UTILIZAÇÃO DO MODELO LOGIT BINOMIAL PARA DETERMINAÇÃO DE PROBABILIDADE DE ATRASO DE VOOS EM AEROPORTOS BRASILEIROS

Wellington Luiz Rocha da Silva Filho, Evandro José da Silva, Marcelo Xavier Guterres, Mauro Caetano , Viviane Adriano Falcão
Aeronautics Institute of Technology (ITA)

*** Corresponding author e-mail address**: wellington.filho@ga.ita.br

PAPER ID: SIT152

ABSTRACT

The meteorological factors and those arising from the increase in passenger's movement are crucial in air traffic operations. These factors can impact in demand and operational capacity of an airport, this leads to a reduction in on-time performance and can lead to additional costs, which can lead to additional costs and losses for operators. For this reason, understanding the factors that cause delays in on-time flights increases management efficiency and reduces the likelihood of disruptions in the airline system. Therefore, this study investigates the impacts of Weather weather and non-weather conditions, associated with peak passenger's movement periods and seasons, on the probability of aircraft arrival delays using the cases of at Palmas/TO International Air Airport (SBPJ), São Paulo/SP International Airport (SBGR), Manaus/AM International Airport (SBEG), Belém/PA International Airport (SBBE), and Recife/PE International Airport (SBRF). For this analysis, a historical series of predicted and actual landing times and meteorological and non-weather data were used and the impact of these variables on the probability of a delayed landing was estimated using a binomial logit model.

Keywords: Air Transport; Climate, Binomial logit, Meteorology; Weather.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de transporte aéreo corresponde tanto ao aeroporto como as operações. Dessa forma, define-se que uma rede transporte aéreo consiste na junção entre os aeroportos, compreendidos como os nós da rede, e as operações e voos dizem respeito as ligações e ramificações desse sistema, atuando na ligação desses aeroportos (JANIC, 2015). Assim, quando fatores inesperados impactam nessas ligações, a rede por completo é prejudicada, visto que alguns problemas não incapazes de serem trados imediatamente, gerando efeito na cadeia como um todo (Santos *et. al*, 2019).

Os problemas de interrupção na rede de transporte aéreo causaram, nos últimos anos, atrasos em pousos e decolagens de aeronaves e tornaram-se um fator predominante em aeroportos mundiais. Dessa forma, o desempenho pontual, é um fator significante na identificação das companhias e aeroportos com melhor desempenho em operações, sendo então importante na análise do transporte aéreo, uma vez que a pontualidade das operações corrobora na escolha do consumidor e consequentemente nos custos e nas receitas das operadoras aeroportuárias (Oliveira *et al*, 2020).

Dita a relevância de tornar as operações aeroportuárias pontuais, os atrasos e cancelamentos de voos são alguns dos problemas primordiais na interrupção das operações da rede de transporte aéreo. Algumas interferências na rede são incapazes de serem determinadas, entretanto, eventos meteorológicos inesperados podem ser um fator crucial no impacto da pontualidade das operações. Entre esses eventos, segundo Santos *et al*. (2019), a oscilação dos índices pluviométricos pode ser considerada como um fator de alto impacto nas operações aeroportuárias.

São diversos os fatores operacionais e estruturais capazes de afetar a pontualidade dos voos, e segundo Chen e Wang (2019) o clima é um dos fatores cruciais nessa análise, visto que os autores analisam o impacto dos fatores meteorológicos nas operações de aviação e ferroviárias para os principais pares de cidades da China e constaram que os efeitos climáticos impactam de forma significativa nos modais.

Dito que os atrasos em voos acarretam vários custos para companhias aéreas, passageiros e sociedade, muitas pesquisas dedicam-se a análise de atrasos em voos e ao desenvolvimento de estratégias que podem ajudar a mitigá-los. Parte desses estudos tem como objetivo verificar os efeitos do clima e suas relações com as operações aeronáuticas, analisando o impacto desses fatores no desempenho das operações. Esse conhecimento pode ser utilizado para prever as consequências do clima, para um melhor a decisão e buscas de melhorias para evitar as ocorrências de atrasos, visto que em um cenário global o tráfego aéreo apresenta um grande crescimento, o que impulsiona a busca pela otimização do sistema.

