

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA OCORRÊNCIA DE NEVOEIROS EM PIRASSUNUNGA E SUA INFLUÊNCIA NA INSTRUÇÃO AÉREA¹

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF FOG OCCURRENCE IN PIRASSUNUNGA AND ITS INFLUENCE ON AIR INSTRUCTION

Eric Henrique Bezerra Furlaneto²
Fernando Ribeiro Neves da Costa^{3*}
Rafael Campos de Castro Barreto⁴

RESUMO

Os nevoeiros são fenômenos atmosféricos relacionados com a formação de hidrometeoros próximos à superfície, que ocorrem com mais frequência em regiões com maior presença de umidade e grande amplitude térmica. Esses eventos geram uma grande redução da visibilidade, o que regularmente gera impactos para certas atividades antrópicas, reduzindo a segurança no tráfego rodoviário e causando cancelamento de voos por más condições meteorológicas, por exemplo. Na Academia da Força Aérea (AFA), os nevoeiros regularmente inviabilizam a decolagem das aeronaves utilizadas na instrução aérea, o que tende a gerar atrasos no progresso operacional dos tripulantes, resultando em transtornos para o desenvolvimento das atividades. Nesse contexto, a seguinte pesquisa aparece com o objetivo de investigar o comportamento desses fenômenos na região de Pirassununga e relacioná-los com os aspectos geográficos e com o clima local, analisando sua distribuição temporal ao longo do ano por meio de gráficos que relacionam a ocorrência de nevoeiros e baixa visibilidade com os meses do ano, tendo como referência dados do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) de 2019 a 2023, e informações já consolidadas sobre o tema disponíveis na literatura.

Palavras-chave: Nevoeiros; Clima; Visibilidade; Instrução Aérea.

¹ Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA).

² Cadete Aviador do 4º Esquadrão (Turma Árion, 2024).

³ Graduação no Curso de Formação de Oficiais Aviadores e Bacharelado em Ciências Aeronáuticas com habilitação em Aviação Militar pela Academia da Força Aérea (AFA) em 2012. Pós-graduação *Lato Sensu* em Análise do Ambiente Eletromagnético no Instituto de Tecnologia da Aeronáutica (ITA) em 2017. Possui cursos operacionais voltados para a área de inteligência, guerra eletrônica e emprego D'armas. Possui cursos na área de gestão de processos e da qualidade. E-mail: fernandocostafnc@fab.mil.br.

⁴ Capitão Aviador Bacharelado em Administração, com ênfase em Administração Pública. Bacharelado em Ciências Aeronáuticas, com habilitação em Aviação Militar; e pós-graduação *Lato sensu* em Liderança com nfase em Gestão no COMAER. Academia da Força Aérea. E-mail: barretorceb@fab.mil.br.

ABSTRACT

Fogs are atmospheric phenomena associated with the formation of hydrometeors near the surface, occurring more frequently in regions with higher humidity and significant temperature variations. These events lead to a significant reduction in visibility, regularly impacting various human activities such as compromising road traffic safety and causing flight cancellations due to adverse weather conditions. At the Academia da Força Aérea (AFA), fogs frequently hinder aircraft takeoffs for aerial training, causing operational delays and disruptions for crew members. In this context, this research aims to investigate the behavior of these phenomena in the Pirassununga region and establish correlations with geographical and local climate factors, analyzing its temporal distribution throughout the year through graphs that relate the occurrence of fog and low visibility to the months of the year, utilizing data from the Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) from 2019 to 2023 and drawing on existing literature on the subject.

Keywords: Fogs; Climate; Visibility; Aerial Training.

INTRODUÇÃO

Segundo Blair (1964), um nevoeiro pode ser definido como composto de partículas de água microscópicas que permanecem em suspensão no ar próximos à superfície, de modo que reduz a visibilidade horizontal a mil metros ou menos. Também pode ser definido como uma nuvem stratus rente ao solo envolvendo o observador. As partículas que os compõem têm o diâmetro variável entre um décimo e um centésimo de milímetro, podendo haver partículas com todas essas dimensões em um mesmo nevoeiro.

Esses fenômenos afetam a segurança das operações aéreas, uma vez que afetam dois fatores muito importantes para o voo. A visibilidade, sendo ela a distância máxima horizontal na qual se pode observar objetos salientes sem auxílios ópticos, tais como edifícios ou montanhas; e o teto, altura da base de uma camada de nuvens que impeça um observador abaixo desta de ver o que está acima, bem como impeça um observador acima de ver o que está abaixo (Blair, 1964).

Esses fatores são monitorados diariamente na Academia da Força Aérea (AFA) com o objetivo de garantir que as condições meteorológicas estejam compatíveis com a instrução aérea e o preconizado pelo fabricante das aeronaves, o que é feito tendo em vista uma tabela de mínimos meteorológicos inserida nos manuais de procedimentos (MAPRO 2024) do ano vigente, permitindo ou não a realização da instrução aérea, de forma que a ocorrência de nevoeiros, interfere diretamente nas atividades desempenhadas nos Esquadrões de Instrução Aérea (EIA). Desse modo, é importante compreender a gênese desses fenômenos visando uma maior harmonização entre a

instrução aérea e o comportamento climático da região, permitindo assim maior eficiência nas operações ao longo do ano.

Diversos fatores afetam a formação dos nevoeiros e suas características, como a estação do ano por exemplo. As principais condições que favorecem sua formação é um ar calmo, frio e úmido, o que comumente ocorre no inverno, favorecendo assim a sua formação. Outro fator importante é a presença de núcleos de condensação, partículas que favorecem a condensação da água, como poeira, pólen, produtos de queimadas florestais ou de processos industriais (Wallace; Hobbs, 2006). A presença de propriedades rurais na região de Pirassununga influencia a presença de tais partículas sendo cabível uma análise da geografia local como forma de melhorar a compreensão desses fenômenos.

