários de pouso para o dia 14/06/2017 foi observado chuva leve, visibilidade horizontal baixa com 3000 metros e névoa úmida. A nebulosidade observada nas imagens de satélite do dia 14 de junho indica presença de nuvens do tipo estratiformes baixas na área de Campina Grande. Já para o dia 15/06/2017 foi observado chuva leve, visibilidade horizontal de 5000 metros e névoa úmida. Na imagem do satélite é possível observar alguns núcleos convectivos intensos. Tais dias foram escolhidos por acontecerem no mês mais festivo da cidade de Campina Grande (São João) e por fazerem parte do período que frequentemente é observado a atuação do DOL.

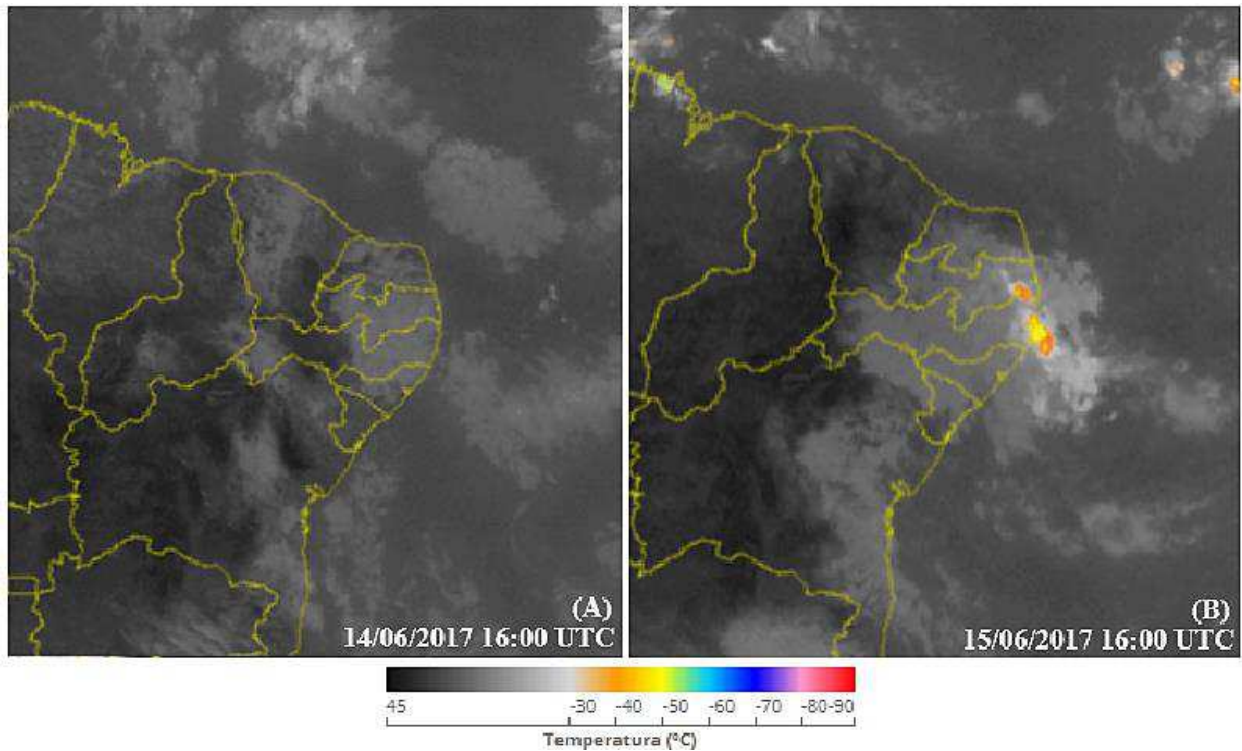
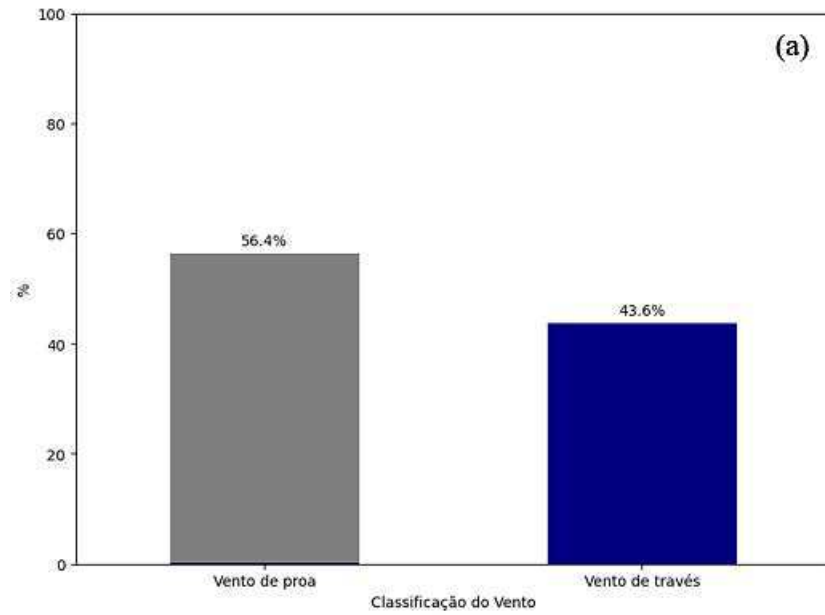