Nesse contexto, o objetivo do então estudo é verificar como as condições climáticas da superfície do sítio aeroportuário juntamente com fatores não meteorológicos associados as estações do ano e períodos de maiores movimentações de passageiros impactam na probabilidade de atrasos no pouso das aeronaves em cinco aeroportos capitais brasileiros. Para a análise, foi feita a ligação dos dados de pontualidade de voos de uma série histórica em um período de um ano com os dados advindos de relatórios meteorológicos e de forma a ser estimado por meio de um modelo *logit binomial* o impacto das variáveis introduzidas na modelagem sobre a probabilidade de uma chegada em atraso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os fatores meteorológicos são fundamentais para análise atrasos de voos. Por essa razão, muitos estudos analisam as influências desses fatores na pontualidade da chegada e partida de uma aeronave. Segundo Abdel-Aty *et al*. (2007), os atrasos na chegada de voos apresentam uma forte correlação com as condições meteorológicas no aeroporto de origem/destino ou durante sua trajetória de voo. Na Europa, aproximadamente metade de todos os atrasos na aviação regular dos aeroportos são causados devido as adversidades climáticas e, chegando a atingir mais de 95% na Áustria (Steinheimer *et al*., 2019).

De forma geral, Abdelghany *et al*. (2004) demonstraram que aproximadamente 75% dos atrasos no tráfego aéreo ocorrem devido as condições meteorológicas adversas, uma vez que devido as ocorrências na variação climática, a

capacidade do aeroporto passa a ser reduzida, implicando na necessidade de um aumento nas separações de aeronaves de forma a garantir segurança no pouso das aeronaves. Uma vez que a pesquisa apresenta características associadas aos fatores climáticos e os atrasos em aterrissagens de aeronaves, essa torna-se um importante referencial para o presente estudo.

Assim sendo, muitos estudos analisam a influência dessas adversidades nas operações de voo. Entretanto, tais estudos comumente analisam o impacto no atraso de chegada de voos em um único aeroporto (Abdel-Aty *et al*., 2007; Markovic *et al*., 2008; Wesonga, 2012; Santos *et al*., 2018; Steinheimer *et al*., 2019).

O estudo de Abdel-Aty *et al*. (2007), por exemplo, associa variáveis meteorológicas com variáveis não climáticas e apresenta fatores que estão associados as frequências de atrasos de voos domésticos sem escala no Aeroporto Internacional de Orlando (KMCO), Estados Unidos da América, durante os anos de 2002 e 2003, obtendo como resultado que os atrasos nas chegadas estão associados a hora do dia, dia da semana e estação do ano, além de fatores como distância do voo, precipitação e intervalos de tempo programados entre voos sucessivos eram fatores significativos que afetavam a pontualidade de chegada dos voos.

Dita a necessidade de entender como efeitos climáticos impactam o transporte aéreo, Markovic *et al*. (2018) avaliam o impacto do clima na pontualidade de chegadas e partidas de voos no Aeroporto de Frankfurt (EDDF), na Alemanha. Para a avaliação, fez-se utilidade de um modelo de regressão híbrido (linear e logarítmico) através de uma série temporal que utiliza dados anuais do período de 2001 até 2006, incluindo o fluxo de tráfego, o estado do sistema aeroportuário e o clima local como componentes capazes de ocasionar um atraso, demonstrando que, em mais de metade dos modelos estudados, as variáveis climáticas se mostraram estatisticamente significativas nas ocorrências de atrasos na chegada de aeronaves. No estudo, das 13 adversidades de clima identificadas, a visibilidade, velocidade do vento, nível de base das nuvens (altitude mais baixa da parte visível da nuvem) e a neve representam os principais fatores de impactos climáticos na pontualidade de chegada e partidas dos voos.