Nesse diapasão, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo geral de analisar as ocorrências de nevoeiros em Pirassununga, relacionando-as com as características climáticas da região. De modo a atingir esse objetivo geral, surgem então os seguintes objetivos específicos: analisar as características climáticas e investigar os dados de visibilidade e ocorrência de nevoeiros em Pirassununga.

Para atingir tais objetivos, esta pesquisa analisa os dados de ocorrência de nevoeiros e de visibilidade do ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo), de modo a verificar quais períodos apresentaram condições climáticas incompatíveis com os mínimos e visibilidade para a instrução aérea com base no que prevê o Programa de Instrução e Manutenção Operacional da AFA 2024 (Brasil 2024) e o Manual de Procedimentos 1º EIA 2024. Sob esse prisma, surge então a seguinte pergunta de pesquisa: **de que modo a ocorrência de nevoeiros na região de Pirassununga interfere na instrução aérea?**

Tendo em vista tal análise, é possível que se descubra formas de otimizar a distribuição da instrução aérea ao longo do ano, visando um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, gerando desse modo uma contribuição significativa.

1 REVISÃO DA LITERATURA

O clima é capaz de modificar, não apenas os aspectos aerodinâmicos de processos da aviação, como também altera a navegação e o cumprimento de missões, sejam elas quais forem (Bottiyán *et al.*, 2015). Dessa forma, fica clara a relevância do desenvolvimento de conhecimentos na área de meteorologia para a atividade aérea em geral, e para as atividades de instrução

desenvolvidas na AFA. Dentre esses fenômenos, as névoas e os nevoeiros apresentam grande pertinência para as operações aéreas (Blair, 1964), sendo por isso alvo dessa pesquisa.

1.1 CONCEITOS RELEVANTES

Para que haja uma compreensão adequada dos fenômenos relacionados à formação dos nevoeiros, é importante o entendimento de alguns conceitos de física e ciências da atmosfera. Tendo isso em vista, algumas noções serão abordadas neste primeiro tópico.

O ponto de orvalho é definido como a temperatura na qual uma massa de ar deve ser resfriada, a uma pressão constante, para tornar-se saturada, ou seja, a razão de evaporação e de condensação com relação a uma superfície plana são iguais em relação a uma superfície plana, de modo que a umidade relativa, razão entre a quantidade de vapor d'água presente no ar e a quantidade de vapor necessária para que ocorra a saturação, atinja cem por cento, para o caso da água pura (Wallace; Hobbs, 2006).

Os nevoeiros, nuvens stratus que se formam coladas ao solo, compostos por gotículas microscópicas de água em suspensão na atmosfera, causando uma grande redução na visibilidade têm origens variadas (Blair, 1964). Estão intimamente ligados ao conceito de ponto de orvalho, dado que sua formação ocorre quando uma massa de ar úmida e próxima ao solo é resfriada até atingir o seu ponto de orvalho. Como é salientado no livro Meteorologia (Blair, 1964), existem quatro principais tipos de formação de nevoeiros: os de radiação, de inversão, de advecção e de evaporação.

Os nevoeiros de radiação ocorrem quando há um resfriamento do ar próximo à superfície durante a noite devido a energia térmica perdida na forma de irradiação, de maneira a atingir o ponto de orvalho. Ocorre principalmente em noites de céu claro no inverno, normalmente na sequência de noites com elevada nebulosidade. Há também os de inversão, um tipo especial de nevoeiro de radiação, consequente de um fenômeno comum em ambientes urbanos, a inversão térmica. Como consequência de tal ocorrência, a atmosfera que usualmente decresce de temperatura com o aumento da altitude, apresenta uma camada de ar mais frio em sua base, que por meio da irradiação se esfria ainda mais durante a noite, atingindo o ponto de orvalho (Blair, 1964).

A camada limite da atmosfera é a camada de ar em sua base que é diretamente afetada pelo terreno e suas características, tendo dessa maneira um comportamento especial. Na camada limite o ar é mais turbulento, o que mantém a temperatura constante ao longo desta. Acima dessa camada,

na chamada atmosfera livre, a temperatura apresenta decréscimo com o aumento de altura. Em alguns casos de noites frias com vento calmo, o resfriamento do solo pode ocorrer de forma mais vertiginosa, de forma que o ar na base da camada limite se resfria mais rápido do que o topo, criando assim uma camada de ar quente acima desta, que detém o ar frio abaixo de si, criando assim a chamada inversão térmica. Isso propicia a formação de nevoeiros de inversão mais intensos e espessos. (Wallace; Hobbs, 2006).

Outrossim, existem os nevoeiros de advecção e de evaporação. Este primeiro tem origem em massas de ar quente e úmidas que se deslocam sobre uma superfície fria, resfriando-se até seu ponto de orvalho. Tal efeito é intensificado com ventos mais fortes, que geram uma camada turbulenta maior e por consequência nevoeiros que chegam mais alto. Os de evaporação, por fim, são causados quando uma massa de ar frio passa sobre uma superfície líquida aquecida, saturando assim o ar frio acima, elevando a temperatura do ponto de orvalho até que esta atinja a temperatura ambiente (Blair, 1964).

Outro fator que influencia a formação de hidrometeoros é a presença de núcleos de condensação, ou Cloud Condensation Nuclei (CCN). A formação de gotículas de água, ou seja, a transformação de moléculas no estado de vapor em moléculas em estado líquido, é um processo que gera uma variação na energia interna do sistema. As moléculas tendem a manter-se no estado que exijam a menor variação da energia interna, isto é, que a variação da energia livre de Gibbs seja menor que zero. Isto depende de duas condições fundamentais: a umidade relativa deve atingir cem por cento e o raio das partículas formadas ao acaso pela colisão de moléculas deve chegar a um valor mínimo, valor esse que diminui com o decréscimo da temperatura e com o aumento da umidade relativa. Por este motivo, a presença de partículas com raio maior que o necessário para que ocorra a formação espontânea de gotículas, os CCN, propiciam a condensação do vapor d'água (Wallace; Hobbs, 2006).

