



UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AEROESPACIAIS

BRUNO GARCIA **FRANCISCONE** – 1º Ten Esp CTA

**O efeito *Jamiton* no fluxo de tráfego aéreo de aproximação para o
aeroporto de Guarulhos: suas causas prováveis e possíveis meios de
mitigação**

Rio de Janeiro
2020

UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AEROESPACIAIS

BRUNO GARCIA **FRANCISCONE** – 1º Ten QOE CTA

**O efeito *jámiton* no fluxo de tráfego aéreo de aproximação para o
aeroporto de Guarulhos: suas causas prováveis e possíveis meios de
mitigação**

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado do Programa de Pós-
graduação em Ciências Aeroespaciais
da Universidade da Força Aérea.
Linha de Pesquisa: Poder Aeroespacial
Brasileiro, Segurança e Defesa.
Orientador: Prof. Dr. Brig. Pedro Arthur
Linhares Lima

Rio de Janeiro
2020

Franciscone, Bruno Garcia

F819

O efeito Jamiton no fluxo de tráfego aéreo de aproximação para o aeroporto de Guarulhos: suas causas prováveis e possíveis meios de mitigação / Bruno Garcia Franciscone. – Rio de Janeiro: Universidade da Força Aérea, 2020.

145 p.: il., enc.

Orientadora: Pedro Arthur Linhares Lima.

Dissertação (mestrado) – Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2020.

Referências: p. 112-117

1. Gerenciamento de Tráfego Aéreo. 2. Fluxo de Tráfego Aéreo. 3. Aviação. 4. Efeito Jamiton I. Título. II. Lima, Pedro Arthur Linhares. III. Universidade da Força Aérea.

CDU: 351.814.332(815.6)



UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AEROESPACIAIS

BRUNO GARCIA FRANCISCONE

**O EFEITO JAMITON NO FLUXO DE TRÁFEGO AÉREO DE APROXIMAÇÃO PARA O
AEROPORTO DE GUARULHOS: SUAS CAUSAS E POSSÍVEIS MEIOS DE
MITIGAÇÃO,**

Dissertação aprovada pelos membros da Banca Examinadora, no dia 17 de dezembro de 2020,
como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Aeroespaciais pela Universidade
da Força Aérea.

Rio de Janeiro, 17 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. PEDRO ARTHUR LINHARES LIMA – UNIFA
Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. GILLS VILAR LOPES – UNIFA

Nº imp?

Prof. Dr. FLAVIO NERI HADMANN JASPER – UNIFA

Nº imp?

Prof. Dr. CARLOS CESAR DE CASTRO DEONÍSIO – UNIFA

Nº imp?

Prof. Dr. OSVALDO ALBUQUERQUE FONSECA – ESG

Minha esposa, que com muita paciência e amor, deu-me forças para prosseguir no transformador e desafiador caminho da Pós-graduação e me fez acreditar que era possível percorrê-lo com êxito, mesmo nos momentos nos quais alguns obstáculos pareciam intransponíveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, pela enorme atenção dispensada a esta pesquisa e às inúmeras sugestões de aprimoramentos e abordagens que fizeram com que o trabalho evoluísse da maneira apropriada. Agradeço também a todo o corpo docente e demais profissionais da UNIFA, por todo suporte e apoio durante todo o curso. Por fim, agradeço aos meus amigos e familiares que me apoiaram e compreenderam minhas ausências.

“A atmosfera é nosso oceano, e temos portos em toda a parte” Santos Dumont

RESUMO

O fortalecimento da Aviação Civil e um sistema de transporte aéreo eficiente são essenciais para o Poder Aeroespacial e para o desenvolvimento da economia de um país. Quando ocorrem ineficiências em um sistema de transporte aéreo, tais como reduções e/ou interrupções nos fluxos de tráfego aéreo, devido a causas conhecidas, pode-se atuar de modo a resolvê-las. Entretanto, muitas vezes, as causas que geram essas ineficiências são desconhecidas. Um efeito comum nos estudos de tráfego rodoviário é o *jamiton*, no qual ocorrem congestionamentos sem uma causa aparente, como interdições de faixas de pistas, acidentes, dentre outras. Esse efeito advém do comportamento dos motoristas em ajustar suas velocidades às situações do momento. Observou-se que ele também ocorre no tráfego aéreo. Nesse sentido, esse estudo buscou compreender as causas que geram o efeito *jamiton* nos fluxos de tráfego aéreo. Baseou-se em pesquisa desenvolvida nos anos de 2019 e 2020, dos fluxos de aproximação para o aeroporto de Guarulhos, localizado na Terminal São Paulo, a mais movimentada da América Latina. A pesquisa, portanto, caracterizou-se como estudo de caso. Obtiveram-se dados de três fontes: de um simulador denominado TAAM, no qual se simularam fluxos de aproximação para o aeroporto de Guarulhos em um dia de grande demanda, de relatórios de operações diárias do Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea, onde estão registrados os atrasos e as medidas de gerenciamento de fluxo adotadas para o aeroporto de Guarulhos e de questionários eletrônicos aplicados a pilotos e a controladores de tráfego aéreo que atuam na Terminal São Paulo, nas aproximações para o aeroporto de Guarulhos. A metodologia utilizada permitiu compreender algumas das causas que geram interrupções de fluxo sem motivo aparente. Destacam-se problemas relacionados a aspectos técnicos, humanos e operacionais. Dentre os problemas relacionados a esses aspectos, evidenciou-se que a ausência de ferramentas de automação e auxílio a decisão e a falta de técnicas de separação e gestão de velocidades gera, em momentos de maior demanda, um comportamento excessivamente restritivo nos controladores de tráfego aéreo, que passam a priorizar segurança à eficiência. Além disso, a falsa percepção tanto de pilotos quanto de controladores de tráfego aéreo de que a manutenção de altas velocidades pelas aeronaves contribuem para a redução de atrasos, pode gerar ainda mais interrupções de fluxo, devido a reduções bruscas próximas ao aeroporto e a geração de ondas de congestionamento ao longo das rotas de chegada em momentos de maior demanda. Propôs-se, ao final dos estudos, um manual com técnicas para sequenciamento de aeronaves e gestão de velocidades, de modo a orientar os controladores de tráfego aéreo a atuar de maneira mais eficiente para se evitar a ocorrência do efeito *jamiton*.

Palavras-chave: Gerenciamento de Tráfego Aéreo, Fluxo de Tráfego Aéreo, Aviação, Efeito *Jamiton*.

ABSTRACT

The strengthening of Civil Aviation and an efficient air transportation system are essential for the Aerospace Power and for the development of a country's economy. When inefficiencies in an air transport system occur, such as reductions and / or interruptions in air traffic flows due to known causes, action can be taken to resolve them. However, the causes of these inefficiencies are often unknown. A common effect in road traffic studies is jamiton, in which congestion occurs without an apparent cause, such as lane closures, accidents, among others. This effect comes from the behavior of drivers in adjusting their speed to the situations of the moment. It was observed that it also occurs in air traffic. In this sense, this study sought to understand the causes that generate the jamiton effect in air traffic flows. It was based on research developed in the years 2019 and 2020, on the approach flows to Guarulhos airport, located at Terminal São Paulo, the busiest in Latin America. The research, therefore, was characterized as a case study. Data were obtained from three sources: from a simulator called TAAM, which simulated approach flows to Guarulhos airport on a day of high demand, reports of daily operations from the Air Navigation Management Center, where delays and flow management measures adopted for Guarulhos airport are recorded and electronic questionnaires applied to pilots and air traffic controllers that operate in the Terminal São Paulo, on the approaches to Guarulhos airport. The methodology used made it possible to understand some of the causes that generate flow interruptions for no apparent reason. Problems related to technical, human and operational aspects stand out. Among the problems related to these aspects, it was evidenced that the absence of automation tools and decision aid and the lack of speed separation and management techniques generate, in moments of greater demand, an excessively restrictive behavior in air traffic controllers, that prioritize safety over efficiency. In addition, the false perception by both pilots and air traffic controllers that maintaining high speeds by aircraft contributes to the reduction of delays, can generate even more interruptions in flow, due to sharp reductions near the airport and the generation of congestion waves along arrival routes, when demand increases. A manual with techniques for aircraft sequencing and speed management was proposed at the end of the studies, in order to guide air traffic controllers to act more efficiently to avoid the occurrence of the jamiton effect.

Keywords: Air Traffic Management, Air Traffic Flow, Aviation, Jamiton Effect.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ranking de Aeródromos (2018)	19
Figura 2 - Linha do tempo da evolução das atividades de Controle e Gerenciamento de Tráfego Aéreo.....	30
Figura 3 - Rota Convencional x Rota RNAV.....	37
Figura 4 - Especificações de Navegação requeridas para cada fase do voo	39
Figura 5 – Trecho de carta de área ilustrando a terminal São Paulo.....	40
Figura 6 - Perfil de um voo com pontos de controle.....	59
Figura 7 – Point Merge.....	68
Figura 8 - Fluxo X Densidade ⇔ Velocidade X Densidade.....	71
Figura 9 - Fluxo X Densidade.....	72
Figura 10- Diagrama Triangular Fundamental.....	72
Figura 11- Soluções previstas pelo modelo Payne-Whitham.....	74
Figura 12- Taxa de Fluxo do Departamento de Transporte de Minnesota.....	74
Figura 13 – Taxa de Fluxo da CET – Cidade de São Paulo – 2009.....	75
Figura 14– Taxa de Fluxo da CET – Cidade de São Paulo – 2010.....	75
Figura 15 – Gráfico do Efeito ISA +15.....	76
Figura 16 - Círculo Vicioso.....	78
Figura 17 - Configuração do Espaço Aéreo da Terminal de Guangzhou.....	83
Figura 18 – Dados das trajetórias de chegada (laranja) e saída (verde) na Terminal Guangzhou.....	84
Figura 19 – Relação entre fluxo médio equivalente e densidade média equivalente.....	85
Figura 20 – Relação entre fluxo médio equivalente e densidade média equivalente.....	86
Figura 21 – STAR RNAV MOXEP 1A e SIMEX 1A (PISTAS09L 09R).....	88
Figura 22 – STAR RNAV ILSOR 1B (PISTA 09L 09R).....	89
Figura 23 – Vista em Planta IAP ILS T (PISTA 09R).....	89
Figura 24 – Espaço Aéreo da Terminal São Paulo com as STAR utilizadas nas simulações	91
Figura 25 – Parâmetros do padrão <i>Base of Aircraft Data</i>	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características e capacidades ATC dos setores em que se inserem as STAR que servem ao aeroporto internacional de Guarulhos.....	46
Tabela 2 - Mínimos de Separação de Esteira de Turbulência.....	50
Tabela 3 – Mínimos de Separação de Esteira de Turbulência com Airbus 380-800.....	50
Tabela 4 – Mínimos de Separação de Esteira de Turbulência de acordo com a recategorização proposta pela OACI.....	50
Tabela 5 – Movimentos Nacionais e Internacionais por Região para o aeroporto de Guarulhos	91
Tabela 6 – Outputs obtidos nas simulações em tempo acelerado no TAAM.....	93
Tabela 7 – Dados de operações reais extraídos dos relatórios diários do CGNA.....	95
Tabela 8 – Total de movimentos por mês nos anos de 2018 e 2019.....	96

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACC-CW – Centro de Controle de Área de Curitiba
ACC-BS – Centro de Controle de Área de Brasília
AMAN – Sequenciador de Chegadas
AOM – Gerenciamento do Espaço Aéreo
APP-SP – Controle de Aproximação de São Paulo
ASBU – Blocos de *Upgrade* do Sistema de Aviação
ATC – Controle de Tráfego Aéreo
ATCO – Controlador de Tráfego Aéreo
ATFM – Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo
ATM – Gerenciamento de Tráfego Aéreo
CAG – Circulação Aérea Geral
CGNA – Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea
CACI – Convenção de Aviação Civil Internacional
CASA – Alocação de *Slot* com Auxílio de Computadores
CINA – Comissão Internacional de Navegação Aérea
CNS/ATM – Comunicação Navegação Vigilância/Gerenciamento de Tráfego Aéreo
COM – Circulação Operacional Militar
COMAE – Comando de Operações Aeroespaciais
ETA – Hora Estimada de Chegada
ETO – Hora Estimada de Sobrevoos
FANS – Sistemas de Navegação Aérea do Futuro
FL – Nível de Voo
FPFS – Primeiro a Chegar, Primeiro a Ser Atendido
FUA – Uso Flexível do Espaço Aéreo
GANP – Plano Global de Navegação Aérea
GPS – Sistema de Posicionamento Global por Satélite
IAP – Procedimento de Aproximação por Instrumentos
ICEA – Instituto de Controle do Espaço Aéreo
IFR – Regra de Voo por Instrumentos
ILS – Sistema de Pouso por Instrumentos