Figura 16 – Imagens do satélite GOES-13, ambas às 16:00 UTC (A), (B) dos dias 14/06/2017 e 15/06/2017 respectivamente. Fonte: (A), (B) REDEMET (adaptado).

De acordo com a carta *Jeppesen* (Apêndice A) do aeródromo do aeroporto de Campina Grande, a proa magnética da cabeceira 15 é  $146^{\circ}$ . Logo, foi utilizado um range de  $\pm 30^{\circ}$ . Diante disso, ventos com direção abaixo de  $116^{\circ}$  e acima de  $176^{\circ}$ , foram considerados ventos de través. A direção do vento foi ajustada de acordo com a declinação magnética no período deste presente estudo, que foi observada em  $21^{\circ}$  oeste (DECEA, 2023).

A Figura 17 exibe um histograma com o percentual de ocorrência de ventos de través e de proa e os diagramas de rosa dos ventos dos dias 14 e 15 de junho de 2017. É visto que 56,4% do vento é do tipo proa e 43,6% do tipo través na localidade e intensidades que variam de 3 a 12 nós.



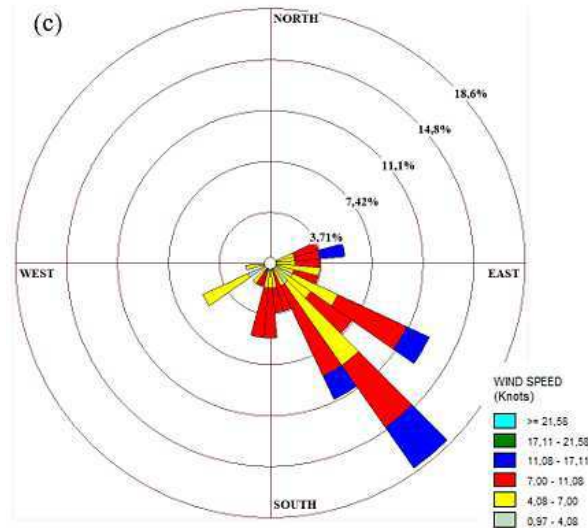
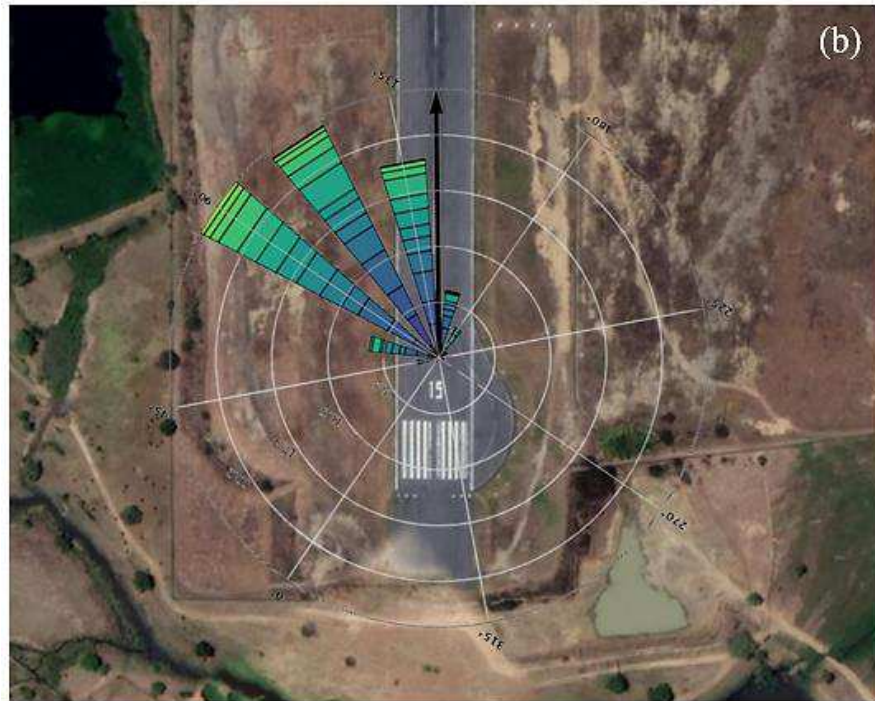
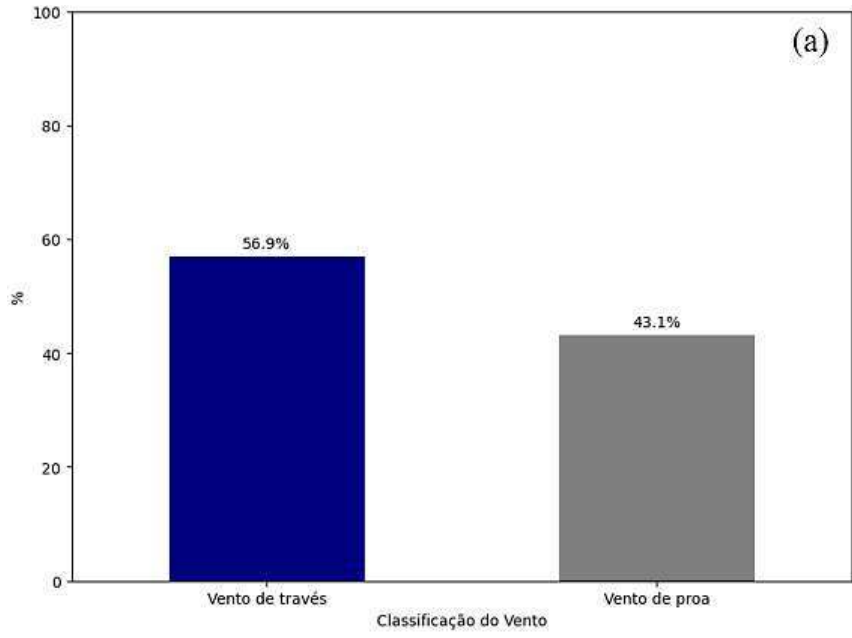


Figura 17 – (a) Classificação do vento nos dias 14/06/2017 e 15/06/2017 e (b, c) Diagramas de rosa dos ventos dos dias 14/06/2017 e 15/06/2017.

O gráfico da rosa de ventos indica que vento é predominantemente de SE direção típica do período de domínio dos ventos alísios.

Como os dias alvo desta pesquisa fazem parte dos meses de março de 2020 e junho de 2017, foi desenvolvida a Figura 18 para melhor entendimento do vento no aeroporto de Campina Grande nesses meses. Diante disso, foram extraídas dos dados de METAR amostras de todos os dados de direção e intensidade dos ventos dos períodos mencionados anteriormente. Para o mês de junho de 2017 foram observados um range de 39 a 355 ° para a direção do vento e de 2 a 28 nós para a intensidade do vento, já para o mês de março de 2020 foram observados um range de 9 a 359 ° para a direção do vento e de 2 a 20 nós para a intensidade do vento. Para o mês de junho de 2017 foi visto que 56,9% dos ventos foram do tipo través. Enquanto para março de 2020, 91,4% dos ventos foram do tipo través.