1.2 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DE PIRASSUNUNGA

Conforme Moschini *et al.* (2019) município de Pirassununga tem sua economia baseada principalmente nas atividades do setor sucroalcooleiro, como o cultivo de cana-de-açúcar e grandes indústrias produtoras de aguardente, baseado em dados de 2016 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cerca de 37% do uso do solo do município é usado para o cultivo da cana, enquanto que a vegetação nativa cobre cerca de 25% dessa área (Moschini *et al.*, 2019). Essas

atividades geram uma grande emissão de aerossóis, principalmente nos processos de queima da palha da cana para seu cultivo manual, realizada normalmente por produtores menores em virtude do alto custo de aquisição de máquinas agrícolas, e nas queimas do bagaço realizadas nas usinas sucroenergéticas, comuns na região de Pirassununga (Strapasson; Araújo, 2006).

Conforme Kaufman e Fraser (1997), partículas de fumaça geradas pela queima de biomassa são CCNs muito eficazes, afetando assim a formação de hidrometeoros e de precipitação, bem como influenciando no tamanho e nas características destes. Em vista disso, é possível que se estabeleça uma relação entre as atividades sucroalcooleiras de Pirassununga e o clima local. Além disso, de acordo com dados de Clima: Pirassununga (Climate-Data.org, 2024), Pirassununga apresenta temperaturas mais elevadas e maior precipitação no verão (temperatura média em torno de 24°C e precipitação mensal ao redor de 200mm) e o oposto no inverno (temperatura média em torno de 18°C e precipitação em torno de 50mm). Aliado a isso, entre os meses de maio e agosto, há uma diminuição da média de horas de sol diária, fator que contribui com a formação de nevoeiros. Assim sendo, sugere-se que haja uma tendência de formação de nevoeiros com mais frequência na metade do ano, entre os meses de abril e setembro.

1.3 DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Nesta seção serão descritas as variáveis consideradas relevantes para a análise dos dados nesse artigo. As principais foram a visibilidade horizontal e a condição geral do tempo de acordo com a tabela 4677 da ICA 105-16 (2017) (Tabela 2) do Comando da Aeronáutica. A visibilidade horizontal é, conforme ICA 100-16 (2013), a capacidade de se avistar e identificar, durante o dia, objetos proeminentes não iluminados e, durante a noite, objetos proeminentes iluminados, de acordo com as condições atmosféricas e expressa em unidades de distância. A tabela 4677 da ICA 105-16 (Tabela 2), padroniza como deve ser reportada a condição geral do tempo presente por meio de números tabelado de 00 a 99, sendo os números de 40 a 49 reservados para descrição de fenômenos relacionados a nevoeiros e nevoeiros gelados, sendo estes dois últimos de interesse deste artigo.

1.3.1 Visibilidade na AFA

Para a operação na AFA, existem critérios de visibilidade definidos pelo MAPRO 2024, com o objetivo de restringir a operação em condições degradadas. Conforme o MAPRO 2024, a instrução aérea deve ocorrer sempre em condições visuais, sendo autorizado o voo em condição IMC (Instrument Meteorological Conditions, Condições meteorológicas expressas em termos de visibilidade, distância de nuvens e teto, inferiores aos mínimos especificados para o voo visual, conforme DECEA (s/d)) apenas em alguns casos específicos, no caso de formação de instrutores, que não serão contemplados pela análise deste artigo. Define-se então os parâmetros para operação visual na AFA a partir da seguinte tabela:

Tabela 1 Tabela de cores do aeródromo

COR	TETO	VISIBILIDADE	OPERAÇÃO
VERDE	$TETO \geq 1.500 \text{ ft}$	$VIS \geq 5.000 \text{ m}$	VFR
AMARELO	$1.000 \text{ ft} \leq TETO < 1.500 \text{ ft}$	$3.000 \text{ m} \leq VIS < 5.000 \text{ m}$	VFR especial
	$600 \text{ ft} \leq TETO < 1.000 \text{ ft}$	$1.500 \text{ m} \leq VIS < 3.000 \text{ m}$	IFR
VERMELHO	$TETO < 600 \text{ ft}$	$VIS < 1.500 \text{ m}$	Fechado IFR

Fonte: MAPRO 2024

Portanto, será considerado para a análise deste artigo que os valores de visibilidade menores que 5000 metros como inadequados para a instrução aérea.

1.3.2 Condição Geral de Tempo Presente(CGT)

A tabela 4677 da ICA 105-16 (Tabela 2) define os valores que descrevem a condição geral do tempo. Os valores mais relevantes para os objetivos deste artigo são os seguintes:

Tabela 2 Tempo presente informado por uma estação dotada de pessoal

ww = 40 a 49

Nevoeiro ou nevoeiro gelado na hora da observação

40	Nevoeiro ou nevoeiro gelado a distância na hora da observação, mas não na estação durante a hora precedente; o nevoeiro ou nevoeiro gelado se estende a um nível superior ao do observador
41	Nevoeiro ou nevoeiro gelado, em bancos
42	Nevoeiro ou nevoeiro gelado, tornou-se menos denso durante a hora precedente, com céu visível
43	Nevoeiro ou nevoeiro gelado, tornou-se menos denso durante a hora precedente, com céu invisível
44	Nevoeiro ou nevoeiro gelado, sem mudança apreciável durante a hora precedente, com céu visível
45	Nevoeiro ou nevoeiro gelado, sem mudança apreciável durante a hora precedente, com céu invisível
46	Nevoeiro ou nevoeiro gelado, começou ou tornou-se mais denso durante a hora precedente, com céu visível
47	Nevoeiro ou nevoeiro gelado, começou ou tornou-se mais denso durante a hora precedente, com céu invisível
48	Nevoeiro, depositando escarcha, com céu visível
49	Nevoeiro, depositando escarcha, com céu invisível

Fonte: ICA 105-16 (2017)

Ressalta-se também o item 3.1.2.6.4.13 da ICA 105-16, conforme segue abaixo:

“Para a utilização de ww = 40 a 49, devem ser observados os seguintes critérios:

- a) ww = 40 e 41 – a visibilidade horizontal aparente através do nevoeiro ou nevoeiro gelado, parcial ou em bancos, deve ser inferior a 1.000 metros;
- b) ww = 42 a 49 – a visibilidade horizontal deve ser inferior a 1.000 metros;
- c) ww = 40 a 47 – a obstrução à visibilidade horizontal deve ser constituída predominantemente por gotículas d’água ou cristais de gelo; e
- d) ww = 48 e 49 – a obstrução à visibilidade horizontal deve ser constituída predominantemente por gotículas d’água.”