NDB – Radiofarol Não Direcional

NM – Milha Náutica

NOTAM – Aviso aos Aero Navegantes

PANS – Procedimentos para os Serviços de Navegação Aérea

PBN – Navegação Baseada em Performance

RNAV – Navegação de Área

RNP – Performance de Navegação Requerida

RTA – Tempo de Chegada Requerido

SAM – América do Sul

SARP – Padrões e Práticas Recomendadas

SBGR – Aeroporto Internacional de Guarulhos

SBKP – Aeroporto Internacional de Campinas

SBMT – Aeroporto Campo de Marte

SBXP – Terminal São Paulo

SID – Saída Padrão por Instrumentos

SLOT – Horário Definido

STAR – Rota de Chegada Padrão em Terminal

SUPP - Suplementos

TAAM – Modelador Total de Espaços Aéreos e Aeroportos

TBO – Operações Baseadas em Trajetórias

VHF – Frequências Muito Altas

VOR – Radiofarol Onidirecional em VHF

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2	SURGIMENTO DAS ATIVIDADES DE CONTROLE DE TRÁFEGO E DE GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO AÉREO E PRINCIPAIS FATORES QUE A INFLUENCIAM.....	24
2.1	Surgimento e desenvolvimento da atividade de controle de tráfego aéreo e de gerenciamento de tráfego aéreo no Brasil e no mundo	24
2.2	Influência dos fatores humanos e da automação na atividade de controle de tráfego aéreo	52
3	O CONCEITO DE SINCRONIZAÇÃO DE TRÁFEGO	57
4	CRIAÇÃO DO PLANO GLOBAL DE NAVEGAÇÃO AÉREA E IMPLEMENTAÇÕES DO AMAN	61
5	MODELOS DE FLUXO DE TRÁFEGO AÉREO E ESTUDOS DE CASO	69
5.1	Modelos para estudos de fluxo de tráfego aéreo	69
5.2	Estudo de caso no aeroporto de Tóquio.....	81
5.3	Estudo de caso no espaço aéreo terminal de Gungzhou	82
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
6.1	Dados de simulação em tempo acelerado e discussão.....	87
6.2	Dados de atrasos para o aeroporto de Guarulhos e discussão ...	94
6.3	Dados dos questionários endereçados aos controladores de tráfego aéreo e aos pilotos e discussão	97
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
	REFERÊNCIAS.....	112
	GLOSSÁRIO.....	118
	APÊNDICE A- Manual de Técnicas de Separação por Tempo entre Aeronaves	126
	APÊNDICE B – Questionário Aplicado aos Controladores de Tráfego Aéreo	131
	APÊNDICE C – Dados Obtidos Pelos Questionários Aplicados aos ATCO ..	134
	APÊNDICE D – Questionário Aplicado aos Pilotos de Empresas Aéreas	138
	APÊNDICE E – Dados Obtidos Pelos Questionários Aplicados aos Pilotos.	141
	ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Capacitação Física do Exército.....	144

EFEITO JAMITON NO FLUXO DE TRÁFEGO AÉREO DE
APROXIMAÇÃO PARA O AEROPORTO DE GUARULHOS: SUAS
CAUSAS PROVÁVEIS E POSSÍVEIS MEIOS DE MITIGAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da Aviação Civil é essencial para que uma nação fortaleça seu poder aéreo, de modo a garantir a soberania de seu espaço aéreo. (DOUHET, 1988). A Aviação Civil é um dos componentes que definem o Poder Aeroespacial. Constitui-se basicamente das empresas de transporte de passageiros e cargas, de instituições de ensino para formação de pilotos, mecânicos, controladores de tráfego aéreo e demais membros das tripulações e por fim, das próprias aeronaves. Representa, portanto, uma força de reserva que em um cenário de guerra, pode ser mobilizada prontamente (ALMEIDA, 2006).

Além disso, o desenvolvimento da Aviação Civil é primordial para a economia por facilitar o comércio mundial, impulsionar o turismo, tornar a cadeia de suprimentos muito mais eficiente, além de gerar os *denominados spillover effects*, que estão relacionados às vantagens locais para regiões metropolitanas, onde há a disponibilidade de serviços aéreos eficientes. Dentre essas vantagens, têm-se a elevação do nível de empregabilidade regional (ZHANG e GRAHAM, 2020).

A Política Nacional de Aviação Civil (PNAC), que norteia o desenvolvimento da Aviação Civil no Brasil, é uma política pública que resulta de uma demanda por serviços de transporte. Essa demanda é considerada uma demanda recorrente, pois advém de um problema ainda não resolvido, relacionado à disponibilidade de uma infraestrutura aeroportuária e aeronáutica adequada para o aumento da oferta de serviços de transporte aéreo. Como toda política pública, representa um “[...] conjunto de decisões e ações relativas à alocação imperativa de valores [...]” (RUA, 1997, p.1).

As decisões tomadas a partir das políticas públicas requerem ações estratégicas para sua implementação, a partir dos objetivos estabelecidos por ela. Com relação ao Gerenciamento do Tráfego Aéreo, área de interesse deste trabalho, a PNAC elenca alguns objetivos que podem ser atingidos a partir de seu aprimoramento, por meio de ações estratégicas. Esses objetivos são:

prestação do serviço adequado, meio ambiente, desenvolvimento da aviação civil e eficiência das operações da aviação civil (BRASIL, 2009).

Com relação ao objetivo “prestação do serviço adequado”, há ações estratégicas para que o Gerenciamento de Tráfego Aéreo se pautar pela segurança, eficiência, continuidade, regularidade e pontualidade, com apoio de novas tecnologias. Com relação ao objetivo “meio ambiente”, há ações estratégicas para estimular a redução dos níveis de ruído de motores e emissões de gases poluentes e para aprimorar os procedimentos de navegação aérea em rota e em área terminal, para que haja redução do impacto de ruído e emissões de gases de motores de aeronaves (BRASIL, 2009).

Quanto ao objetivo “desenvolvimento da aviação civil”, consta a ação estratégica de capacitação adequada dos recursos humanos necessários ao Sistema de Controle do Espaço Aéreo. Por fim, as ações estratégicas relacionadas ao objetivo “eficiência das operações da aviação civil”, consistem em introduzir novas tecnologias, métodos e processos de gerenciamento de tráfego aéreo que produzam ganho de eficiência sem comprometimento da segurança (BRASIL, 2009).

Os objetivos estratégicos supramencionados, relacionados ao Gerenciamento de Tráfego Aéreo e contidos no PNAC, mencionam, em sua maioria, os termos tecnologia, eficiência e segurança. Para que se garanta a eficiência do transporte aéreo, um dos fatores essenciais é a prestação de uma adequada atividade de gerenciamento de tráfego aéreo. Essa atividade consiste em profissionais qualificados e dedicados 24 horas por dia, que se utilizam de recursos tecnológicos e normativos para manterem as aeronaves em um fluxo rápido, ordenado, contínuo e seguro, ao disporem da máxima capacidade do espaço aéreo e dos aeroportos.

O Brasil é um dos poucos países que domina os conhecimentos e tecnologias empregadas no gerenciamento de tráfego aéreo e, devido a isso, faz parte de um seleto grupo de países. As consoles de controle dos diversos órgãos que prestam o gerenciamento de tráfego aéreo no Brasil possuem sistemas avançados que auxiliam os controladores de tráfego aéreo a prestarem um eficiente serviço de gerenciamento de tráfego aéreo (SIEWERDT, 2008).

O sistema de controle do espaço aéreo brasileiro é um sistema único no mundo, em que se integra defesa aérea e controle de tráfego aéreo. Ele minimiza

os custos pelo compartilhamento de meios de detecção, de telecomunicações e tratamento de dados e de recursos materiais, técnicos, operacionais e administrativos. Esse modelo apresenta diversas vantagens conforme será descrito ao longo deste trabalho. A qualidade desse modelo é atestada pelo fato do Brasil ser o único país em desenvolvimento que é considerado potência aeronáutica pela OACI e que participa de seu Conselho de Direção, composto por apenas 36 países (SILVA, 1990).

Muitas vezes, mesmo com sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo eficientes, reduções e até mesmo interrupções no fluxo das aeronaves ocorrem, geram ineficiências e podem estar associadas a diversos fatores, tais como: condições meteorológicas adversas, sistemas de pistas impraticáveis, ou seja, pistas que por algum motivo não podem ser utilizadas por um determinado período de tempo para pouso ou decolagem das aeronaves, saturação da capacidade do espaço aéreo ou dos aeroportos, dentre outros. Porém, por vezes, os motivos associados às reduções e interrupções no fluxo não são tão evidentes e necessitam ser estudados detalhadamente para que se determinem suas causas.

Há diversas causas para as reduções e interrupções no fluxo de tráfego que culminam na ocorrência do denominado efeito *jamiton*. Para o caso do tráfego rodoviário, onde esse efeito foi primeiramente identificado, observou-se que diversos fatores que ocorrem no cotidiano das rodovias levam à interrupção do fluxo, mas passam despercebidos aos olhos dos motoristas por estarem inseridos dentro dela. Apenas alguém fora das rodovias, por exemplo, um piloto de helicóptero pairando sobre elas e observando o fluxo de carros, é capaz de notar esse efeito. Como exemplo da ocorrência do efeito *jamiton*, pode-se mencionar interrupções intermitentes no fluxo de uma rodovia, quando não há nenhuma causa evidente, como, por exemplo, um acidente que possa deixar impraticável alguma faixa de tráfego.

O efeito *jamiton* está associado ao comportamento dos motoristas, em especial, quanto à gestão de velocidade dos veículos, bem como de que forma reagem durante as acelerações e frenagens. De acordo com o número de carros trafegando por uma rodovia, existe uma velocidade ideal que maximiza o fluxo. Essa velocidade, por vezes, é baixa e contradiz o senso comum que induz ao pensamento de que quanto mais veloz um veículo, em quaisquer condições,

mais rápido se chegará ao destino. Muitas vezes, quando um veículo está a uma velocidade muito acima da ideal e precisa frear bruscamente, há um “efeito dominó” que gera uma espécie de onda de congestionamento. Essa onda se propaga na direção oposta ao do fluxo de tráfego de uma rodovia, e faz com que os carros tenham que parar por completo, interrompendo por alguns instantes o fluxo.

Em analogia, após algumas adaptações, é possível, conforme será demonstrado, empregar o mesmo modelo utilizado para análise de fluxos de tráfego rodoviário ao tráfego aéreo, de modo que a ocorrência do efeito *jamiton* também é esperada. Do mesmo modo que em uma rodovia, dependendo da densidade de aeronaves voando em uma aerovia, há uma velocidade ideal que maximiza o fluxo. Caso as aeronaves empreguem velocidades acima ou abaixo da velocidade ideal, há a possibilidade da ocorrência de interrupções no fluxo e com isso, as aeronaves acabarão por serem “vetoradas”, ou seja, terão seus rumos alterados, saindo das rotas previstas para que espaço adicional entre elas seja alocado. Além disso, as aeronaves poderão ter que fazer esperas em voo e voar em circuitos fechados, uma vez que não podem parar no ar. Isso ocasiona impactos ambientais, devido ao acréscimo de emissão de gases poluentes e dos níveis de ruído, em especial, para aeronaves em baixas altitudes, o que contraria os objetivos do PNAC relacionado ao meio ambiente. Pilotos e controladores de tráfego aéreo podem não entender o porquê da interrupção no fluxo, em especial, quando não há causas aparentes para ela.

O cenário utilizado neste estudo foi o da Terminal São Paulo. Uma terminal consiste de um espaço aéreo provido de serviços de tráfego aéreo, onde há um ou mais aeroportos e que “abriga” seu(s) procedimentos de chegada e saída de modo a que se permita um fluxo rápido, ordenado e seguro das aeronaves subindo após a decolagem e se aproximando para o pouso.