Analisando também um aeroporto europeu, Steinheimer *et al*. (2019) estudam como caso o Aeroporto Internacional de Viena (LOWW), denominado um dos 20 principais aeroportos em número de atrasos da Europa, e quantificou o impacto do mau tempo no aeroporto através da derivação da avaliação de atrasos no tráfego e custos relacionados a partir de simulações de tempo rápido.

Dito a transcendência de analisar os efeitos climáticos nas regiões dos sítios aeroportuários, Santos *et al*. (2018) tomam como referência o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos (GRU) e estabeleceram uma previsão da relação das taxas de precipitação acumulada com as informações de cancelamentos e atrasos de voos. Os dados pluviométricos coletados foram obtidos do ano de 2011 a 2015. O estudo demonstra, com base nos dados utilizados, que existe um aumento de aproximadamente 14% na quantidade de ocorrências de cancelamentos e atrasos, no período de 2016 a 2020 projetado, advindos das precipitações registradas.

Os problemas de atrasos em pouso associados a fatores climáticos também estão presentes nos aeroportos localizado no continente africano, por essa razão Wesonga *et al*. (2012) analisaram atrasos em solo e espera aérea no Aeroporto Internacional de Entebbe (HUEN) por um período de cinco anos, fazendo utilidade de uma abordagem paramétrica múltipla para determinação da probabilidade de atraso de uma aeronave, incluindo parâmetros meteorológicos em sua análise.

Por outro lado, alguns estudos também se encarregam de analisar uma rede viária de aeroportos (Borsky e Unterberger, 2019; Oliveira *et al*., 2021). Borsky e Unterberger (2019) analisaram um conjunto de dados com 2,14 milhões de partidas dos dez principais aeroportos dos Estados Unidos da América (EUA) no período de janeiro de 2012 até setembro de 2017, concluindo que eventos como precipitação, vento, neve e temperaturas amenas apresentam um impacto significativo nos atrasos de partida. Adicionalmente, observou-se que para eventos adversos como chuva e queda de neve, os atrasos na partida aumentam de 10 a 23 minutos, enquanto o atraso tende a ser entre 1 e 3 minutos para caso de ventos fortes.

De forma resumida, a Tabela 1 a seguir apresenta as variáveis climáticas utilizadas para

determinar a probabilidade de atrasos associadas a efeitos adversos meteorológicos analisas no presente estudo.

Tabela 1 Dados Meteorológicos Estudados na Literatura

Autores	Dados Meteorológicos Estudados
Borsky e Unterberger (2019)	Precipitação (mm), temperatura (ºC) e vento (m/s)
Chen e Wang (2019)	Eventos Climáticos Extremos (Furacões e Tempestades) (dummy)
Koetse e Rietveld (2009)	Alterações climáticas e Eventos Extremos (Inundações e Aumento do nível do mar (cm))
Markovic *et al*. (2008)	Temperatura (ºc), Visibilidade (m), Vento (m/s) e cobertura de neve (cm).
Oliveira *et al*. (2021)	Chuva (mm), Rajada de vento (kt), Visibilidade vertical e teto operacional (m).
Santos *et al*. (2018)	Precipitação (mm)
Autores	Dados meteorológicos estudados
Borsky e Unterberger (2019)	Precipitação (mm), temperatura (ºC) e vento (m/s)
Chen e Wang (2019)	Eventos Climáticos Extremos (Furacões e Tempestades) (dummy)
Koetse e Rietveld (2009)	Alterações climáticas e Eventos Extremos (Inundações e Aumento do nível do mar (cm))

Com o intuito de determinar os efeitos das adversidades climáticas no setor aéreo brasileiro, Oliveira *et al*. (2021) investigaram como os choques climáticas na região de um aeroporto afeta a probabilidade de atrasos nos voos domésticos do sistema de transporte aéreo nacional, concluindo que fatores como visibilidade, precipitação e rajadas de ventos favorecem o atraso de chegada e partida das aeronaves.