Além desse intervalo, são relevantes os valores 10 e 28, como segue:

Tabela 3 Tempo presente informado por estação meteorológica dotada de pessoal

10	Névoa úmida
28	Nevoeiro ou nevoeiro gelado

Fonte: ICA 105-16 (2017)

Ficam definidos, portanto, os valores 10, 28 e o intervalo de 40 a 49 de CGT, como relevantes para a análise.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguinte pesquisa classifica-se, de acordo com Gil (2019), como explicativa, haja vista seu objetivo de analisar o comportamento climatológico da região de Pirassununga, com ênfase nos fenômenos relacionados com a formação de nevoeiros. Apresenta ainda uma estrutura quali-quantitativa, tendo em conta que a análise será baseada tanto em dados numéricos relacionados às frequências com que ocorrem esses fenômenos e sua distribuição temporal ao longo do anos de 2019 a 2023, como também em conhecimentos já consolidados sobre o assunto que permitam descrever a complexidade desses eventos e como ocorre sua interação com a geografia e com as características locais. Desse modo, busca-se realizar uma análise dos comportamentos climáticos e geográficos da região e da ocorrência de névoas e nevoeiros com base em dados do ICEA a respeito de visibilidade e da ocorrência de nevoeiros ao longo dos meses e dos anos, estabelecendo, desse modo, as relações convenientes entre essas características e possibilitando uma maior compreensão do assunto.

2.1 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Esta seção tem como objetivo descrever os critérios utilizados para a organização dos dados referentes à visibilidade e à CGT. Foram utilizados dados fornecidos pelo ICEA, coletados no aeródromo de Pirassununga, organizados anualmente do período de 2019 a 2023, estando disponíveis os valores de visibilidade e de CGT para cada hora e dia. O horário utilizado é o Horário Padrão Coordenado(UTC), horário mais utilizado em operações aéreas. O aeródromo de Pirassununga está localizado no fuso horário de Brasília(BRT), que corresponde a 3 horas mais cedo que o UTC. Neste artigo será utilizada a nomenclatura Z para referir-se aos horários UTC, e P para referir-se aos horários BRT, de forma a dinamizar a análise. Para os fins deste artigo não foi contabilizado os períodos compreendidos entre às 23:00Z e às 07:00Z, tendo em vista dois fatores. O primeiro desses é a falta de dados entre às 00:00Z e às 07:00Z. O segundo é a falta de relevância desse período para a instrução aérea na AFA, tendo em vista que essa ocorre apenas entre o nascer e o pôr-do-sol, a exceção da fase de voo noturno, cuja duração é consideravelmente menor e ocorre

em paralelo com o restante do curso, sendo desse modo menos impactada pelas condições meteorológicas degradadas analisadas por esta pesquisa.

Os dados foram separados em dois grandes grupos, os dados relativos à visibilidade e os relativos à CGT. As informações relativas a visibilidade foram inicialmente filtradas por seu valor, sendo considerado como “ocorrência de baixa visibilidade” os valores inferiores a 5000 metros, sendo contabilizadas todas as horas em que foram registradas ocorrências de baixa visibilidade, separadas por mês, para a confecção dos gráficos.

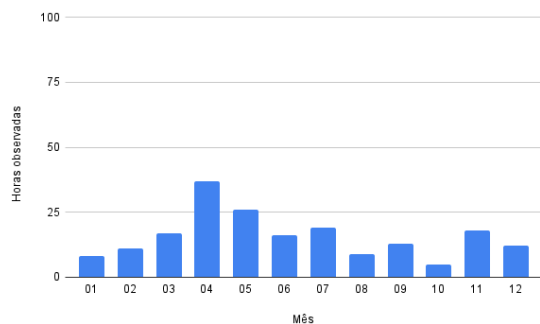
No outro grupo estão os dados relacionados aos dados relativos à CGT. Estes foram inicialmente filtrados por seu valor, sendo considerados como “ocorrência de nevoeiros” os valores de 40 a 49, como já esmiuçado anteriormente. Foram contabilizados, dessa forma, todos os horários em que foram registradas as ocorrências de nevoeiro, separados por mês, para a confecção dos gráficos. Ainda no segundo grupo, separou-se a quantidade de ocorrência de nevoeiros pelo horário em que ocorreram para a confecção de um outro gráfico para análise.

Por fim, para a definição das estações do ano foram consideradas as seguintes datas:

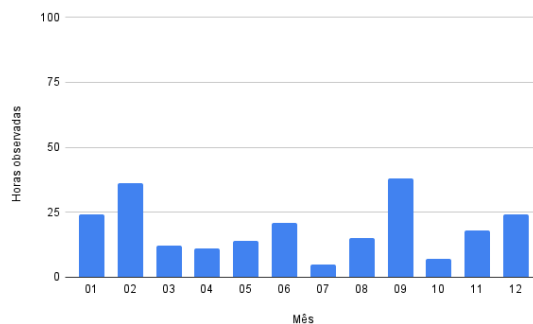
1. Verão: 21 de dezembro a 20 de março;
2. Outono: 21 de março a 20 de junho;
3. Inverno: 21 de junho a 22 de setembro; e
4. Primavera: 23 de setembro a 20 de dezembro.