A Terminal São Paulo é controlada pelo Controle de Aproximação de São Paulo (APP-SP). Ela é a mais movimentada do país. Segundo o Ranking de Aeródromos de 2018, do Anuário Estatístico do Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea (CGNA) (Figura 1), o APP-SP é responsável por controlar as aeronaves saindo e chegando de vários aeroportos, destacando-se dentre eles, os aeroportos de Guarulhos (SBGR), Congonhas (SBSP), Campinas (SBKP) e Campo de Marte (SBMT), respectivamente primeiro, segundo, sexto e nono

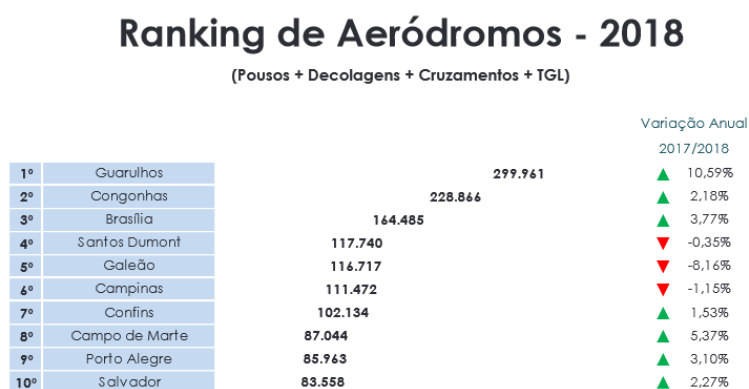
aeroportos mais movimentados do Brasil, com um total de mais de 690 mil voos controlados naquele ano.

Em decorrência de todo esse movimento no interior da Terminal São Paulo, há um sistema complexo de procedimentos de chegada e saída de aeronaves que as tem obrigado a manterem-se dentro dos perfis desses procedimentos, desviando-se lateralmente das trajetórias previstas o mínimo possível, de acordo com o conceito de navegação baseada em performance (PBN), que será detalhado ao longo deste trabalho.

Optou-se por analisar os fluxos de aproximação de aeronaves para o aeroporto de Guarulhos (SBGR), inserido no cenário da Terminal São Paulo, por ele ser o mais movimentado e consistir do principal *hub* internacional do país e um dos principais *hub* nacionais. Devido a isso, reduções e até mesmo interrupções nos fluxos de aeronaves para esse aeroporto causam impacto em toda a malha aérea nacional e ocasionam prejuízos às empresas e aos usuários, além dos impactos ambientais pelo acréscimo da emissão de gases poluentes na atmosfera e incremento nos níveis de ruído advindos de esperas e vetorações a baixas altitudes.

Passa-se agora, após a descrição do cenário no qual este trabalho está inserido e de quais fluxos de tráfego aéreo serão analisados, à definição do problema de pesquisa e dos objetivos geral e específicos que nortearão sua estrutura e desenvolvimento.

Figura 1 – Ranking de Aeródromos (2018)



Fonte: Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (2020).

O problema de pesquisa é: quais fatores interferem para a ocorrência do efeito *jamiton*? Esse efeito consiste em atrasos e interrupções dos fluxos de aeronaves, quando essas interrupções e atrasos não estão associados a causas evidentes.

A hipótese que balizará o desenvolvimento da pesquisa é a de que o efeito *jamiton* ocorre devido à inadequada gestão de velocidades, por parte de pilotos e controladores de tráfego aéreo. Considerar-se-á, neste estudo, que a alocação de voos ao longo dos dias para o aeroporto de Guarulhos (malha aérea) se realizou de maneira adequada e, por isso, não contribuirá para ineficiências dos fluxos de tráfego aéreo para o aeroporto em tela.

O objetivo geral do trabalho é investigar os elementos que contribuem para a ocorrência do efeito *jamiton*.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Identificar de que forma as atividades de controle de tráfego aéreo e de gerenciamento de tráfego aéreo são influenciadas por fatores humanos, normativos e tecnológicos e em que medida eles podem contribuir para desencadear o efeito *jamiton*;
- b) Verificar, com base em modelos matemáticos, utilizados para estudo dos fluxos de tráfego aéreo, a ocorrência ou não do efeito *jamiton* nos fluxos de aeronaves em aproximação para aeroportos de alta demanda;
- c) Evidenciar, a partir de estudos de caso sobre ineficiências de fluxo em aeroportos com características semelhantes ao aeroporto de Guarulhos, possíveis fatores que possam contribuir para a ocorrência do efeito *jamiton*;
- d) Identificar os fatores que levam à ocorrência do efeito *jamiton*, por meio de dados coletados a partir de simulações, relatórios de operações e questionários;

Para realização deste trabalho, optou-se pela Pesquisa de Natureza Exploratória, com a expectativa de presenciar a ocorrência do efeito *jamiton* no tráfego aéreo, que se traduz em reduções e interrupções no fluxo de tráfego aéreo, e evidenciar os fatores que o fazem emergir.

Empreendeu-se uma pesquisa bibliográfica, para que fosse possível detalhar o surgimento e desenvolvimento da atividade de controle de tráfego aéreo, do modelo integrado de defesa aérea e controle de tráfego aéreo brasileiro e da atividade de gerenciamento de tráfego aéreo, de modo a facilitar

a contextualização do cenário em que se desenvolve este trabalho. Como referências bibliográficas principais para esses tópicos, utilizaram-se as obras “A História do Controle do Espaço Aéreo Brasileiro”, “Flight to the Future: Human Factors in Air Traffic Control” e a “Política Nacional de Defesa/Estratégia Nacional de Defesa”.

Pesquisou-se bibliografia referente aos fatores humanos, normativos e tecnológicos que influenciam no desempenho dessas atividades e que podem contribuir para a ocorrência de atrasos e interrupções nos fluxos de tráfego aéreo. Nessa área, utilizou-se como principal referência a obra “Flight to the Future: Human Factors in Air Traffic Control”, que representa um dos mais abrangentes estudos sobre como a tecnologia e os fatores humanos interferem na atividade de controle de tráfego aéreo.

Adicionalmente, buscaram-se referências para se verificar quais ferramentas de apoio à decisão para pilotos e controladores de tráfego aéreo existem na atualidade, quais estão em desenvolvimento e como elas podem afetar a eficiência dos fluxos de tráfego aéreo. Apresentaram-se modelos matemáticos aplicados às análises da eficiência de fluxos de tráfego e estudos de caso em que se evidenciam, com base em dados reais e nos modelos matemáticos supramencionados, a influência dos fatores humanos e da automação nessa eficiência. A principal obra utilizada com relação a modelos de fluxo de tráfego foi “Traffic Flow Dynamics – Data, Models and Simulation”, que detalha o modelo LWR utilizado no tráfego rodoviário e que a partir dele, prevê a ocorrência do efeito *jamiton*. Utilizou-se também o artigo “Empirical Exploration of Air Traffic and Human Dynamics in Terminal Airspaces” que utilizou o modelo LWR para um estudo de caso de fluxo de tráfego aéreo na terminal de Guangzhou.

Para o levantamento de dados, optou-se primeiramente em utilizar o simulador em tempo acelerado localizado no Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), em São José dos Campos. Esse simulador é denominado *Total Airspace and Airport Modeler* (TAAM). Buscou-se simular o efeito, no fluxo de tráfego aéreo, de uma gestão inadequada das velocidades pelos pilotos e controladores de tráfego aéreo (ATCO), a partir de dados reais referentes a um dia de operação com alta demanda de tráfego.

Além das simulações em tempo acelerado, realizou-se um levantamento de dados em relatórios diários de operação confeccionados pelo Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA), do período de 2018 a 2019, uma vez que em períodos anteriores a 2018, devido à intensa crise econômica no país, a demanda de tráfego estava em patamares pouco expressivos. Os dados referem-se a dias e horários de grande demanda em que houve atrasos significativos em SBGR, não advindos de condições meteorológicas adversas, de mudanças de pista ou da interrupção das operações nesse aeroporto. Com isso, obtiveram-se subsídios do *modus operandi* das equipes de gerenciamento de fluxo na determinação de medidas de gerenciamento adotadas.

Por fim, construíram-se questionários eletrônicos semiestruturados, destinados aos profissionais do APP-SP, do Centro de Controle de Brasília (ACC-BS) e do Centro de Controle de Curitiba (ACC-CW), diretamente envolvidos no controle de tráfego aéreo e no gerenciamento de tráfego aéreo das aeronaves destinadas ao aeroporto de Guarulhos e aos pilotos que rotineiramente utilizam as rotas de chegada padrão por instrumentos (STAR) para esse aeroporto. Justificou-se a aplicação dos questionários a esses profissionais pela necessidade de entenderem-se as práticas adotadas para o sequenciamento das aeronaves e a forma com que ocorre a gestão de velocidade delas. Com isso, buscou-se identificar as possíveis causas das interrupções no fluxo de tráfego aéreo com destino ao aeroporto de Guarulhos.

Na segunda seção desta dissertação, descreveu-se o surgimento e desenvolvimento da atividade de controle de tráfego aéreo e, posteriormente, de gerenciamento de tráfego aéreo, no Brasil e no mundo, impulsionadas pela crescente demanda por transporte de cargas e passageiros, em especial, a partir do final da Primeira Guerra Mundial. Posteriormente, evidenciaram-se as padronizações de regras obtidas por tratados e convenções internacionais, o crescimento do transporte aéreo internacional e os constantes avanços tecnológicos na área de auxílios à navegação, de telecomunicações aeronáuticas e de sistemas de detecção e visualização de aeronaves para suportar esse crescimento.

Após isso, expôs-se o surgimento da navegação de área e o conceito de navegação baseada em performance, que alteraram de maneira significativa a estrutura do espaço aéreo e das rotas e incrementaram a capacidade do espaço

aéreo. A seguir, evidenciou-se a influência dos fatores humanos e da automação nessa atividade, a partir da descrição de como os controladores de tráfego aéreo lidam com situações de complexidade, de que forma suas experiências afetam seu *modus operandi*, qual a dinâmica do trabalho em equipe e como a automação pode impactar na carga de trabalho.

Na terceira seção, detalhou-se o conceito de Sincronização de Tráfego baseado em trajetórias 4D, essencial para a efetivação das Operações Baseadas em Trajetórias, que contribuirão para um salto de eficiência no gerenciamento de tráfego aéreo em um futuro próximo.

Na quarta seção, descreveu-se de que forma se desenvolveu gradualmente, a partir dos anos 80, o Plano Global de Navegação Aérea (GANP) que norteia implementações da área ATM no mundo todo. Essas implementações visam garantir a eficiência do gerenciamento de tráfego aéreo e a interoperabilidade entre os sistemas ATM globais. Por fim, detalhou-se o gerenciador de chegadas (AMAN), desenvolvido para auxiliar os controladores de tráfego aéreo no sequenciamento das aeronaves em aproximação para pouso em terminais de alta demanda de tráfego.

Na quinta seção, descreveram-se alguns modelos utilizados em estudos da dinâmica de fluxos de tráfego aéreo, com destaque para os modelos do tipo LWR (Lighthill, Witham e Richard), muito utilizados em análises de tráfego rodoviário e que prevê a ocorrência do efeito *jamiton*. Apresentaram-se dois estudos de caso que utilizam os modelos supracitados e ilustram formas de melhorar a eficiência nos fluxos de aproximação para aeroportos congestionados.

Na sexta seção, disponibilizaram-se os dados obtidos nas simulações realizadas no simulador TAAM, nos relatórios de operações diárias do CGNA e obtidos através de questionários aplicados a pilotos e a controladores de tráfego aéreo e, a partir deles e da bibliografia apresentada, realizou-se a discussão.

Na sétima seção, apresentaram-se as considerações finais, obtidas a partir da discussão dos dados empreendida na sexta seção e das demais seções do trabalho.

Por fim, apresentou-se uma proposta de manual com técnicas de sequenciamento de tráfego e de gestão de velocidades para utilização pelos

controladores de tráfego aéreo, para se evitar a ocorrência do efeito *jámiton* e um glossário com o significado dos termos técnicos empregados neste trabalho.

2 SURGIMENTO DAS ATIVIDADES DE CONTROLE DE TRÁFEGO E DE GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO AÉREO E PRINCIPAIS FATORES QUE A INFLUENCIAM

2.1 Surgimento e desenvolvimento da atividade de controle de tráfego aéreo e de gerenciamento de tráfego aéreo no Brasil e no mundo

Em 1931, ainda não existia no Brasil a atividade de controle de tráfego aéreo, nem infraestrutura de suporte adequada para facilitar a navegação aérea. Nesse ano, a empresa Panair iniciou seus serviços no país e, poucos anos após, em 1934, fundou-se a empresa aérea VASP. Para suportar as operações dessas empresas e impulsionar a navegação aérea brasileira, criaram-se linhas transoceânicas. Implementaram-se estações rádio que funcionavam conjuntamente com instrumentos meteorológicos ainda bastante arcaicos (BRASIL, 2014).