Além dos fatores meteorológicos, o estudo de Abdel-Aty *et al*. (2007), que detectou a frequência de padrões de atrasos e identificou os fatores associados as frequências de atraso, constata que o aumento na demanda de transporte aéreo também é um fator causador de atraso nos voos. Por essa razão, conforme apresentado nos estudos supracitados, o fator climático é um possível responsável na causa de atraso nas chegadas das aeronaves, juntamente com fatores associados a maior movimentação de passageiros em determinados períodos do ano (sazonais). Sendo assim, torna-se importante uma análise mais ampla associando a junção desses fatores voltados aos aeroportos brasileiros, visando entender como tais variáveis impactam o setor aéreo.

3. METODOLOGIA

O presente estudo consiste em utilizar o modelo *logit* binário para determinação da probabilidade de atraso na chegada de um voo, levando em consideração fatores meteorológicos e as estações do ano, bem como a temporada de maior demanda por transporte aéreo. Inicialmente foram definidas as variáveis apropriadas para o desenvolvimento do estudo. Para esse estudo, utilizou-se algumas das variáveis mencionadas no referencial teórico.

Com base em efeitos climáticos adversos analisados em estudos anteriores, o então estudo utilizou variáveis meteorológicas já mencionadas na literatura, juntamente com variáveis não climáticas (período de alta temporada, onde se aumenta a demanda por transporte aéreo, e as estações do ano) de forma a entender se combinadas essas podem causar atraso no horário previsto de pouso de uma aeronave em um determinado aeroporto. Assim sendo, para a pesquisa em questão foram definidas as seguintes variáveis de entrada a fim de determinar o impacto delas na probabilidade de atraso na chegada de um voo: visibilidade, velocidade do vento, e temperatura que já foram aplicadas em estudos anteriores, e as variáveis não climáticas estações do ano e alta temporada do ano (meses de férias: janeiro, fevereiro, julho, novembro e dezembro).

Definidas as variáveis, foram levados em consideração os cinco aeroportos localizados nas capitais que apresentaram maiores valores de atraso médio mensal que, consequentemente, resultam nos maiores valores de atraso médio anual, sendo considerados os dados de maio de 2020 até maio de 2021, referentes a cinco aeroportos brasileiros, totalizando 78.055 observações (CGNA, 2019).

Para determinação do atraso médio anual, foram analisados os valores médios de atrasos mensais, considerando que um voo estava em atraso quando seu tempo extrapola em 30 minutos do horário previsto de decolagem, e foi feita uma média aritmética, de forma a porcentagem do atraso médio anual, com base nos dados mensais. Os aeroportos selecionados para o estudo são: Aeroporto Internacional de Palmas/TO (SBPJ), Aeroporto Internacional de São Paulo/SP (SBGR), Aeroporto Internacional de Manaus/AM (SBEG), Aeroporto Internacional de Belém/PA (SBBE) e Aeroporto Internacional de Recife/PE (SBRF). As médias mensais de atrasos em 2019 nesses aeroportos podem ser identificadas na Figura 1, e na Figura 2 estão apresentadas as medias anuais de atrasos dos aeroportos mencionados e suas devidas localizações geográficas.



Figura 1 Localização dos aeroportos de estudo e seus atrasos médios anuais. Fonte: Google Earth, adaptado de CGNA (2019).

Os dados referentes aos históricos horários de pousos e decolagens dos aeroportos estudados, foram coletados no banco de dados TATIC (Total Air Traffic Information Control) do Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA (2019) e são determinantes na definição de pontualidade e atraso de pouso.