3 RESULTADOS

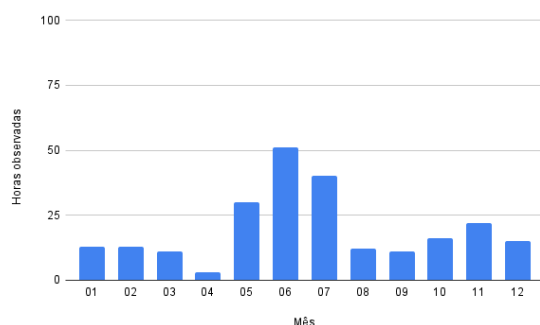
Nesta seção estão apresentados os dados coletados e organizados convenientemente. Inicialmente, no Gráfico 1, os dados de visibilidade de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023 e a média destes (a soma da quantidade de horas em que ocorreram visibilidade baixa nos respectivos meses de todos os anos, dividida pela quantidade de anos contabilizados). Na sequência, uma análise inicial destes dados. O segundo conjunto de gráficos, Gráfico 2, se refere aos dados de CGT, também relativos aos anos de 2019 a 2023 e a respectiva média. É realizada uma primeira análise no segundo conjunto de gráficos e, por fim, uma análise mais abrangente, comparando ambos os conjuntos.

Gráfico 1 Visibilidade degradada (Vis<5000m)

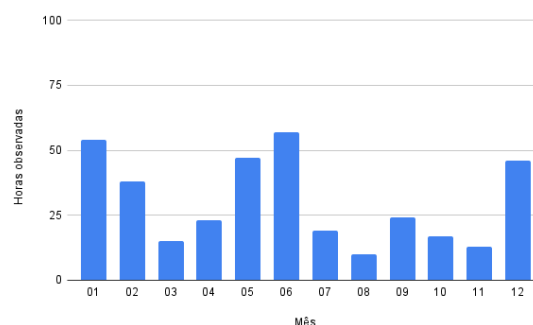
(a) 2019



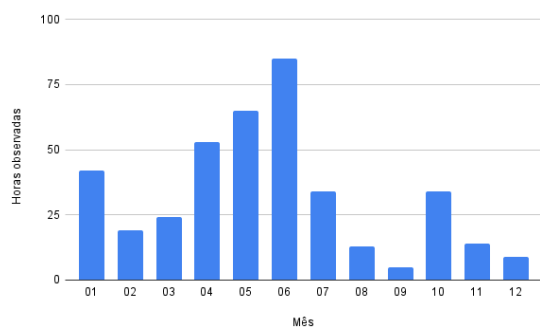
(b) 2020



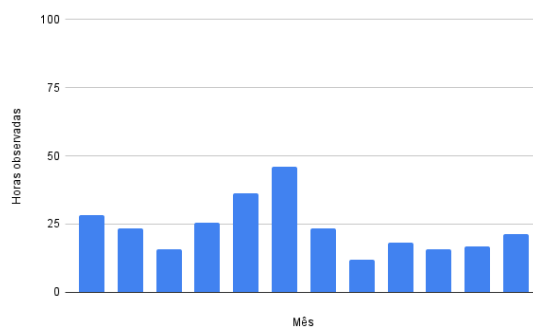
(c) 2021



(d) 2022



(e) 2023



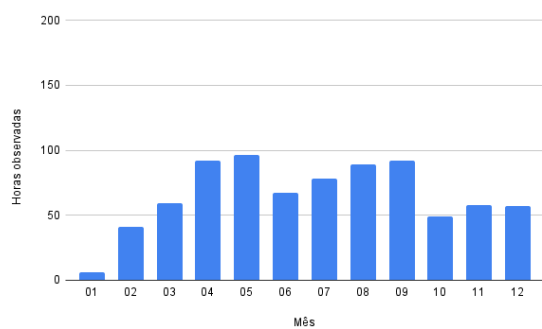
(f) média

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de ICEA).

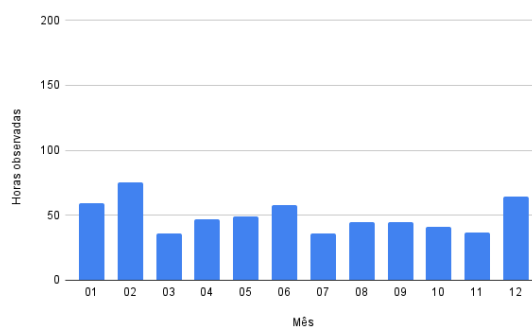
Os gráficos apresentados a respeito da visibilidade apresentam um formato semelhante entre eles. Destaca-se, inicialmente, o fato de que nos últimos três anos o mês com maior ocorrência de visibilidade degradada foi junho, bem como foi o mês com a maior média dos cinco anos analisados. Percebe-se também que as estações que mais se evidenciam são o inverno e o verão, sendo este primeiro o maior destaque. Os meses que menos apresentaram visibilidade baixa foram,

em geral, fevereiro, março e abril, embora em 2019 este comportamento não tenha sido observado. Os fatores que contribuem para esse comportamento serão discutidos posteriormente.