Antes de implementarem-se as estações rádio, para viabilizar comunicações via radiofrequência entre pilotos e estações em terra e os auxílios à navegação aérea, essenciais para ajudar os pilotos a se localizarem e se orientarem no espaço aéreo, os únicos recursos à disposição eram cartas topográficas comuns, com detalhes de relevo e informações obtidas em solo antes da partida das aeronaves. A partir da implantação de auxílios à navegação aérea em solo, os pilotos passaram a determinar com mais facilidade e precisão sua localização e estabelecer sua orientação durante os voos (BRASIL, 2014).

Tem-se, na década de 30, a chegada ao país dos primeiros aviões bimotores, e nessa época, já era possível estabelecer comunicação telegráfica em rota e utilizar radiofaróis para facilitar a navegação. Com o aumento do número de voos e os crescentes perigos associados aos riscos de colisão, em especial para voos operando sob regras de voo por instrumentos (IFR), em que o piloto não monitora outras aeronaves visualmente, pois mantém sua atenção em instrumentos alocados no painel da aeronave, ficava cada vez mais evidente a necessidade do estabelecimento da atividade de Controle de Tráfego Aéreo (BRASIL, 2014).

A partir de 1938, houve uma expansão das linhas aéreas existentes no Brasil e o Departamento de Aeronáutica Civil passou a construir aeroportos por todo o país e a implementar aparelhos para auxílio à navegação aérea. Nesse momento, ainda não existiam controladores de tráfego aéreo no Brasil e toda a navegação aérea, planejamento da trajetória a ser voada e a gestão de velocidades das aeronaves era feita exclusivamente pelos pilotos, enquanto pessoal de apoio em terra fornecia informações consideradas relevantes. Utilizavam-se a maioria dos aeródromos brasileiros de forma compartilhada entre aviação civil e militar, de maneira a evitarem-se mais gastos em infraestrutura aeroportuária (SIEWERDT, 2008).

Pode-se dizer que a atividade de controle de tráfego aéreo iniciou-se oficialmente no Brasil em 1939, no Campos dos Afonsos, na cidade do Rio de Janeiro. Consistia na prestação de um serviço arcaico, com escassos recursos, tais como transmissores de rádio, receptor de frequência variável, bem como uma biruta, para prover informações relacionadas à direção e velocidade do vento, essenciais para as operações de pouso e decolagem (SIEWERDT, 2008).

De acordo com Brasil (2014), quando da criação do Ministério da Aeronáutica e de sua Diretoria de Rotas em 1941, as empresas já possuíam uma grande rede radiotelegráfica para estabelecimento de comunicação terra-terra e ar-terra, além de uma rede de auxílios à navegação aérea. O único centro de controle de área existente localizava-se no Rio de Janeiro. Exigia-se das empresas o envio de informações sobre as partidas, chegadas, altitudes e posições, via telefone a esse centro.

Estabeleceram-se rotas internacionais em todas as regiões. Essas rotas cruzavam todo o território nacional. Passaram-se a utilizar auxílios à navegação, do tipo Rádio Farol Não Direcional (NDB), que além de auxiliarem na localização e orientação de aeronaves com equipamentos adequados instalados a bordo, possibilitava comunicações terra-ar de maneira eficiente, e com isso, economizaram-se recursos devido a não mais ser necessário instalar frequências do tipo HF. Como a Diretoria de Rotas não dispunha de uma rede de auxílios à navegação que cobrisse a área de todos os aeroportos utilizados, incorporou a rede de auxílios pertencentes às empresas privadas, por um processo de nacionalização e pela celebração de contratos de adesão (BRASIL, 2014).

Ainda segundo Brasil (2014), com a implantação do sistema TELEX, houve um grande avanço nas telecomunicações fixas da Diretoria de Rotas, criada em 1942. Esse tipo de telecomunicação possibilitava a interação entre centros em terra e favorecia a troca de informações. A empresa PANAIR montou uma torre no aeroporto Santos Dumont. Contratou e treinou os primeiros controladores de tráfego aéreo civis. Em 1945, a Diretoria de Rotas absorveu esses profissionais que passaram a fazer parte da equipe da primeira torre de controle oficial do Brasil. Adicionalmente, estabeleceu-se o Plano Geral de Aerovias e desenvolveram-se diversas normas e manuais para dar suporte à atividade dos controladores de tráfego aéreo. Os primeiros avisos aos aeronavegantes (NOTAM) foram datilografados, rodados em mimeógrafos a álcool e distribuído às empresas.

Após o advento do radar, bastava que os controladores de tráfego aéreo atentassem para desvios nas rotas autorizadas e notassem qualquer desaparecimento de pistas radar nas telas utilizadas para vigilância dos movimentos aéreos, por não recebimento do eco. Como ainda não existiam radiofaróis de maior precisão, denominados *Very High Frequency Omnidirectional Range* (VOR), mas somente os NDB, os voos não seguiam por faixas estreitas e acabavam por se dispersar. Ainda assim, definiram-se “estradas aéreas”, ou aerovias, que canalizavam os voos em faixas que representavam espécies de rodovias nos céus (BRASIL, 2014).

Pode-se então constatar que a atividade de controle de tráfego aéreo passou a estruturar-se no Brasil a partir década de 40, pois além da existência de uma infraestrutura tecnológica que facilitou as comunicações terra-terra e terra-ar, iniciou-se nesse período a formação de profissionais específicos. Esses profissionais atuavam baseados em normas e passaram a auxiliar a navegação dos pilotos para prevenir colisão entre as aeronaves.

O desenvolvimento da aviação civil influenciou a reestruturação do então Ministério da Aeronáutica, que criou um departamento responsável por gerenciar a navegação aérea, controle de tráfego aéreo, as comunicações, a meteorologia e a segurança de voo. Denominou-se esse departamento de Departamento de Eletrônica e Proteção ao Voo (DEPV), evolução da antiga Diretoria de Rotas e que em 2001, teve seu nome alterado para Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) (RICCO, 2017).

De acordo com Brasil (2014), por volta de 1968, o então Ministro da Aeronáutica indignou-se com reclamações advindas de diversas empresas aéreas estrangeiras com relação à deficiência nas comunicações e nos serviços de tráfego aéreo prestados, em especial, na região Amazônica. Os pilotos que voavam para o Brasil nessa época recebiam gratificações devido aos perigos associados à essas operações, nas condições supracitadas, muito aquém do que era experienciado em países mais desenvolvidos.

Para reverter o quadro supramencionado, em 1972, publicou-se uma Portaria que promoveu o início de estudos e pesquisas para a implantação do Sistema de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (SISDACTA), que seria conduzida pela Comissão de Implantação do Sistema de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CISDACTA). Com esse sistema, apresentou-se ao mundo uma concepção inédita de integração entre defesa e controle, que possibilitou ao Brasil alavancar a qualidade dos serviços de proteção ao voo ao nível de países desenvolvidos, além de minimizar os custos através do compartilhamento de meios de detecção, de telecomunicações e tratamento de dados e de recursos materiais, técnicos, operacionais e administrativos (BRASIL, 2014).

De acordo com Siewerdt (2008), a visão estratégica adotada pelo país à época da criação do SISDACTA possibilitou o desenvolvimento acelerado da indústria aeronáutica brasileira e permitiu que o país passasse a dominar o conhecimento e as tecnologias empregadas no sistema de gerenciamento de tráfego aéreo, colocando-o em um pequeno e seleto grupo de países. Atualmente, as consoles de operação da grande maioria dos controles de aproximação e dos centros de controle de área do Brasil funcionam com base em sistemas avançados, que apresentam diversas funcionalidades modernas e ágeis para tratamento de planos de voo. Além disso, essas consoles apresentam informações relevantes aos controladores e dispõe de diversas ferramentas de apoio, como alertas de colisão, dentre outras.

Nos anos 80, a aviação civil brasileira estava entre as 10 maiores do mundo em diversos aspectos. Dentre eles, ressalta-se o número de aeroportos, a quantidade e qualidade dos pilotos e a existência de uma rede de tráfego aéreo bastante desenvolvida. Dentre os países em desenvolvimento, o Brasil é o único

considerado potência aeronáutica no seio da OACI, com participação no Conselho de Direção, composto por 36 países membros. (SILVA, 1990).

Criou-se, em 1990, o Sistema de Controle do Espaço Aéreo (SISCEAB), que provê comunicações e infraestrutura de radares. Reorganizou-se esse sistema no ano 2000, com o objetivo de integrar os sistemas já existentes e as organizações que já lidavam com o serviço de controle de tráfego aéreo de aeronaves civis. Em 2006, criou-se a Agência Nacional de Aviação Civil, que substituiu o então Departamento de Aviação Civil, vinculado ao Comando da Aeronáutica, como órgão regulador da aviação civil brasileira. O modelo brasileiro de defesa aérea e controle de tráfego aéreo consiste na integração entre dois sistemas, o Sistema de Defesa Aérea Brasileiro (SISDABRA) e o SISCEAB (RICCO, 2017).

Há intensa coordenação de ações e troca de informação entre DECEA e o Comando Aeroespacial (COMAE). As vantagens desse modelo passaram a ficar evidentes após os atentados de 11 de setembro de 2001 (MESQUITA, 2018).

Dentre as vantagens do modelo integrado supramencionado, destaca-se o favorecimento do objetivo estratégico “prioridade da vigilância aérea” da Força Aérea Brasileira, presente na Estratégia Nacional de Defesa, que contribui para o fortalecimento do Poder Aeroespacial do país. Nas ações militares, as aeronaves se utilizam de uma infraestrutura robusta de comunicações e de radares, para garantir a eficiência das operações. Há interações rápidas entre órgãos de defesa aérea e controle de tráfego aéreo, para a identificação de aeronaves que estejam comprometendo a segurança do espaço aéreo ou atuando de forma ilícita (BRASIL, 2012).

Já do ponto de vista do desenvolvimento econômico e social e do fortalecimento da Aviação Civil, um dos componentes do Poder Aeroespacial, pode-se apontar que a integração favorece uma harmonização entre a circulação aérea geral (CAG) e a circulação operacional militar (COM), evitando-se ineficiências no fluxo de tráfego aéreo e prejuízos para empresas aéreas e para o governo, especialmente devido ao fato de grande parte dos principais aeroportos brasileiros serem utilizados de forma compartilhada pelas aviações civil e militar. Além disso, a aplicação do conceito de uso flexível do espaço aéreo

(FUA), facilitada pelo modelo integrado, permite a utilização mais eficiente do espaço aéreo, tanto para atividades civis quanto militares.

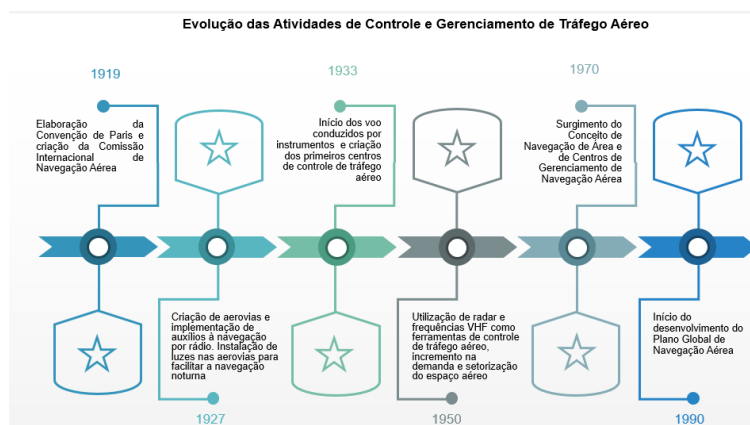
Nos Estados Unidos, o controle do tráfego aéreo é de responsabilidade de uma agência governamental, a *Federal Aviation Administration* (FAA). A defesa aérea é provida pela Força Aérea Americana, em um sistema segregado do sistema de controle de tráfego aéreo. No continente europeu, os serviços de controle de tráfego aéreo e gerenciamento de tráfego aéreo são administrados pelo Eurocontrol, em todos os países membros da União Europeia. O Eurocontrol é uma organização intergovernamental, civil-militar, com 38 Estados membros. A defesa aérea fica a cargo da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), uma aliança militar intergovernamental. Há colaboração intensa entre civis e militares. Entretanto, no Reino Unido, a aviação civil é gerenciada por uma espécie de sociedade de economia mista, onde o governo detém a maior parte das ações. Fundou-se essa sociedade de economia mista em 1972, sob o nome de *National Air Traffic Services* (NATS). Há uma clara separação entre atividades civis e militares no modelo adotado pelo Reino Unido. (RICCO, 2017).