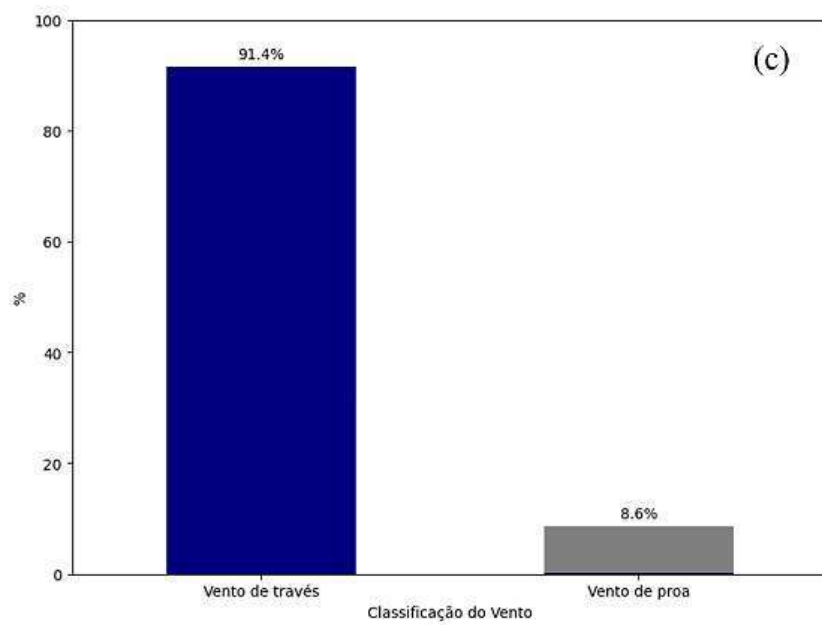


Figura 18 – (a) Classificação do vento em junho de 2017, (b) Diagrama da rosa dos ventos RWY 15 aeroporto de Campina Grande em junho de 2017, (c) Classificação do vento em março de 2020 e (d) Diagrama da rosa dos ventos RWY 15 aeroporto de Campina Grande em março de 2020.



## 5. CONCLUSÃO

A chuva, o vento, a neblina e outros eventos climáticos podem criar desafios adicionais para os pilotos, exigindo habilidades e decisões precisas para garantir a segurança dos voos. Além disso, as condições climáticas podem influenciar o desempenho dos sistemas de navegação, comunicação e controle de tráfego aéreo. Embora não seja possível controlar o clima, é crucial entender seu impacto na aviação e adotar as medidas apropriadas para garantir a segurança e o bom funcionamento das operações aéreas em todas as condições climáticas. Em relação aos voos com destino ao aeroporto de Campina Grande, os principais motivos de atrasos e cancelamentos são as questões técnicas-operacionais e restrições operacionais. Os riscos observados no aeroporto de Campina Grande que podem causar acidentes aeronáuticos foram CFIT, RE, BS e MAC. Foi visto que nos dias estudados, o vento través foi predominante no dia 01/03/2020 (78,6%), enquanto nos dias 14 e 15/06/2017 o vento proa foi predominante (56,4%). No entanto, em tais dias de junho, o DOL atua fortemente. Ademais, quando analisado os meses de março de 2020 e junho de 2017, o vento través foi predominante no mês de março. Além disso, é importante que as autoridades aeroportuárias considerem planejem e gerenciem a infraestrutura aeroportuária. É crucial adotar medidas para compensar a perda de distância da pista, os riscos envolvendo acidentes com aves e implementação de torre de controle, tais medidas possuem o objetivo de mitigar os riscos da operação e garantir a viabilidade do aeroporto a longo prazo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENA BRASIL – **Guia do Aeroporto de Campina Grande Presidente João Suassuna**. AENA, 2020. Disponível em: <<https://www.aenabrasil.com.br/pt/aeroportos/aeroporto-de-campina-grande-presidente-joao-suassuna/Historico.html>>. Acesso em: 22 mar, 2023.

AIRBUS. **Definition of accident categories**. AIRBUS, 2022. Disponível em: <<https://accidentstats.airbus.com/statistics/accident-categories>>. Acesso em: 22 nov, 2023.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Nevoeiro**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/meteorologia-aeronautica/condicoes-meteorologicas-adversas-para-o-voo/nevoeiro>>. Acesso em: 20 mar, 2023.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Operadores aeronáuticos e aeroportuários**. 2020. Disponível em: <<https://legado.dados.gov.br/organization/agencia-nacional-de-aviacao-civil-anac>>. Acesso em: 20 mar, 2023.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) nº 154**. Projetos de Aeródromos. Brasília, DF, 2012. 245p.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Relatório Anual de Segurança Operacional (RASO)**. 2011. 46p.