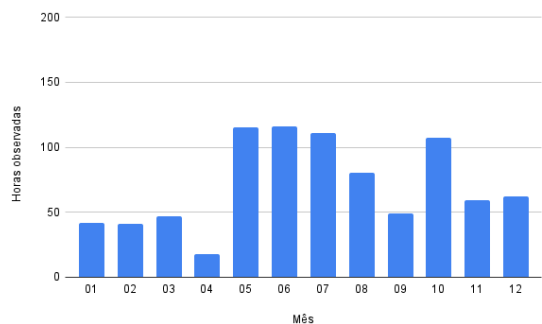
Gráfico 2 CGT ($40 \leq n \leq 49$; ou $n = 10$ ou $n = 28$)



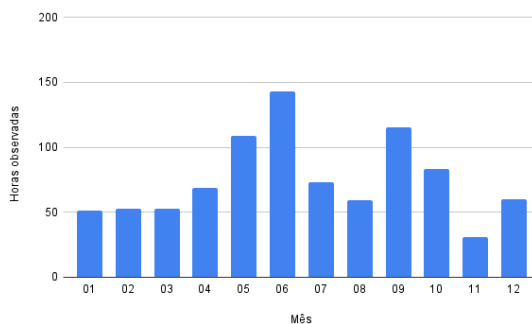
(a) 2019



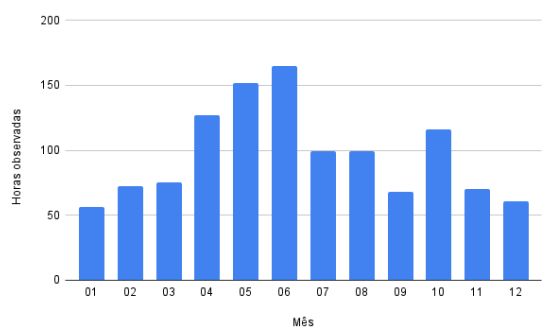
(b) 2020



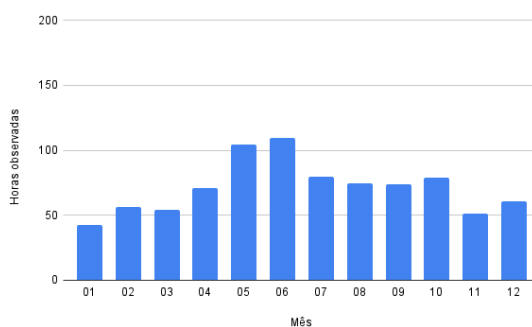
(c) 2021



(d) 2022



(e) 2023



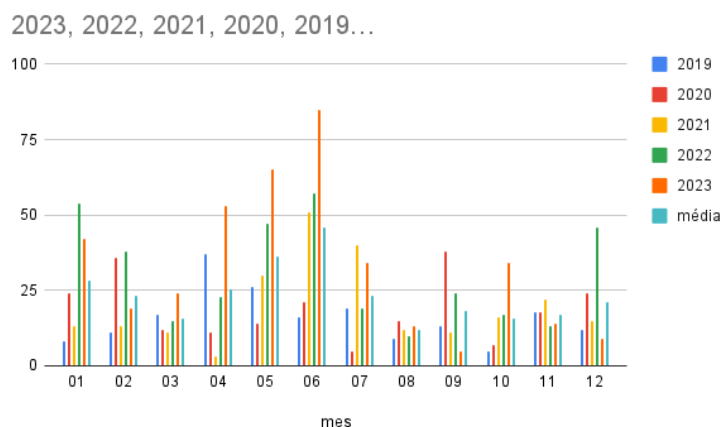
(f) média

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de ICEA).

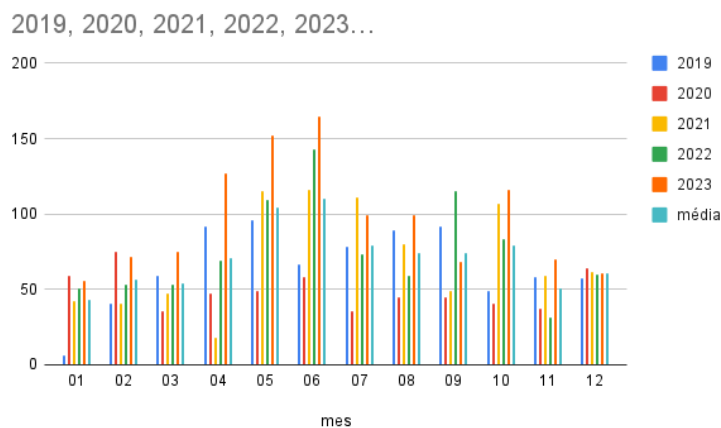
Com relação ao Gráfico 2, percebe-se uma uniformidade maior entre os meses, indicando que os nevoeiros acontecem com uma certa constância ao longo de todo o ano. Entretanto, assim como no Gráfico 1, o mês de junho, principalmente nos últimos três anos, destaca-se com maior número de ocorrências do fenômeno. A estação que apresenta no Gráfico 2 maior ocorrência de nevoeiros, é o inverno, sendo que no restante do ano, a ocorrência do fenômeno tende a ficar mais homogênea.

Seguem os gráficos sintetizados de visibilidade e CGT (Gráfico 3), que possibilitam uma melhor visualização da relação entre as variáveis analisadas, bem como da evolução dos valores dessas variáveis ao longo dos anos de 2019 a 2023.

Gráfico 3 Visibilidade e CGT de todos os anos e média



(a) Visibilidade

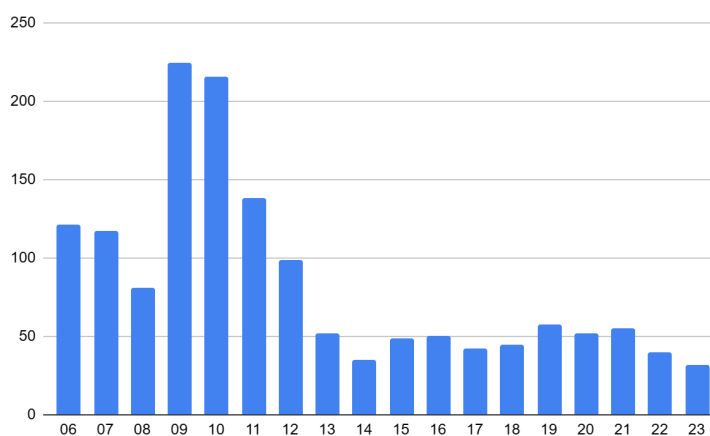


(b) CGT

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de ICEA).