Na próxima subseção, descreveu-se o surgimento da atividade de controle de tráfego aéreo de uma perspectiva mundial, impulsionada pela crescente demanda por transporte de cargas e passageiros, em especial, a partir do final da Primeira Guerra Mundial. Evidenciaram-se as padronizações de regras obtidas por tratados e convenções internacionais que foram essenciais ao crescimento do transporte aéreo internacional e aos constantes avanços tecnológicos na área de auxílios à navegação, de telecomunicações aeronáuticas e de sistemas de detecção e visualização de aeronaves, para suportar esse crescimento. Por fim, expôs-se surgimento da navegação de área e o conceito de navegação baseada em performance, que alteraram de maneira significativa a estrutura do espaço aéreo e das rotas e incrementaram a capacidade do espaço aéreo.

O início de uma atividade que futuramente evoluiria para o Controle de Tráfego Aéreo no mundo, de acordo com Gilbert (1973), consistia em uma tentativa de organizarem-se as operações aéreas. Essa organização era compreendida pelos próprios pilotos, pela aplicação de algumas regras e

procedimentos arcaicos, baseados nas regras e procedimentos existentes para regular o tráfego rodoviário. Inicialmente, esse *modus operandi* funcionava de maneira satisfatória, uma vez que o número de aeronaves que voavam era relativamente pequeno e as trajetórias desses voos, curtas, não se justificando a implementação de nenhum tipo de controle de tráfego aéreo baseado em solo.

Figura 2 -Linha do tempo da evolução das atividades de Controle e Gerenciamento de Tráfego Aéreo



Fonte: O Autor

Segundo Gilbert (1973), uma vez que muitas aeronaves, em especial na Europa, sobrevoavam mais de um país, constatou-se a necessidade de padronizar, pelo menos parcialmente, as regras e procedimentos adotados pelos países. Em 1919, após a Primeira Guerra Mundial, ocorreu a Convenção Internacional de Navegação Aérea. Como resultado dela, criou-se a Comissão Internacional Para a Navegação Aérea (CINA), com o propósito de desenvolver regras de tráfego aéreo de âmbito global, conforme será detalhado a seguir.

No início da década de 20, conforme Bayen e Tomlin (2005), profissionais que se utilizavam de bandeiras verdes e vermelhas, bem como luzes para orientar os pilotos deram início à primeira atividade que pode ser considerada como uma forma de controle de tráfego aéreo.

Após o final da Primeira Guerra Mundial, a aviação já havia se desenvolvido bastante tecnicamente. Passou-se a considerar a intensificação do transporte de pessoas e bens entre longas distâncias, de modo rápido e seguro. Devido a isso, necessitou-se, adicionalmente, de alguma forma de regulação internacional da aviação. Segundo Mesquita (2018, p.282), “as potências aliadas

aproveitaram o momento propício dos tratados decorrentes da Primeira Guerra Mundial para regulamentar, desde o ponto de vista internacional, o regime da navegação aérea”. A Conferência de Paz de Paris, em 1919, tratou de diversas questões relativas à aviação e autorizou a criação de uma Comissão Aeronáutica composta por diversos países, dentre eles o Brasil. Essa Comissão produziu a denominada Convenção de Paris, composta por 43 artigos relacionados a aspectos técnicos, operacionais e organizacionais da aviação civil. O feito mais relevante dessa convenção foi a criação de uma Comissão Internacional de Navegação Aérea (CINA), com diversos poderes e atribuições. Dentre os trabalhos relevantes dessa comissão estão os esboços dos anexos técnicos da Convenção de Chicago de 1944 (ICAO, 2020).

A Convenção de Paris, por outro lado, não trouxe padrões técnicos uniformes e nem mesmo a necessidade de encontros periódicos para discussões de problemas comuns que pudessem surgir. A regulação das aeronaves não foi tratada pela convenção e devido a isso, continuaram a ser tratadas por cada país individualmente, de acordo com suas leis e sem padronização. Considera-se, apesar de suas limitações, que essa convenção obteve sucesso, ao contar com a ratificação de 16 países, incluindo o Brasil. Embora a convenção de Paris tenha representado um avanço, ela trazia um relativo grau de confusão, por ser um conjunto de regras estanques (ICAO, 2020).

De acordo com Gilbert (1973), em 1927, os Estados Unidos já haviam estabelecido um programa para a criação de um sistema de aerovias nacionais, servidas por uma rede antenas de rádio para auxiliar na navegação das aeronaves. Adicionalmente, instalar-se-iam faróis luminosos de modo a que fosse possível identificar essas aerovias à noite. Até 1933, operava-se sob condições meteorológicas favoráveis, de modo a ver e evitar outras aeronaves. Com o advento dos voos conduzidos por instrumentos (IFR), surge o risco crescente de colisões entre aeronaves, em especial quando os voos se conduziam sob condições meteorológicas adversas. Para mitigar os riscos de voos IFR, as empresas americanas passaram a atuar informalmente e desenvolveram sistemas para acompanhar seus voos aproximando-se dos aeroportos de Chicago e Newark.

O primeiro centro a iniciar suas operações foi o de Newark, constituindo-se no primeiro centro de controle de tráfego aéreo para aeronaves IFR do mundo. Os operadores desse centro utilizavam como ferramenta de trabalho apenas um mapa para localizar os voos e um quadro onde registravam seus dados, posteriormente substituído por tiras de papel. Em 1936, o governo americano assumiu a operação de três centros existentes e em poucos meses, estabeleceu cinco centros adicionais. Apesar dos meios ainda precários e a ausência de visualização das aeronaves em uma tela de radar, já era possível exercer uma atividade de controle de tráfego aéreo de modo convencional, para que se evitassem colisões entre aeronaves voando IFR. Isso era possível devido às informações de estimados de tempo de passagem por determinados auxílios à navegação e pelas altitudes reportadas pelos pilotos (GILBERT, 1973).

Segundo Cook (2007), a Europa desenvolveu, antes que qualquer outra parte do mundo, a indústria de transporte aéreo. Isso foi possível devido a fortes subsídios governamentais. A companhia aérea de aviação comercial mais antiga é a holandesa KLM (Koninklijke Luchtvaart Maatschappij), fundada em 1919. Essa empresa estabeleceu a primeira linha regular de transporte de passageiros entre as cidades de Belim e Weimar, nesse mesmo ano. Surgiram novas companhias aéreas, em especial, na Inglaterra. As primeiras rotas exploradas por essas novas companhias aéreas ligavam Londres ao continente europeu.

Na década de 20, os pilotos eram os únicos responsáveis por prover a segurança do voo, ao evitar conflitos com outras aeronaves que evoluíam no entorno do aeródromo e com obstáculos. Entretanto, com o exponencial aumento do número de aeronaves, decorrente do uso do avião como modal de transporte, os pilotos foram perdendo a capacidade de prover sua própria segurança. Daí, surgiu a necessidade de um serviço que pudesse ordenar e garantir a fluidez segura no espaço aéreo europeu (COOK, 2007).

Com o advento do radar e seu emprego na aviação civil, com a utilização de frequência VHF para comunicação entre pilotos e controladores de tráfego aéreo, bem como com a utilização de auxílios à navegação aérea, a atividade de controle de tráfego aéreo elevou-se a um novo patamar. O radar permitiu aos controladores de tráfego aéreo conhecer a posição real das aeronaves, bem como estimar suas velocidades. Frequências em VHF permitiram que as comunicações se realizassem de maneira mais célere e clara e os auxílios à

navegação permitiram que as aeronaves conseguissem voar em rumos fixos e em faixas estreitas. Com toda essa evolução, tornou-se viável não apenas auxiliar a navegação aérea dos pilotos, mas também gerenciar a velocidade das aeronaves e dispô-las em filas para o pouso.

Surgiram as atividades de controle de tráfego aéreo em rota e controle de tráfego aéreo em terminal. No entanto, surgem também alguns óbices relacionados ao emprego do radar na atividade ATC. Segundo Gilbert (1973), após se aceitar a vigilância por radar como ferramenta básica para a atividade de controle de tráfego aéreo, para se vetorar as aeronaves, ou seja, para fazer com que passassem a voar em rumos diferentes das trajetórias fixas padronizadas, de modo a desviá-las de outras, passou a haver o risco de conduzi-las a regiões de formações meteorológicas e de turbulência. Adicionalmente, os radares não cobriam adequadamente baixas altitudes, havia muitos “pontos cegos” e apresentação de alvos falsos nas telas de vigilância dos controladores. Necessitava-se, além disso, estabelecerem-se os padrões mínimos de separação a serem mantidos pelas aeronaves, o que foi definido internacionalmente em pouco tempo.

Todo o tráfego em espaço aéreo terminal é controlado por órgãos denominados controles de aproximação (APP). Pode-se definir espaço aéreo terminal da seguinte forma:

“É o segmento do espaço aéreo que se sobrepõe a uma ou mais ATZ, destinado ao Controle de Tráfego Aéreo de aeronaves em procedimento de descida dos níveis de rota para o pouso e de subida para os níveis de cruzeiro (e rota para o destino) (MACHADO, 2019, p.160)

As dimensões dos espaços aéreos terminais variam tanto verticalmente quanto lateralmente, de acordo com o número de aeroportos que abarca e com a complexidade das rotas de chegada e saída. Controladores de tráfego aéreo que trabalham em controles de aproximação, como por exemplo, os controladores do APP-SP, devem manter um fluxo seguro, porém rápido e ordenado de aeronaves após decolagem, desde quando são transferidas pelas torres de controle, até sua transferência para o controle de rota, onde voarão nas aerovias, em nível de cruzeiro (WICKENS; MAVOR; MCGEE, 1997).

Os controladores de um controle de aproximação também são responsáveis em manter um fluxo rápido, seguro e ordenado de aeronaves em aproximação para um determinado aeroporto, desde sua transferência de um centro de controle ao abandonar uma aerovia em descida, até sua transferência à torre de controle do aeroporto de destino, para o pouso. O trabalho desses controladores é dispor as aeronaves em filas, tanto nos fluxos de chegada quanto nos fluxos de saída e de garantir que sempre haverá um espaçamento seguro entre elas, verticalmente, longitudinalmente e lateralmente (WICKENS; MAVOR; MCGEE, 1997).

A Segunda Guerra Mundial incentivou muito o desenvolvimento técnico dos aviões. Devido a isso, nessa época, estabeleceram-se diversas rotas de transporte de passageiros e cargas. Entretanto, havia diversos obstáculos de caráter técnico e político que impossibilitavam a evolução dessas rotas. A infraestrutura de apoio à navegação aérea ainda era precária. Após estudos empreendidos pelos americanos, com auxílio dos aliados, o governo americano convidou 55 Estados a participarem da Conferência de Aviação Civil em Chicago, em 1944. Ao todo, 54 dos 55 países enviaram delegações e 52, incluindo a do Brasil, assinaram a Convenção Internacional de Aviação Civil, conhecida como Convenção de Chicago. (ICAO, 2020).

Segundo Mesquita (2018), a Convenção de Chicago foi a mais importante e permitiu que a aviação civil internacional se desenvolvesse de maneira segura e contínua. Estabeleceu-se um novo ordenamento jurídico para a aviação civil e reconheceu-se o princípio da soberania de um Estado pelo espaço aéreo que se sobrepõe a seu território. A partir desse princípio, passou-se a exigir o consentimento de um Estado para que empresas de serviço aéreo estrangeiros sobrevoassem seu espaço aéreo. Por fim, esta convenção suportou a criação, no âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU), da Organização Provisória de Aviação Civil (OPACI), que funcionou por menos de dois anos, até ser substituída pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), agência especializada para tratar dos assuntos relativos à aviação civil internacional.

A OACI é atualmente a principal organização de aviação civil internacional e compõe-se de 191 Estados-contratantes, de representantes da indústria e de profissionais da aviação. Ela estabelece padrões de observância obrigatória dos Estados contratantes, denominados *Standard and Recommended Practices*

(SARP), que são representados pela Convenção de Aviação Civil Internacional (CACI), conhecida também como Convenção de Chicago e seus 19 Anexos. De acordo com o artigo 38 da CACI, caso um Estado-contratante considere necessário adotar regulamentações que difiram em qualquer aspecto particular das normas internacionais estabelecidas, precisa apresentar uma diferença, ou seja, evidenciar em quais aspectos a regulamentação adotada no país difere das normas internacionais estabelecidas. (BRASIL, 2016).