No que diz respeito às variáveis relacionadas a meteorologia, essas foram obtidas no inventário de dados meteorológicos fornecidos pela Rede Meteorológica do Comando Aeronáutico (REDEMET, 2019). Neste repositório, foi feita a coleta do histórico de Aviation Routine Weather Reports (METARs) para os aeródromos analisados. O METAR é um relatório meteorológico padrão, que demonstra as condições de tempo e clima atuais a cada hora de um determinado aeroporto. O relatório supracitado fornece informações como temperatura, clima, pressão atmosférica, velocidade do vento e visibilidade (Oliveira *et al*., 2021). Em caso de mudanças climáticas inesperadas, relatórios especiais também são disponibilizados, caso as ocorrências aconteçam em horários que não coincidem com os do METAR (Oliveira *et al*., 2021). Isto posto, as variáveis de caráter meteorológico utilizadas como input na pesquisa foram obtidas por meio do banco de dados fornecido pela REDEMET (2019).

Define-se o período de maior procura por transporte aéreo ao longo do ano no então estudo de alta temporada, sendo esse o período que diz respeito aos meses de férias e verão no Brasil, abrangendo então os meses de janeiro, fevereiro, julho, novembro e dezembro.

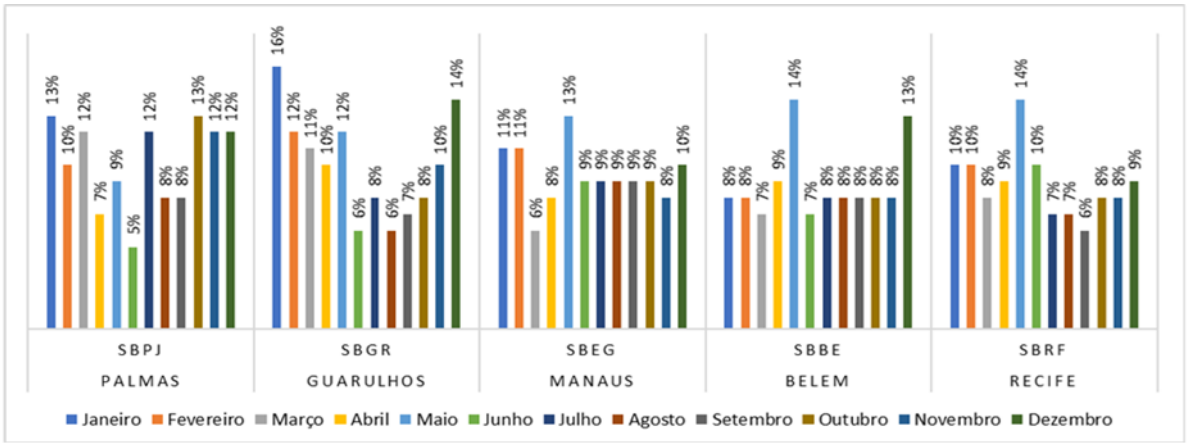


Figura 2 Médias mensais de atraso na aviação comercial em 2019.
Fonte: Adaptado de CGNA (2019).

Com o objetivo de não enviesar a modelagem, e levando em consideração que o Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo do CGNA (2019) define que uma aeronave está com atraso quando o tempo extrapola 30 minutos em sua partida, foi considerado que somente após esse tempo um voo seria registrado com atraso tanto na decolagem quanto no pouso, uma vez que a porcentagem de atraso do relatório fornecido pelo Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea (2019) tomou como base essa análise.

Visando excluir os impactos dos erros de relato observados no banco de dados, foram removidos os voos que apresentassem atrasos superiores a 5 horas, reduzindo assim o espaço amostral da pesquisa.

Isto posto, para determinação da probabilidade de atraso no pouso de um voo associado a uma das variáveis escolhidas no estudo, fez-se utilidade do modelo *logit* binário, visto que somente existe possibilidade ou do voo está atrasado, ou dele está pontual. O *logit* binário foi escolhido também pois é capaz de gerar modelos significativos devido a boa correlação nos testes estatísticos e conter com um conjunto estimado de parâmetros com valores únicos, além de ser o método mais utilizado em estudos de planejamento de sistemas aeroportuários (de Luca, 2012).