Por último segue o gráfico de ocorrência de visibilidade degradada por hora do dia em que foi reportada. O gráfico foi elaborado com base no horário. Para a elaboração deste último, foi considerado o período compreendido entre às 06:00Z e 23:00Z, tendo em vista que o gráfico objetiva facilitar a visualização dos momentos do dia em que o fenômeno ocorre com mais frequência. Entre às 23:00Z e 06:00Z, não há dados de visibilidade, inviabilizando a análise.

Gráfico 4 Ocorrência de visibilidade degradada por hora do dia



Fonte: Elaboração própria (Adaptado de ICEA).

Observa-se que a maior parte dos reportes ocorrem na parte da manhã, principalmente entre às 09:00Z e 11:00Z (entre 06:00P e 08:00P). De modo a complementar, conforme Date and Time. (s/d), o nascer do sol em Pirassununga ocorre entre 08:15Z, em novembro, e 09:50Z, em julho (05:15P e 06:50P), ocorrendo poucas variações de ano para ano. Depreende-se que grande parte dos nevoeiros se formam próximo ao horário do nascer do sol, e tendem a se dissipar pouco após.

4 DISCUSSÕES

Esta seção tem por objetivo discutir e relacionar os dados obtidos na análise acima com o comportamento já esperado do clima na região, tendo em vista o que já foi exposto anteriormente no referencial teórico. Também serão utilizados alguns dados de Clima: Pirassununga (Climate-Data.org, 2024), de modo a complementar a presente análise com dados de temperatura, amplitude térmica, horas de sol e outros dados relevantes.

Segue a tabela elaborada por Clima: Pirassununga (Climate-Data.org, 2024), referente à Pirassununga, dos anos de 1991 - 2021 [Temperatura mínima (°C), Temperatura máxima (°C), Chuva (mm), Umidade, Dias chuvosos] e 1999 - 2019 [Horas de sol]:

Tabela 4 Tabela de temperatura, chuva, umidade, dias chuvosos e horas de sol médias de Pirassununga

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	23.9	24.2	23.4	22.3	19.6	18.7	18.6	20.3	22.5	23.6	23.1	23.7
Temperatura mínima (°C)	20.2	20.2	19.5	17.9	14.8	13.6	13.2	14.3	16.8	18.5	18.9	19.8
Temperatura máxima (°C)	28.4	28.8	28.1	27.3	24.9	24.5	24.8	27	29	29.4	28.1	28.3
Chuva (mm)	255	178	159	69	56	33	28	28	70	122	177	219
Umidade(%)	77%	76%	77%	72%	69%	68%	63%	54%	55%	62%	72%	77%
Dias chuvosos (d)	16	13	14	7	5	3	3	3	6	10	13	16
Horas de sol (h)	9.0	9.4	8.8	8.8	8.3	8.5	8.9	9.6	9.6	9.6	8.9	8.8

Fonte: Clima: Pirassununga (Climate-Data.org, 2024)

Com base nesses dados, a diferença entre as médias de temperatura máxima e mínima para cada mês são as seguintes: Janeiro - 8,2°C; Fevereiro - 8,6°C; Março - 8,6°C; Abril - 9,4°C; Maio - 9,4°C; Junho - 10,1°C; Julho - 10,9°C; Agosto - 11,6°C; Setembro - 12,7°C; Outubro - 12,2°C; Novembro - 9,2°C; e Dezembro - 8,5°C.

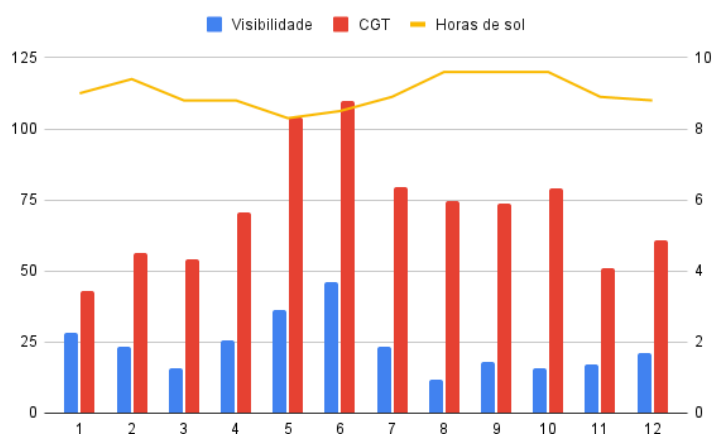
Percebe-se que entre os meses de maio e setembro as temperaturas tendem a ser mais baixas, bem como as amplitudes térmicas também estão relativamente maiores. Tais fatores contribuem para a formação dos nevoeiros de radiação, que se formam devido ao resfriamento do solo por irradiação e o conseqüente resfriamento do ar próximo ao chão, atingindo dessa forma o ponto de orvalho. A ocorrência deste tipo de nevoeiro é mais frequente em noites frias de céu claro (Blair,

1964). O período em questão favorece a formação dos nevoeiros seguindo esta definição. Este comportamento é observado em ambos os Gráficos 1 e 2, sendo mais pronunciado nos gráficos de visibilidade que nos gráficos de CGT.

Outra característica relevante do mesmo período é a diminuição das horas de sol, principalmente dos meses de maio e junho. Conforme Blair (1964), noites longas favorecem a formação de nevoeiros, tendo em vista que há, desse modo, um maior período disponível para o resfriamento do solo e da camada mais baixa da atmosfera. Salienta-se que os meses de junho e maio, apresentam respectivamente a maior e segunda maior média nos dois gráficos apresentados, bem como são também, respectivamente, tem a menor e segunda menor quantidade média de horas de sol por dia. Esta relação fica visível no Gráfico 4, que relaciona as médias dos três dados, visibilidade, CGT e horas de sol diárias.

É válido salientar que os Gráficos 1,2,3 e 4 foram confeccionados com base em dados de 2019 a 2023, enquanto que a Tabela 4 utiliza dados de 1991 a 2021 [Temperatura mínima (°C), Temperatura máxima (°C), Chuva (mm), Umidade, Dias chuvosos] e de 1999 a 2019 [Horas de sol]. Dessa forma, embora seja evidente a relação entre as variáveis, estas revelam apenas uma tendência do comportamento climático.