Além dos SARP, a OACI também elabora as Práticas Recomendadas, os PANS, os SUPP e outros materiais guia. As Práticas Recomendadas, apesar de não serem obrigatórias, auxiliam na promoção da segurança e eficiência da navegação aérea internacional. Os PANS representam conteúdos que amplificam e provêm explicações mais detalhadas dos SARP e por isso, são publicados à parte, como material complementar. Os SUPP são semelhantes aos SARP, porém são desenvolvidos para determinada região do mundo e por isso, não precisam ser adotados no mundo todo. Por fim, são publicados materiais guia, como circulares e manuais. Eles complementam os SARP e os PANS e em geral, são publicados em conjunto com eles (CANADA, 2020).

Durante décadas após a celebração da CACI, a indústria de transporte aéreo apresentou um elevado crescimento com o estabelecimento de diversas rotas e o surgimento de um considerável número de empresas aéreas. Caso essa convenção não houvesse sido celebrada e complementada por seus anexos e demais materiais relacionados, que são periodicamente revisados e ampliados, dificilmente a aviação civil teria se desenvolvido tanto.

O que possibilita hoje o grande fluxo de aeronaves pelo mundo de maneira ordenada e segura é a uniformidade das regras de tráfego aéreo, a prestação do serviço de informações aeronáuticas que fornece aos pilotos, aos controladores de tráfego aéreo e demais partes interessadas da aviação civil, informações padronizadas sobre restrições do espaço aéreo, condições de operação dos aeródromos, dentre outras informações relevantes para a segurança das operações. Além disso, tem-se a prestação dos serviços de meteorologia aeronáutica que permite a obtenção de informações em formato comum para o planejamento dos voos. Isso possibilita que as aeronaves evitem trajetórias de voo que ingressem em áreas onde há grande probabilidade de condições

meteorológicas adversas. Há com isso uma padronização global que favorece a interoperabilidade.

A partir da década de 50, com as regras estabelecidas pelos Anexos à Convenção de Chicago e com o aumento no volume de tráfego aéreo, necessitou-se fragmentar o espaço aéreo em setores, cujas dimensões variavam em função da carga de trabalho a ser imposta ao controlador e os padrões do fluxo de tráfego em seu interior. Essa fragmentação do espaço aéreo aumentou a complexidade da atividade de controle de tráfego aéreo, pois os controladores passaram a, além de controlar o tráfego aéreo, coordenar suas ações com os controladores dos setores adjacentes. Surge a partir disso, a figura do coordenador/supervisor de tráfego aéreo (GILBERT, 1973).

Os coordenadores e supervisores são de especial importância em alguns órgãos de controle de alta complexidade, como a Terminal São Paulo, onde o volume de espaço aéreo é reduzido, a densidade de tráfego é grande e há muitos cruzamentos entre trajetórias de chegada e partida.

Segundo Wickens, Mavor, Mcgee, (1997), iniciaram-se as implementações de sistemas automatizados de radar de terminal, que passaram a integrar as informações obtidas de radares primários e secundários e de dados dos voos. Viabilizaram-se aos controladores, a partir dessas implementações, informações sobre velocidade, condições meteorológicas, indicativos de chamada, altitude, modelo da aeronave, aeroporto de destino, alertas de conflitos devido a infração da separação mínima, e alertas de perda de separação com o terreno. Devido a essas melhorias, os controladores não precisavam mais estimar a velocidade das aeronaves e já era possível prever as trajetórias que elas executariam, o que tornou o serviço mais eficiente em termos de aplicação de separações consideradas adequadas e de gestão de velocidades para sequenciar as aeronaves para o pouso.

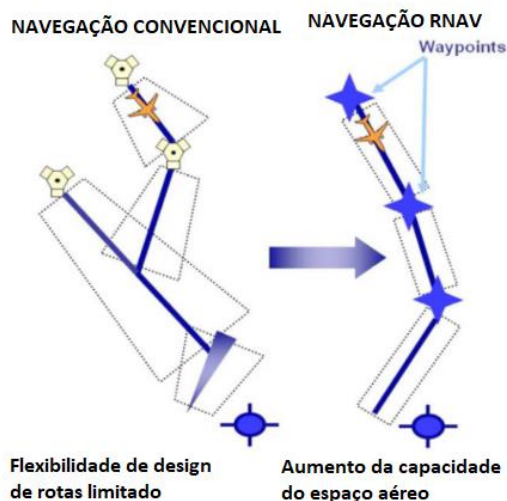
Nessa época, entretanto, ainda não havia ferramentas automatizadas de auxílio à decisão, nem um órgão central que gerenciasse o fluxo de aeronaves e a estrutura do espaço aéreo. Devido a isso, os controladores de tráfego aéreo se baseavam em suas experiências para determinar o sequenciamento das aeronaves e o padrão de separação entre elas, de modo local, sem uma consciência situacional global, o que ocasionava interrupções no fluxo e esperas em voo desnecessárias (WICKENS; MAVOR; MCGEE, 1997).

Com o advento da criação das rotas de navegação de área (RNAV) e sua gradual implementação, a partir dos anos 70, modificou-se significativamente a estrutura do espaço aéreo (GILBERT, 1973). Tem-se como definição de Navegação de Área:

Método de navegação que permite a operação de aeronaves em qualquer trajetória de voo desejada dentro da cobertura de auxílios à navegação, baseados no solo ou no espaço, ou dentro dos limites das possibilidades dos equipamentos autônomos de navegação, ou de uma combinação de ambos (BRASIL, 2018, p.30).

As aeronaves passaram a voar livremente por *waypoints* gerados a partir de auxílios em solo, em conjunto com equipamentos de navegação a bordo das aeronaves e não mais em rumos magnéticos fixos, alinhados aos auxílios à navegação, conforme se pode observar pela figura 3. Entretanto, a utilização de satélites para apoio à navegação RNAV só seria possível dentro de alguns anos, a partir da utilização do *Global Positioning System* (GPS). O sistema *Required Navigation Performance* (RNP) nada mais é que do que o sistema RNAV com a inclusão de alertas aos pilotos de que a aeronaves está se desviando do eixo da rota.

Figura 3 – Rota Convencional x Rota RNAV



Fonte: Australia (2018, p.2)

A partir do conceito de navegação RNAV, surgiu o conceito de Navegação Baseada em Performance (PBN). De acordo com o Manual do PBN da ICAO, esse conceito:

[...]especifica que os requisitos de desempenho do sistema RNAV ou RNP da aeronave sejam definidos em termos de precisão, integridade, continuidade e funcionalidade exigidos para as operações propostas no contexto de um determinado conceito de espaço aéreo, quando suportado pela infraestrutura apropriada de auxílios à navegação aérea. (ICAO, 2013, p.21).

Segundo esse conceito, os requisitos de desempenho são identificados em especificações de navegação e a partir dessa especificação, são definidos quais sensores e equipamentos de navegação devem ser utilizados para atendê-los. Os requisitos de navegação são definidos a partir de requisitos operacionais. Com isso, os operadores avaliam quais serviços de navegação e tecnologia estão disponíveis e escolhe a solução apropriada para ele. Ainda que a tecnologia evolua, mantém-se o desempenho necessário pelos sistemas RNAV e RNP.

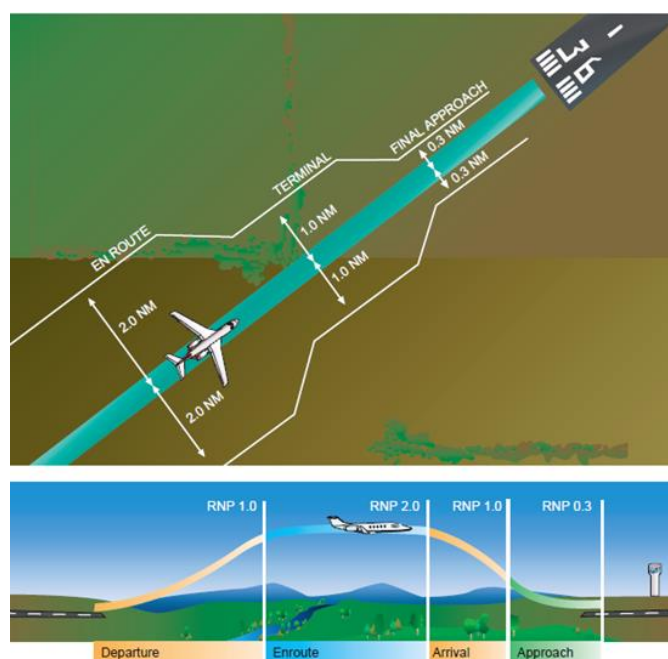
Uma aeronave ser capaz de voar uma especificação de navegação determinada significa que ela se desviará de, no máximo, uma determinada distância em milhas náuticas para cada lado do eixo da rota que está voando, durante 95% de seu tempo de voo. Caso uma rota tenha especificação de navegação RNAV 1, por exemplo, uma aeronave capaz de voar essa especificação deverá manter-se sobre o eixo dessa rota desviando-se, no máximo, 1 milha náutica para cada lado do eixo, durante 95% do tempo de voo. Já uma aeronave capaz de voar a especificação de navegação RNP 1 tem a mesma capacidade descrita para RNAV 1, com a diferença de que será informado aos pilotos, por meio de um alerta, caso eles se desviem do eixo da rota.

Diferentes fases do voo possuem rotas que requerem diferentes especificações de navegação das aeronaves, conforme pode se observar na figura 4. Após a decolagem, sob regras de voo IFR, as aeronaves executam rotas denominadas Saídas Padrão por Instrumentos (SID), que em geral têm especificação de navegação RNAV 1 ou RNP 1. Após as SID, as aeronaves, em geral, ingressam nas aerovias, que possuem especificação de navegação RNAV 2/RNP 2 ou especificação superior (no Brasil as aerovias possuem especificação de navegação RNAV 5). Quando se aproximam do destino, as aeronaves ingressam nas Chegadas Padrão por Instrumentos (STAR), que possuem

especificação de navegação RNAV1 ou RNP 1, até iniciarem um procedimento de aproximação por instrumentos, que possui especificação de navegação RNP 0.3 ou inferior (ICAO, 2013).

O Conceito PBN fornece uma série de vantagens em relação ao método de navegação convencional. Dentre essas vantagens, pode-se elencar a redução do número de rotas e procedimentos “amarrados” em determinados tipos de auxílios à navegação em solo, como os VOR, permitindo que muitos sejam desativados, reduzindo-se assim os custos com manutenções ou substituições. Além disso, com a expansão dos serviços de navegação por satélite e o desenvolvimento de sistemas de “augmentação”, que aprimoram os sinais desses satélites, será possível utilizar cada vez menos sensores instalados em terra para a navegação nos mais variados tipos de especificações de navegação RNAV/RNP e nas aproximações de precisão para os aeroportos (ICAO, 2013).

Figura 4 – Especificações de Navegação requeridas para cada fase do voo



Fonte: United States (2007, p.1-13)

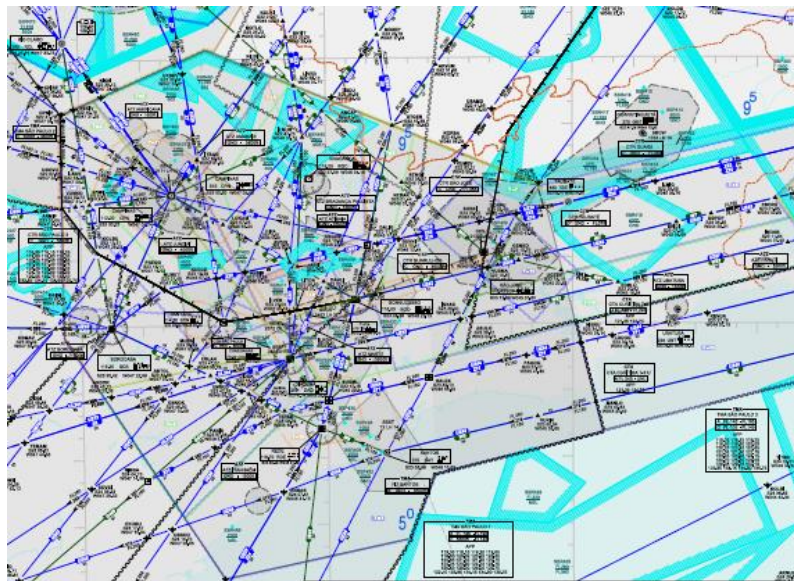
As aeronaves com destino ao aeroporto de Guarulhos, após o abandono do voo em rota, prosseguem nas STAR com especificação de navegação RNAV 1, em fluxos distintos, provenientes de diversas regiões do Brasil e do mundo.