API REDEMET. **Extração dos dados nos períodos de 2013 a 2020**. Disponível em: <<https://www.redemet.aer.mil.br/old/?i=facilidades&p=api-redemet>>. Acesso em: 10 out, 2022.

BARBIERI, L. F. P. **Episódios significativos de ventos de través no aeroporto de Petrolina: um estudo de condições meteorológicas adversas em operações de pouso e decolagem**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, 2016.

BELO-PEREIRA, M; SANTOS, J. A. A persistent wintertime fog episode at Lisbon airport (Portugal): performance of ECMWF and AROME models. **Met. Apps**, n. 23, p. 353-370, 2016. <https://doi.org/10.1002/met.1560>

BRASIL. Portaria DECEA Nº 128/DGCEA, de 31 de julho de 2017. **Aprova a reedição da Circular que trata da padronização da elaboração de procedimentos de navegação aérea**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Ministério da Defesa, Brasília, DF, 2017c. 75p.

CERQUEIRA F.S. et al. **Ameça à Aviação**. Revista CFOE. p. 94, 2005. Disponível em <[http://www.redemet.aer.mil.br/uploads/2014/04/ameaca\\_a\\_aviacao.pdf](http://www.redemet.aer.mil.br/uploads/2014/04/ameaca_a_aviacao.pdf)>. Acesso em: 20 fev, 2023.

CHRISTOPHER J. G.; JENNIFER D. S. Meteorological Impacts on Commercial Aviation Delays and Cancellations in the Continental United States. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, n. 58, p. 479–494, 2019. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0277.1>

DECEA. **Procedimentos para o Registro de Alterações em Voos de Empresas De Transporte Aéreo Regular**, IAC 1504, Anexo 2, 2000.

DECEA. **Classificação Espaço Aéreo**, 2016. Disponível em < <https://publicacoes.decea.mil.br/filtro?d=2016>>. Acesso em: 05 fev, 2023.

DECEA. **Manual de Informações Aeronáuticas (MANUAL AIS)**. Parte 2 – Aeródromos (AD), 2016. Disponível em < <https://publicacoes.decea.mil.br/filtro?d=2016>>. Acesso em: 06 fev, 2023.

DECEA. Circular de Informações Aeronáuticas 100-12 - **Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo**. Disponível em < <https://publicacoes.decea.mil.br/filtro?d=2016>>. Acesso em: 06 fev, 2023.

DE OLIVEIRA, M.; EUFRÁSIO, A. B. R.; GUTERRES, M. X.; MURÇA, M. C. R.; DE ARANTES GOMES, R. Analysis of airport weather impact on on-time performance of arrival flights for the Brazilian domestic air transportation system. **Journal of Air Transport Management**, v. 91, p. 101974, 2021.

DIANA, T. “Can we explain airport performance? A case study of selected New York airport using a stochastic frontier model”. **Journal of Air Transport Management**, v. 16. p. 310-314, 2010.

FOGACCIA, C. V. C.; PEREIRA FILHO, A. J. **Turbulência e cisalhamento do vento na área do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos**. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu/PR, Sociedade Brasileira de Meteorologia, em mídia digital, 2002.

FOLCH, A.; SULPIZIO, R. Evaluating long-range volcanic ash hazard using supercomputing facilities: application to Somma-Vesuvius (Italy), and consequences for civil aviation over the Central Mediterranean Area. **Bulletin of Volcanology**, v. 72, p. 1039-1059, 2010.

GOMES, H. B., AMBRIZZI, T., HERDIES, D. L., HODGES, K.; PONTES da SILVA, B. F. Easterly wave disturbances over Northeast Brazil: an observational analysis. **Advances in Meteorology**, v. 2015, 2015.

GOOGLE EARTH. **Imagem do Aeroporto de Campina Grande Presidente João Suassuna**, 2021. Disponível em: < <https://earth.google.com/web/search/aeroporto+de+campina+grande/@-7.26949368,-35.89576662,495.98189219a,3684.50106512d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCU-9RBHQwRrAEcYVD9v--R7AGe-hFwLkNEHAIYVQVZ4mRULA>>. Acesso em: 15 abr, 2023.