Segundo Train (2013), o modelo *logit* segue uma distribuição do tipo Gumbel e esclarece que os valores observados Ɛij (termo aleatório de função) da função utilidade são independentes e distribuídos igualmente. Assim, conforme Oliveira *et al*. (2021), a equação do modelo *logit* para estimar a probabilidade de chegadas atrasadas pode ser representada conforme a equação (1) e a função utilidade do modelo pode ser apresentado conforme a equação (2):

$$p(atraso_{voo}) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta^T x + \beta 0)}} = \frac{e^{(\beta^T x + \beta 0)}}{1 + e^{(\beta^T x + \beta 0)}} \quad (1)$$

$$\beta^T x = \beta 1 visib. + \beta 2 Temperatura + \beta 3 Veloc.Vento + \beta 4 temp. + \beta estação + \varepsilon ij \quad (2)$$

Em que: $\beta^T x$ é a função utilidade do modelo, Visib.é uma variável que apresenta a visibilidade, imprimindo valores numéricos em milhas; Temperatura fornece a temperatura na região do aeroporto em graus celsius; Veloc.Vento diz respeito a velocidade do vento na área em análise, e está apresentada em metros por hora (mph); temp. é uma variável binária que apresenta valor de 1 em caso de alta temporada (janeiro, fevereiro, julho, novembro e dezembro) e 0 para os demais meses do ano; estação refere-se as estações do ano (primavera, verão, outono e inverno), adotando-se valores de 1 para outono, 2 para inverno, 3 para primavera e 4 para verão; β é o coeficiente desconhecido relacionado ao atributo; e εij é o termo aleatório da função.

Definida as variáveis e a metodologia aplicada, para análise dos dados e obtenção das estimativas do modelo, foi feita utilidade do modelo *logit* binomial de forma a se determinar a probabilidade de um determinado voo pousar com atrasado levando em consideração inicialmente as variáveis meteorológicas mencionadas anteriormente, e depois levando em consideração tanto essas variáveis como as não climáticas.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com os resultados do estudo, a Tabela 2 apresenta uma análise descritiva do modelo *logit* binário, considerando apenas as variáveis climáticas. A coluna (1) demonstra as variáveis utilizadas, a coluna (2) apresenta o total de amostras coletadas para cada variável, a coluna (3) dispõe dos coeficientes de aplicação do modelo e a coluna (4) fornece a significância estatística das variáveis, sendo essas mais significantes, quando menor forem seus respectivos p-valor.

Tabela 2 Resultados do modelo estatístico para efeitos meteorológicos.

Variável	Total de Amostras	Coeficientes	P-valor
Const	-	-4,5675	6,79E-262 ***
Visibilidade	78.055	-0,1103	4,66E-08 ***
Temperatura	78.055	0,1026	7,47E-130 ***
Rajada de Vento	78.055	-0,0393	2,13E-14 ***

Nota 1. *p<01; ** p<0,05; ***p<0,01

De acordo com a Tabela 2, nota-se que as variáveis visibilidade e rajada de vento atuam negativamente na pontualidade, visto que essas apresentam sinal negativo no coeficiente, dessa forma, é possível notar que essas variáveis

podem favorecer o atraso de pouso no aeroporto de destino. A variável temperatura, por sua vez apresenta sinal positivo, simbolizando que o aumento da temperatura é favorável a uma chegada pontual.

Ademais essa análise se faz interessante para a questão de visibilidade, dito que se espera que quanto maior a visibilidade, maior a pontualidade na aterrissagem. Entretanto, o fato de o sinal do coeficiente ter apresentado valor negativo para a então análise, pode ser justificado pelo tipo de operação possibilitar as condições de IFR (Instrument Flight Rules) para os aeroportos em estudo.

No tocante à associação das variáveis meteorológicas com as variáveis não climáticas, a Tabela 3, apresenta os resultados estatísticos do modelo levando utilizando também *logit* binomial.

Tabela 3 Resultados do modelo estatístico levando em considerações também variáveis não climáticas

Variável	Total de Amostras	Coeficientes	P-valor
Const	-	-4,1743	3,07E-206 ***
Visibilidade	78.055	-0,1219	1,15E-09 ***
Temperatura	78.055	0,1070	1,17E-140 ***
Velocidade de Vento	78.055	-0,0352	6,85E-12 ***
Temporada (1)	78.055	0,2415	1,19E-07 ***
Estação do Ano	78.055	-0,2252	4,16E-28 ***

Nota 1. *p<01; ** p<0,05; ***p<0,01
(1) Variável binária.