Antes do pouso, esses fluxos distintos são unidos e sequenciados para pouso “em fila”, de modo a utilizar-se o sistema de pistas de modo eficiente.

Quando duas aeronaves se aproximam muito, para evitar que a separação mínima seja infringida, pode-se utilizar a técnica da vetoração radar, que consiste em controladores sugerindo aos pilotos direções de voo diferentes das previstas nas STAR, para “alongar” trajetórias de voo de modo a reestabelecer uma separação segura das aeronaves. Pode-se também utilizar a técnica de espera em voo, quando se solicita aos pilotos que se mantenham em trajetórias semelhantes a hipódromos, até que sejam autorizados a prosseguir com o voo.

As vetorações são medidas menos restritivas que as esperas em voo. Entretanto, elas não são a prática mais recomendada no interior da terminal São Paulo e as aeronaves acabam, muitas vezes, por fazer esperas em pontos predeterminados, quando necessário, para não impactar no fluxo dos aeroportos vizinhos. Isso ocorre porque a terminal dispõe de muitas chegadas e saídas de aeroportos de alta demanda que se cruzam e foram alocadas muito próximas umas das outras, devido ao emprego do conceito PBN e da opção de *design* do projeto, que alocou pouco espaço para a prática de vetorações.

Figura 5 – Trecho de carta de área ilustrando a terminal São Paulo



Fonte: Brasil (2020)

Na próxima subseção, expôs-se o surgimento e evolução da atividade de gerenciamento de tráfego aéreo no Brasil e no mundo. Essa atividade surgiu a partir da expansão dos centros de controle de tráfego aéreo, o que passou a demandar a existência de um órgão central para coordenar os fluxos de chegada e saída de centros adjacentes, de modo a evitarem-se descontinuidades no fluxo. Apresentaram-se também os conceitos de separação por espaço e por tempo e de que modo são utilizados em diferentes locais do mundo.

Com o constante crescimento do fluxo de aeronaves ao longo das últimas décadas do século XX, passou-se a necessitar do monitoramento de grandes volumes de espaço aéreo para a coordenar as entradas e saídas de centros de controle, com o objetivo de evitarem-se interrupções desnecessárias no fluxo. A partir dessa necessidade, surgem o gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (ATFM) e o gerenciamento do espaço aéreo (ASM). Segundo Wickens, Mavor e Mcgee (1997), existem diversas “forças” que atuam para não permitir que os controladores preservem um fluxo ordenado e contínuo. Dentre essas forças, pode-se elencar os diferentes tipos de aeronaves de diversas performances, as limitadas capacidades dos setores do espaço aéreo e dos aeroportos, face às grandes demandas em dias e horários específicos.

A Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) passou a recomendar a implementação do serviço de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo em regiões onde, por vezes, a demanda ultrapassa a capacidade ATC definida. Essa capacidade ATC se relaciona com o número máximo de aeronaves em voo que podem ser acomodadas, de modo seguro, de acordo com o definido pela autoridade responsável pelos serviços de tráfego aéreo. Essas autoridades devem avaliar e declarar as capacidades para áreas de controle, setores de controle e aeródromos. Expressam-se essas capacidades de acordo com o número máximo de aeronaves que podem ser gerenciadas em um determinado período, em dado espaço aéreo ou aeródromo. (ICAO, 2016).

No Brasil, o DECEA, por meio do CGNA, é a autoridade responsável por determinar e gerenciar a capacidade ATC dos setores de espaço aéreo e dos sistemas de pista e a ANAC, a autoridade responsável por avaliar e declarar a capacidade aeroportuária. De acordo com Brasil (2014), implementou-se o CGNA em 2001, na cidade de São José dos Campos. Após alguns anos, transferiu-se sua sede para o Complexo Santos Dumont, na cidade do Rio de

Janeiro. Ressalta-se que o CGNA presta o serviço de gerenciamento do espaço aéreo e do fluxo de tráfego aéreo centralizadamente, suportado por posições de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo descentralizadas.

Implementaram-se as Células de Gerenciamento de Fluxo (FMC) nos ACC Amazônico, Recife, Brasília e Curitiba. Além disso, há FMC em alguns APP com significativo volume de tráfego, como o APP São Paulo, o APP Rio de Janeiro e o APP Belo Horizonte. A FMC localizada no APP-SP é responsável pelo gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo na terminal São Paulo e por conseguinte, em aproximação para o aeroporto de Guarulhos.

O CGNA possui um órgão operacional denominado de Célula de Coordenação e Decisão (DCC), responsável por planejar e executar medidas de gerenciamento de tráfego aéreo. O planejamento das medidas é possível pelo conhecimento das intenções de voo, o que permite prever momentos, em determinadas porções do espaço aéreo, em que a demanda ultrapassará a capacidade. As FMC alocadas nos ACC e APP, conforme supracitado, empreendem coordenações locais e aplicam medidas táticas de gerenciamento de fluxo.

Nos Estados Unidos, desde a década de 70, já existe um órgão central responsável pelo serviço ATFM. Esse órgão é chamado de *Command Center*. Dentre suas atribuições, pode-se destacar a responsabilidade por monitorar o fluxo de aeronaves entre os centros de controle de rota, coletar e correlacionar dados meteorológicos para detectar possíveis regiões de impacto ao fluxo de tráfego e determinar as possíveis soluções para manter o fluxo sem interrupções (UNITED STATES, 2017).

Segundo Ruiz, Kadour e Choroba (2019), atualmente, na Europa, existe a figura do gerente de rede, responsável pelo ATFM em todo Eurocontrol. Ao prever desbalanceamento entre demanda e capacidade com algumas horas de antecedência e com certo nível de confiabilidade, ativa medidas de regulação e distribui slots ATFM para frear a taxa de voos que chegam ou saem de um setor ou um aeroporto. Na Europa, a alocação de slots é feita de modo automático pelo sistema denominado “alocação de slot assistida por computador” (CASA). Quando não há colisão com outras regras restritivas ou com políticas operacionais, utiliza-se o conceito de “planejado primeiro, servido primeiro” (FPFS), que distribui os voos em ordem sequencial, de acordo com os dados do

plano de voo preenchido. Dessa forma, leva-se em conta os horários previstos de chegada nos aeroportos (ETA), ou os horários previstos de sobrevoo (ETO) de algum ponto de referência de entrada em algum setor do espaço aéreo.

Como a rede de tráfego aéreo europeia é complexa, as aeronaves podem cruzar mais de um aeroporto ou setor regulado. Quando isso ocorre, o CASA altera a política FPFS para alguns voos, de acordo com regulamentos locais mais penalizantes. Essas interações de voos geradas por inúmeras regulamentações podem impactar muitos voos em sequência, iniciando uma reação em cadeia que pode resultar em um aumento no atraso total e na quantidade de voos que adentram a um setor em um determinado intervalo de tempo. Denominou-se um novo modelo de otimização de *enhanced* CASA (ECASA). Ele auxilia o gerente da rede a melhorar a performance de operação. O ECASA usa a sequência do CASA em conjunto com regras e princípios que o adapta para operar em tempo real e dar conta das mudanças dinâmicas e incertezas do ambiente operacional. Buscando-se a equidade, faz-se pequenas alterações nas sequências do CASA (RUIZ; KADOUR; CHORоба, 2019).

Simulações com o ECASA mostram que o potencial de otimização cresce com o aumento do índice de atrasos. Para um mesmo cenário, o número de aeronaves em atraso foi de 9161 no ECASA e 10616 no CASA. Entretanto, enquanto o número de atrasos até 15 minutos foi reduzido (42% em média), os atrasos superiores a 90 minutos subiram de 77 no CASA para 133 no ECASA. Esses voos, quando não forem cancelados pelas empresas aéreas, podem sofrer alguma medida ATFM como rerroteamento, restrição de nível de voo, dentre outras. Aprimoramentos estão em curso no ECASA para viabilizar sua implementação (RUIZ; KADOUR; CHORоба, 2019).

O Serviço ATFM empreendido pelo CGNA é executado em 3 fases: Fase Estratégica, Fase Pré Tática e Fase Tática. Essas fases constituem-se de um ciclo contínuo de planejamento, execução e análise dos resultados para posteriores revisões. Durante a Fase Estratégica, que se situa temporalmente a mais de uma semana do dia da operação, atua-se proativamente, para se garantir flexibilidade e economia nas operações. Examina-se, nessa fase, a expectativa de demanda para se determinar em qual região do espaço aéreo e em que momento se espera que demanda exceda a capacidade declarada ATC. Empreendem-se, então, algumas medidas para se evitar o desbalanceamento.

Dentre elas, citam-se a reprogramação de voos, a identificação de necessidade de ações táticas, o planejamento de redirecionamento de fluxos e a coordenação com órgãos ATC, para se assegurar a disponibilização das capacidades adequadas. (BRASIL, 2018).

A Fase Pré-Tática, por sua vez, corresponde às ações adotadas temporalmente, de uma semana até o dia anterior às operações. Objetiva-se nela atualizar o planejamento adotado pela concretização de uma visão mais “real” do cenário do dia das operações, construída pela obtenção de informações mais precisas sobre a demanda, as condições meteorológicas esperadas, a infraestrutura disponível e sobre eventos especiais que ocorrerão nesse dia. As ações executadas nessa fase incluem: definir a capacidade para o dia das operações, estimar a demanda, comparar demanda estimada com capacidade definida, propor medidas ATFM para análise colaborativa e divulgar o planejamento ATFM desenvolvido (BRASIL, 2018).

Por fim, a Fase Tática corresponde às ações empreendidas no dia das operações. Nela, detectam-se fatores inesperados que possam afetar a capacidade e/ou a demanda e acompanham-se as medidas mitigadoras de impactos no fluxo. Adotam-se, nessa fase, medidas táticas definidas para o dia, constantes no plano definido, de modo a garantir-se um fluxo balanceado. Também se monitora o cenário, em tempo real, para garantir que as medidas ATFM aplicadas produzam os efeitos esperados (BRASIL, 2018).

Adicionalmente, na Fase Tática, acompanha-se a evolução das condições meteorológicas, do funcionamento dos equipamentos de comunicação, navegação e vigilância, da disponibilidade de controladores de tráfego aéreo, dos impactos na infraestrutura aeroportuária, dentre outros fatores que afetem a capacidade. Registram-se as ações empreendidas nessa fase para que se gerem relatórios, de modo a obterem-se indicadores para o planejamento da infraestrutura aeronáutica (BRASIL, 2018).

Segundo Nagaoka e Gwiggner (2014), quando a demanda média ultrapassa a capacidade, devido a horários de pico ou condições meteorológicas, congestionamentos previstos ocorrem. Adicionalmente, atrasos em rota são desnecessários caso os atrasos em solo sejam gerenciados adequadamente. Deve-se, no entanto, gestar as velocidades em rota e aproximação para sincronizar os fluxos de tráfego. Dessa forma, evitam-se vetorações e esperas.

Entretanto, para que isso seja efetivo, necessita-se que os controladores de tráfego aéreo saibam quais as velocidades as aeronaves devem manter em determinado regime de fluxo, de acordo com a demanda do momento, para que instrua os pilotos a mantê-la. Os pilotos, por sua vez, precisam, caso possível, efetivamente manterem a velocidade sugerida.

A capacidade aeroportuária é definida a partir de como os componentes aeroportuários críticos comportam-se em termos de processamento da demanda. Dentre esses componentes críticos, pode-se destacar o terminal do aeroporto, o pátio e a pista. (BRASIL, 2018). Caso, por exemplo, o pátio só comporte 5 aeronaves ao mesmo tempo a cada dez minutos, mesmo que o sistema de pistas permita que 7 aeronaves pousem em dez minutos, a capacidade aeroportuária estará limitada pela capacidade de pátio. Da mesma forma, caso o sistema de pistas permita que 5 aeronaves pousem em dez minutos e o pátio comporte 7 aeronaves a cada dez minutos, a capacidade aeroportuária estará limitada pela capacidade do sistema de pistas.

A capacidade teórica do sistema de pistas é a capacidade do sistema de pistas de um aeródromo, calculada para um intervalo de sessenta minutos, em função do tempo médio de ocupação de pista, acrescido da separação regulamentar entre aeronaves, prevista em legislações, bem como das normas e procedimentos específicos aplicáveis às operações aéreas da localidade considerada (BRASIL, 2015).