GULTEPE, I.; SHARMAN, R.; WILLIAMS, P. D.; ZHOU, B.; ELLROD, G.; MINNIS, P.; NETO, F. A. A review of high impact weather for aviation meteorology. **Pure and applied geophysics**, v. 176, p. 1869-1921, 2019.

HENRIQUES, C. R.; MATSCHINSKE, M. R. Meteorologia aeronáutica do sistema de controle do espaço aéreo brasileiro. **A Meteorologia e a Aeronáutica**, p. 13, 2005.

HORONJEFF, R., MCKELVEY FRANCIS, X. **Planning and design of airports**. 3. ed. Mcgrawhill, p. 66, 1983.

IATA (International Air Transport Association). **Airport Development Reference Manual, Montreal: International Air Transport Association**, 2004. Disponível em: <<http://www.iata.org/publications/store/Pages/airport-development-reference-manual.aspx>>. Acesso em: 15 out, 2022.

ICAO (International Civil Aviation Organization). **Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation: Aerodromes. Volume I Aerodrome Design and Operations**. 5ª Ed. Canada: International Civil Aviation Organization, 2009.

ICAO (International Civil Aviation Organization). **Annex 11, Chapter 2, Appendix 4**. Air Traffic Services, 2001.

<<https://skyrise.aero/wp-content/uploads/2017/03/ICAO-Annex-11-Air-traffic-services.pdf>>

Acesso em: 15 out, 2022.

ICAO (International Civil Aviation Organization). **Doc 9365: Manual of All-Weather Operations**. 3.ed. Canada: International Civil Aviation Organization, 2013. Disponível em: <<https://skybrary.aero/bookshelf/books/2983.pdf>>. Acesso em: 29 out, 2022.

INMET. **Estações meteorológicas**. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/servicos/mapa-de-esta%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas>>. Acesso em: 30 nov, 2022.

IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 04 fev, 2023.

ISIL, S.; COLLETT J. R. J.; LYNCH, J.; WEISS-PENZIAS, P.; ROGERS, C. M. Cloud and fog deposition: Monitoring in high elevation and coastal ecosystems. The past, present, and future. **Atmospheric Environment**, v. 274, p. 118997, 2022.

KULKARNI, R.; JENAMANI, R. K.; PITHANI, P.; KONWAR, M.; NIGAM, N.; GHUDE, S. D. Loss to aviation economy due to winter fog in New Delhi during the winter of 2011–2016. **Atmosphere**, v. 10, n. 4, p. 198, 2019.

LI, Q.; WU, B.; LIU, J.; ZHANG, H.; CAI, X.; SONG, Y. Characteristics of the atmospheric boundary layer and its relation with PM<sub>2.5</sub> during haze episodes in winter in the North China Plain. **Atmospheric Environment**, v. 223, p. 117265, 2020.

MANSIKKA, H.; VIRTANEN, K.; HARRIS, D.; SIMOLA, P. Fighter pilots' heart rate, heart rate variation and performance during an instrument flight rules proficiency test. **Applied ergonomics**, v. 56, p. 213-219, 2016.

MAROJA, M. G. O.; DE FATIMA CORREIA, M.; ALVES DA SILVA, G.; DA SILVA ARAGÃO, M. R.; DOS SANTOS, E. P.; ANDRADE, A. L. S. Relevância da infraestrutura aeroportuária na redução de atrasos e cancelamentos de voos em condições meteorológicas adversas. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 30840-30852, 2022.

MEDEIROS, R. L. B.; ARAGÃO. M. R. S. Condições meteorológicas na área do aeroporto de Campina Grande: redução da visibilidade e sua influência em atrasos e cancelamentos de voos. In: **XIV Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande**, 2017.

MEDEIROS, R. L. B. **Um estudo de condições meteorológicas adversas na área do aeroporto de Campina Grande: Redução da visibilidade horizontal como fator de risco em operações aéreas**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, p. 21, Campina Grande, 2018.

MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 203, 2007.

MERCAN, G. SafeNcy-D1. 1: **Technical Resources and Problem Definition**. 2020.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). **Wind Shear Awareness**. 2018.