Nota-se, portanto, que as variáveis visibilidade, rajada de vento e estação do ano apresentam sinal negativo na análise, o que define que essas impactam de forma negativa na pontualidade de pouso. No tocante a variável visibilidade, essa pode ser justificada pela questão da operação por instrumentação, conforme mencionado. Em se tratando da variável rajada de vento, espera-se realmente que quanto maior seja seu valor maior também seja a chance de ocorrer um atraso, visto que existem limites de vento de través (cruzado) que uma aeronave pode receber para que seja efetuado o pouso, conforme apresentado na RBAC 154.

Por sua vez, as variáveis temperatura e temporada (meses de maior demanda de transporte aéreo), apresentam sinais positivos, concluindo-se que quanto maior a temperatura, maior a chance de um pouso pontual, e que nos meses de janeiro, fevereiro, julho, novembro e dezembro o pouso pontual também é favorecido, o que se apresenta contrário ao esperado, mas que pode ser justificado pelo fato do aumento na demanda exigir também uma otimização nas operações do aeroporto, tornando o processo de pouso e decolagem mais ágil.

Visto que, o modelo apresentou significância quando levando em consideração também as variáveis não climáticas, esse modelo utilizado para determinação da probabilidade de atraso, uma vez que o objetivo do então estudo é verificar essa chance de ocorrência de atraso associada a combinação dos fatores mencionados. Assim, estimou-se que a probabilidade da ocorrência de atraso, levando em consideração tais variáveis aumenta em 4%, segundo a modelagem utilizada. Dessa forma, pode-se concluir que o então trabalho contribui para a literatura de forma a introduzir que as variáveis meteorológicas combinadas com outras variáveis podem influenciar na probabilidade de atraso no pouso de aeronave em aeroportos brasileiros, o que possibilita as buscas por soluções para resolver o então problema.

Conforme analisado por Abdel-Aty *et al*. (2007), conclui-se que para os aeroportos brasileiros os fatores não climáticos também influenciam na pontualidade de chegada dos voos. Adicionalmente, os fatores meteorológicos que por hora também haviam sido avaliados por Oliveira *et al.* (2021) para o contexto dos aeroportos brasileiros também se mostraram relevantes na análise em estudo. Disso posto, o então estudo contribui para literatura pois engloba em uma mesma modelagem tanto os fatores climáticos como os não climáticos mencionados para os aeroportos que apresentavam maiores médias mensais de atraso no Brasil.

5. CONCLUSÃO

Esse estudo analisou os efeitos das condições climáticas juntamente com fatores não meteorológicos, como estações do ano e alta temporada do ano (meses de férias: janeiro, fevereiro, julho, novembro e dezembro), de forma a definir como esses atributos em conjunto

impactam a probabilidade de atraso de pouso no Aeroporto Internacional de Palmas/TO (SBPJ), Aeroporto Internacional de São Paulo/SP (SBGR), Aeroporto Internacional de Manaus/AM (SBEG), Aeroporto Internacional de Belém/PA (SBBE) e Aeroporto Internacional de Recife/PE (SBRF).

Os aeroportos analisados foram definidos com base no atraso médio mensal disponibilizado pelo Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo do CGNA (2019), de forma que através de uma média aritmética introduziu-se para a análise do então estudo os cinco aeroportos localizados em capitais brasileiras que apresentaram os maiores valores médios de atraso no ano de 2019.

Através do banco de dados TATIC (Total Air Traffic Information Control), disponibilizado pelo DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo obteve-se os históricos dos horários previstos e reais dos voos que pousaram nos aeroportos supracitados no período de maio de 2020 até maio de 2021, totalizando uma amostra de 78.055 observações. Coletadas as informações de pontualidade, juntamente com os dados meteorológicos disponibilizados pela REDEMET e os dados não climáticos estimou-se com base no modelo *logit binomial* as consequências dessas variáveis na pontualidade do pouso das aeronaves nos cinco aeroportos selecionados.