Gráfico 5 Visibilidade, CGT e horas de sol



Fonte: Elaboração própria (Adaptado de ICEA).

Assim sendo, há uma forte relação entre a média de horas de sol diárias e a ocorrência de nevoeiros e baixa visibilidade.

Outrossim, com base no Gráfico 4, é evidente que a maior parte dos reportes de baixa visibilidade ocorrem pela manhã, entre às 06:00P e 08:00P, próximo ao horário do nascer do sol(05:15P e 06:50P). Tal comportamento é compatível com o que é descrito por Blair (1964) para os nevoeiros de radiação, que se formam, sobretudo, após o resfriamento do solo no período noturno e se dissipa após o nascer do sol com o aumento da temperatura do solo, uma vez que a temperatura do ar ultrapassa a do ponto de orvalho. Dessa forma, este período da manhã torna-se objeto de atenção para a atividade aérea na AFA, que, em geral, também se inicia com o nascer do sol.

5 CONCLUSÕES

Os dados de visibilidade e de Condição Geral do Tempo foram organizados de modo a identificar a ocorrência de nevoeiros e condições degradadas para a operação aérea na AFA, com base nas informações disponíveis e os critérios estabelecidos no MAPRO 2024 para a instrução. Com base nisso foram elaborados gráficos, visando uma melhor visualização de tais dados e uma interpretação mais assertiva.

Os gráficos desenvolvidos retrataram a quantidade de reportes de CGT compatíveis com nevoeiros, visibilidade menor que cinco mil metros e os horários em que ocorreram. Estes possibilitaram uma análise do comportamento climático da região de Pirassununga. Com base nisso, concluiu-se que a estação do ano que apresentou maior quantidade de fenômenos relacionados aos nevoeiros foi o inverno, com especial atenção ao mês de junho, que apresentou a maior média entre os outros meses do ano, nos últimos cinco anos analisados pela pesquisa. Verificou-se também alguns fatores que corroboram com o aumento desses eventos nessa época do ano, sendo os dois mais evidenciados a amplitude térmica média e a quantidade de horas de sol por dia, sendo este último especialmente para esta pesquisa. Por fim, constatou-se que o horário do dia que com maior incidência foi o período matinal (09:00Z às 11:00Z).

Para o contexto da instrução aérea, o período do inverno merece especial atenção, sendo esperado um maior número de abortivas por conta da visibilidade degradada, principalmente pela manhã. Espera-se em geral que estes fenômenos se dissipem ao longo do dia, sendo pouco frequentes as ocasiões em que estes perdurem após as 13:00Z. Estes resultados tornam possível uma melhor organização do esforço aéreo ao longo do ano, de modo a aproveitar melhor os momentos de meteorologia mais favorável para a atividade aérea na AFA.

De maneira geral, este artigo também relaciona-se com a disciplina de Meteorologia, ministrada atualmente no terceiro ano do Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) permitindo um aprofundamento nos conhecimentos desse campo de estudos. Além disso, a pesquisa também fornece uma base para outros estudos na área.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

De modo a complementar o que fora analisado nessa pesquisa, sugere-se para trabalhos futuros que se analisem outros aspectos climáticos e geográficos de Pirassununga que possuam relação com a ocorrência de nevoeiros e redução da visibilidade, bem como a elaboração de estratégias que possibilitem um melhor aproveitamento da meteorologia para aumentar a eficiência nas operações do 1º e 2º EIA.

REFERÊNCIAS

BLAIR, Thomas. A. Meteorologia. Traduzido por Farid Cezar Chede. São Paulo: Ao Livro Técnico, 1964.

BOTTYÁN, Zsolt; ZÉNÓ GYÖNGYÖSI, András; WANTUCH, Ferenc; *et al.* Measuring and modeling of hazardous weather phenomena to aviation using the Hungarian Unmanned Meteorological Aircraft System (HUMAS). **IDŐJÁRÁS Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service**, v. 119, n. 3, p. 307–335, 2015.

BRASIL. Departamento de Ensino da Aeronáutica. Academia da Força Aérea. **Programa de Instrução E Manutenção Operacional (PIMO)**. Pirassununga: AFA, 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. **ICA 105-16 - Códigos Meteorológicos. Boletim do Comando da Aeronáutica**. 2017.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Academia da Força Aérea. **Manual de Procedimentos do 1º EIA**. Pirassununga, 2024.

CLIMA PIRASSUNUNGA: **Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Pirassununga**.

pt.climate-data.org. Disponível em:

<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/pirassununga-26586/>. Acesso em: 10 mar. 2024.

DECEA. Glossário. Disponível em:

<https://www.decea.mil.br/index.cfm?i=utilidades&p=glossario&single=2263>. Acesso em: 10 jun. 2024.

FERNANDES DA SILVA, Josmila; HADDAD RUIZ, Isadora; VITOR, João; *et al.* Revista Brasileira de Geografia Física Zoneamento Geoambiental para o uso sustentável de aquíferos no município de Pirassununga-SP. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 12, p. 1277–1290, 2019.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2019.

KAUFMAN, Yoram J. ; FRASER, Robert S. The Effect of Smoke Particles on Clouds and Climate Forcing. **Science**, v. 277, n. 5332, p. 1636–1639, 1997.

INSTITUTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO - ICEA. pesquisa.icea.decea.mil.br.

Disponível em: <https://pesquisa.icea.decea.mil.br/>. Acesso em: 10 mar. 2024.

STRAPASSON, Alexandre; LUÍS, Carlos; MAVIGNIER; *et al.* **Etanol, meio ambiente e tecnologia Reflexões sobre a experiência brasileira**. [Local de publicação desconhecido]: [Editor desconhecido], 2006.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. *Atmospheric Science: An Introductory Survey*. 2. ed. Cambridge: Academic Press, 2006. v. 92.