National Transportation Safety Board (NTSB). **Aircraft Accident Report - Delta Air Lines, Inc., L-1011, N726DA, Dallas/Fort Worth International Airport, Dallas, Texas, August 2, 1985**. NTSB/AAR-86/03. Washington, D.C., 1986.

OLIVEIRA SILVA, G. R.; e MACHADO, H. C. **Tomada de decisão em condições meteorológicas adversas**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, p. 1335-1345, 2016.

ORLANSKI, I. **A rational subdivision of scales for atmospheric processes**. Bulletin of the American Meteorological Society, p.527-530, 1975.

OGUNGBENRO, S. B.; AJAYI, V. O.; ADEFOLALU, D. O. Mean state and kinematic properties of mesoscale convective systems over West Africa. **Theoretical and applied climatology**, v. 124, p. 219-227, 2016.

OO, K. T.; OO, K. L. Analysis of the Most Common Aviation Weather Hazard and Its Key Mechanisms over the Yangon Flight Information Region. **Advances in Meteorology**, v. 2022, 2022.

PONTES DA SILVA, B. F. **Contribuição dos Distúrbios Ondulatórios de Leste para a chuva no Leste do Nordeste do Brasil: evolução sinótica média e simulações numéricas**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, 2011.

**Precision Runway Monitor (PRM) Pilot Procedures**, 2017. Disponível em: <[https://www.faa.gov/training\\_testing/training/prm/media/PRM\\_training.pdf](https://www.faa.gov/training_testing/training/prm/media/PRM_training.pdf)>. Acesso em: 15 out, 2022.

PRÊMIO AVIAÇÃO MAIS BRASIL, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/empenhado-em-alavancar-a-aviacao-regional-costa-filho-participa-de-duas-acoes-na-paraiba>. Acesso em: 11 dez, 2023.

ROHACS, D.; ROHACS, J. Magnetic levitation assisted aircraft take-off and landing (feasibility study–GABRIEL concept). **Progress in Aerospace Sciences**, v. 85, p. 33-50, 2016.

ROTAER. **Informações do Aeroporto Presidente João Suassuna (SBKG)**. Disponível em: <<https://aisweb.decea.mil.br/?i=aerodromos&codigo=SBKG#rotaer>>. Acesso em: 2 abr, 2023.

SCHULTZ, M.; REITMANN, S.; ALAM, S. Predictive classification and understanding of weather impact on airport performance through machine learning. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 131, p. 103119, 2021.

SENADO. **São João de Campina Grande é tema de documentário da TV Senado**. Senado, 2023. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2023/06/27/sao-joao-de-campina-grande-e-tema-de-documentario-da-tv-senado>>. Acesso em: 2 nov, 2023.

SILVA, D. R. R.; CORREIA, M F; SILVA, G. A.; SILVA ARAGAO, M. R. **CONDIÇÕES DE TETO E PRECIPITAÇÃO NO AEROPORTO DE CAMPINA GRANDE: INFLUÊNCIAS EM ATRASOS E CANCELAMENTOS DE VOO**. In: Madson Tavares Silva; Carlos Antônio Costa dos Santos. (Org.). Meteorologia e Recursos Naturais. 1ed.: 2020, v. 1, p. 257-265.

SIMS, J. Paul. Radio Technical Landing Systems. **Aerospace Navigation Systems**, p. 162-178, 2016.

SPIRKOVSKA, L.; LODHA, S. K. AWE: Aviation weather data visualization environment. **Computers & Graphics**, v. 26, n. 1, p. 169-191, 2002.

SOARES, R. V. **Meteorologia e Controle do Clima na Aviação**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

TUKEY, J. W. Some thoughts on clinical trials, especially problems of multiplicity. **Science**, v. 198, n. 4318, p. 679-684, 1977.

VALDÉS, R. M. A.; COMENDADOR, F. G.; GORDÚN, L. M.; NIETO, F. J. S. The development of probabilistic models to estimate accident risk (due to runway overrun and landing undershoot) applicable to the design and construction of runway safety areas. **Safety science**, v. 49, n. 5, p. 633-650, 2011.

VERVERS, P. M.; WICKENS, C. D. Head-up displays: effect of clutter, display intensity, and display location on pilot performance. **The International Journal of Aviation Psychology**, v. 8, n. 4, p. 377-403, 1998.

# APÊNDICE

## APÊNDICE A - Carta Jeppesen