Com base nas análises, conclui-se que os fatores climáticos visibilidade, temperatura e velocidade do vento e os fatores não climáticos intitulados estações do ano e alta temporada do ano aumentam a probabilidade de atraso de pouso das aeronaves em aproximadamente 4%. De forma a complementar a literatura, outros estudos podem considerar o desenvolvimento de uma análise semelhante para atrasos e cancelamentos de voos incluindo efeitos meteorológicos, como, granizo, precipitação e umidade e também aeroportos regionais, de forma a ampliar a análise de probabilidade de atraso levando em consideração novos fatores climáticos, e entender o comportamento de tais fatores para os aeroporto que não estão localizados nas capitais brasileiras.

References

Abdal-Aty, M., Lee, C., Bai,Y., Li, X., & Michalak, M. (2007). Detecting periodic patterns of arrival delay. Journal of Air Transport Management, 13(6), 355–361.doi: https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2007.06.002

Abdelghany, K. F., S. Shah, S., Raina, S., & Abdelghany, A. F (2004). A model for projecting flight delays during irregular operation conditions. *Journal of Transport Management, 10(6), 385-394.* doi: https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2004.06.008

Borsky, S., & Unterberger, C. (2018). J Bad weather and flight delays: The impact of sudden and slow onset weather events. *Economics of Transportation, v.18, 10–26.*doi: 10.13140/RG.2.2.19778.02246

CGNA (2019). Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea. Disponível em: <http://portal.cgna.gov.br/files/uploads/anuario_estatistico/anuario_estatistico_2019.pdf >, acesso em: abril de 2021.

Chen, Z., Wang, Y., (2019). Impacts of severe weather events on high-speed rail and aviation delays. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, v.69, 168–183.*. doi: https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.030.

Gretl (2019). GNU Regression, econometric and time-series library (Gretl), Cottrell, A., Lucchetti, R. Software disponível em: http://gretl.sourceforge.net/ , acesso em: abril de 2021.

De Luca, S. (2012). Modelling airport choice behaviour for direct flights, connecting flights and different travel plans. *Journal of Transport Geography, v.22, 148–163.*. doi: https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.12.006

Koetse, M. J., Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather

on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, v.14, pp 205-221.*. doi: https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.004

Markovic, D., Hauf, T., Rohner, P., Spehr, U., (2008). A statistical study of the weather impact on punctuality at Frankfurt Airport. *Meterological Applications, v.15, pp. 293-303...* doi: https://doi.org/10.1002/met.74

Oliveira, M., Eufrásio, A. B. R., Guterres, M. X., Murça, M. C. R., Gomes, R. A, (2021). Analysis of airport weather impact on on-time performance of arrival flights for the Brazilian domestic air transportation system. *Journal of the Transportation Research Board, v.91, 101974.*. doi: https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101974

Santos, T. A., Vendrame, I., Alves, C. J. P, Caetano, M., (2018). Modelo de identificação do impacto futuro de chuvas extremas nos atrasos/cancelamentos de voos. *Transportes, v.26, 2237-1346*. doi: https://doi.org/10.1002/met.74

Steinheimer, M., Kern, C., Kerschbaum, M., (2019). Quantification of weather impact on arrival management. *Thirteenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar.*

Train, K. E., (2003). Discrete choice methods with simulation. *Cambridge University Press.*

Wesonga, R., Nabugoomu, F., & Jehopio, P. (2012). Parameterized framework for the analysis of probabilities of aircraft delay at an airport. *Modelling transport*, (4 ed.). New, Jersey, USA: John Wiley & Sons.

Robinson, S. (2017). A Tutorial on Simulation Conceptual Modeling. *Journal of Air Transport Management, 23, 1–4.* doi: https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2012.02.001

.