Para o cálculo dessa capacidade, as operações de pousos e de decolagens são equitativamente distribuídas em um aeródromo qualquer, cabendo 50% a cada uma delas no período de uma hora. O tempo médio de ocupação de pista será calculado por cabeceira, visto que cada pista tem sua própria configuração. Isso implica tempos diferentes de ocupação de pista em cada cabeceira. Os tempos de ocupação de pista, por categoria de aeronave, serão coletados obedecendo a dois critérios distintos: no primeiro, será considerado o tempo de ocupação de decolagem, enquanto no segundo, apenas o tempo de duração do pouso.

De acordo com informações da Unidade de Gerenciamento da Organização do Espaço Aéreo (AOM), quando há a expectativa de a demanda atingir oitenta por cento (80%) da capacidade máxima calculada, um aeroporto será declarado como MONITORADO e todas as intenções de voos regulares de

passageiros e/ou carga e rede postal estarão condicionadas à obtenção de SLOT ATC. Quando tal expectativa se concretiza, o aeroporto poderá passar à condição de coordenado.

Para um aeroporto coordenado, os voos regulares existentes terão seus horários previstos ajustados para SLOT ATC disponíveis. Vale salientar que no caso em questão, o aeroporto de Guarulhos é considerado um aeroporto coordenado e um sistema denominado SIGMA realiza a alocação de horários dos voos de acordo com os SLOT ATC definidos, para garantir que as capacidades de setor ATC e aeroportuária sejam respeitadas.

A capacidade de setor ATC declarada representa o número máximo de aeronaves permitidas no interior de um determinado setor do espaço aéreo, em dado período, considerando-se os equipamentos disponíveis, as condições meteorológicas, o layout do órgão de controle de tráfego aéreo, dentre outros fatores com potencial de afetar a carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo responsável por determinado espaço aéreo (BRASIL, 2015).

De acordo com o Modelo Operacional do APP-SP, documento que tem por objetivo padronizar as operações no Controle de Aproximação de São Paulo, bem como descrever as características e peculiaridades deste órgão de controle, as capacidades de setor ATC são as discriminadas na tabela 1.

Tabela 1 – Características e capacidades ATC dos setores em que se inserem as STAR que servem ao aeroporto internacional de Guarulhos

Setor	Descrição do Setor	Capacidade ATC do Setor
T9	Setor de Controle Final Guarulhos: setor no qual o ATCO sequencia as aeronaves para pouso em Guarulhos.	6 aeronaves ao mesmo tempo em condições normais e 8 aeronaves como limite máximo tolerado por curtos períodos de tempo.

T8	Setor de Controle do “Tubulão”: setor no qual o ATCO controla, dentre outros fluxos, as aeronaves em aproximação para SBGR pela STAR SIMEX 1A, procedentes em sua maioria da Terminal do Rio de Janeiro.	10 aeronaves ao mesmo tempo em condições normais e 12 aeronaves como limite máximo tolerado por curtos períodos de tempo. Em caso de elevadas demandas, este setor pode ser desmembrado em dois subsetores com capacidade ATC de 6 a 8 aeronaves cada um.
T6	Setor de Chegadas do Norte e Nordeste do País: setor no qual o ATCO controla, dentre outros fluxos, aeronaves em aproximação para SBGR pela STAR MOXEP 1A.	5 aeronaves ao mesmo tempo em condições normais e 7 aeronaves como limite máximo tolerado por curtos períodos de tempo.
T1	Setor de Chegadas do Sul do País: setor no qual o ATCO controla, dentre outros fluxos, aeronaves em aproximação para SBGR pela STAR ILSOR 1B.	7 aeronaves ao mesmo tempo em condições normais e 10 aeronaves como limite máximo tolerado por curtos períodos de tempo.

Fonte: Brasil (2018)

A capacidade dos Setores ATC em que se inserem as STAR que servem ao aeroporto de Guarulhos, não representa um “gargalo” para o fluxo de tráfego aéreo, conforme será demonstrado posteriormente pela análise dos relatórios diários de operação do CGNA. O limitador ao aumento da demanda é a capacidade aeroportuária do aeroporto de Guarulhos. De acordo com dados do Portal Operacional, acessado pelo endereço eletrônico do CGNA, essa capacidade é de 57 aeronaves por hora, ou seja, aproximadamente 29 pousos

e 28 decolagens por hora, sendo seu valor idêntico ao da capacidade do sistema de pistas.

Atualmente, a capacidade do aeroporto de Guarulhos pode ser aumentada em algumas operações de pouso e decolagem por hora, quando há condições para separação visual, que permite a operação segregada sob VMC. “Tal operação ocorrerá ao permitir-se a decolagem de aeronaves de SBGR simultaneamente e de maneira independente da aproximação de aeronaves, com referências visuais, para a pista paralela [...]” (BRASIL, 2020, p.2).

Uma outra forma possível de aumentar a capacidade do aeroporto de Guarulhos é a utilização da recategorização de esteira de turbulência. A OACI enviou para a apreciação dos Estados signatários duas propostas de emenda ao DOC 4444, conhecido como PANS-ATM, que regula assuntos relacionados aos serviços de tráfego aéreo. Em uma das propostas, há uma recategorização das aeronaves quanto à esteira de turbulência. Essa recategorização pode permitir a redução das separações entre elas em determinados casos, o que contribuirá para o aumento da capacidade de pista de determinados aeroportos, incluído o aeroporto de Guarulhos, caso o Brasil passe a utilizá-la.

O planejamento estratégico para se definir a malha aérea de voos para o aeroporto de Guarulhos é realizada utilizando-se o processo de tomada de decisão colaborativa. Esse processo envolve CGNA, ANAC, Administração Aeroportuária, Companhias Aéreas e por vezes, Organizações Regionais do DECEA. A partir da capacidade aeroportuária declarada da ANAC, acordam-se entre as empresas e a administradora do aeroporto os horários das chegadas e saídas das aeronaves (BRASIL, 2018).

Executa-se esse processo no planejamento estratégico para que os atrasos sejam minimizados. No entanto, caso não se respeitem os horários estipulados, esse esforço colaborativo pode ser desperdiçado e haverá a necessidade de diversas medidas táticas para mitigar seus efeitos (BRASIL, 2018).

Aplicam-se as denominadas medidas de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo durante a fase tática, já descrita anteriormente, para demandas de tráfego de acordo com as capacidades do sistema. São técnicas de regramento da demanda que podem ser aplicadas de modo isolado ou combinado. (BRASIL, 2018). Em geral, as FMC, em conjunto com os supervisores dos órgãos de

controle, adotam como padrão de medida ATFM para o aeroporto de Guarulhos, em momentos de maior demanda, a separação por milhas, ou seja, uma separação baseada em espaço.

A separação por milhas (MIT) deve ser utilizada para organizar os fluxos, de modo a que seja possível gerenciá-los, e para viabilizar a acomodação de tráfegos adicionais pela provisão de maior espaçamento entre as aeronaves. Já a separação por minutos (MINIT), segundo a mesma publicação, é utilizada para a transição para um ambiente operacional convencional, quando se perde a visualização dos tráfegos na tela de vigilância, ou quando já se está em um ambiente operacional convencional (BRASIL, 2018).

De acordo com Brasil (2018), exceto quando uma separação maior tenha que ser empregada, devido a questões de esteira de turbulência entre as aeronaves, conforme discriminado nas tabelas 2 e 3, emprega-se, em espaço aéreo terminal, uma separação mínima 5 NM, independente do dispositivo de vigilância empregado (radar de terminal, ADS-B, dentre outros)

Entretanto, uma separação mínima de 3 NM pode ser empregada em espaço aéreo terminal, desde que sejam cumpridos os requisitos técnicos previstos na CIRCEA 100-61 – Aplicação de Separação Radar Mínima de 3 NM entre as Aeronaves”. Dentre esses requisitos, constam o monitoramento constante dos canais dos radares, para se garantir a precisão das pistas geradas (posição dos aviões disponibilizadas pelas telas de vigilância), os radares estejam com referências horárias válidas e central horária esteja ativa durante a operação.

Os requisitos técnicos exigidos pela CIRCEA 100-61 são cumpridos pelos sistemas utilizados na terminal São Paulo e devido a isso, os controladores de tráfego aéreo podem empregar separação mínima de 3 NM entre as aeronaves alinhadas para o pouso na aproximação final do aeroporto de Guarulhos. Caso o Brasil endosse a proposta da OACI de recategorização das aeronaves quanto à esteira de turbulência, conforme supramencionado, os novos mínimos de separação poderão ser os que constam na tabela 4 a partir de 2021.

Tabela 2 – Mínimos de Separação de Esteira de Turbulência

Categoria da aeronave que segue à frente	Categoria da aeronave que segue atrás	Mínimos
PESADA	PESADA	4NM
	MÉDIA	5NM
	LEVE	6NM
MÉDIA	LEVE	5NM

Fonte: Brasil (2018, p.228)

Tabela 3 – Mínimos de Separação de Esteira de Turbulência com Airbus 380-800

Aeronave precedente	Aeronave que segue	Mínimos de separação radar para esteira de turbulência
A380-800 / outra aeronave pesada	A380-800	Não requerido (vide Nota)
A380-800	Outra aeronave pesada	6 NM
A380-800	média	7 NM
A380-800	leve	8 NM

Fonte: Brasil (2018, p.274)

Tabela 4 – Mínimos de Separação de Esteira de Turbulência de acordo com a recategorização proposta pela OACI

<i>Preceding aircraft group</i>	<i>Succeeding aircraft group</i>	<i>Distance-based wake turbulence separation minima</i>
A	B	7.4 km (4.0 NM)
	C	9.3 km (5.0 NM)
	D	9.3 km (5.0 NM)
	E	11.1 km (6.0 NM)
	F	11.1 km (6.0 NM)
	G	14.9 km (8.0 NM)
B	B	5.6 km (3.0 NM)
	C	7.4 km (4.0 NM)
	D	7.4 km (4.0 NM)
	E	9.3 km (5.0 NM)
	F	9.3 km (5.0 NM)
	G	13.0 km (7.0 NM)
C	D	5.6 km (3.0 NM)
	E	6.5 km (3.5 NM)
	F	6.5 km (3.5 NM)
	G	11.1 km (6.0 NM)
D	G	7.4 km (4 NM)
E	G	7.4 km (4 NM)

Fonte: ICAO (2019, p.20)

Não há atualmente técnicas definidas e padronizadas para separar as aeronaves em distância de maneira adequada, mas apenas os mínimos de separação que devem ser aplicados. Os controladores confiam em suas experiências anteriores e atuam de maneira empírica.

Conforme já exposto, controladores de tráfego aéreo agem baseados em conhecimento quando não tem experiência e baseados em regras quando já a detém. Portanto, controladores inexperientes acabam por não dispor de um manual apropriado de “como fazer” e acabam por reproduzir as ações baseadas nas regras criadas a partir da atuação empíricas dos controladores mais experientes, que por também não disporem de um manual apropriado durante sua fase de aprendizado, consolidam práticas e criam suas próprias regras empíricas.

Apesar da separação em milhas náuticas ser o padrão utilizado pelos controladores de tráfego aéreo, tanto do APP-SP quanto nos demais órgãos que utilizam como ferramenta telas de vigilância, devido ao preconizado nos regulamentos que balizam a atividade de controle de tráfego aéreo no Brasil, constata-se que é possível utilizar um sequenciamento baseado em tempo não somente em ambientes não radar. Esse tipo de sequenciamento pode resultar em um fluxo mais eficiente, em determinadas condições.

Na Inglaterra, utiliza-se também o parâmetro tempo para definição de separação entre as aeronaves. O NATS vislumbrou, no ano de 2014, a possibilidade de implementação do conceito *Time Based Separation*, ou seja, da separação baseada em tempo no aeroporto de Heathrow, o mais movimentado da Inglaterra. A partir da utilização de separação baseada em tempo, esperava-se a diminuição das distâncias entre as aeronaves em aproximação final, mantendo-se o tempo de voo entre elas, em dias de ventos de proa fortes, ou seja, ventos contrários ao sentido dos voos. Isso deveria acontecer porque as aeronaves voam mais lentamente em relação ao solo (UNITED KINGDOM, 2014).

A redução de separação, em cenários com fortes ventos de proa, é possível porque se comprovou que as esteiras de turbulência geradas pelas aeronaves se dissipam mais rapidamente. Dessa forma, com redução de separação, mantendo-se o tempo de voo entre duas aeronaves, evitar-se-iam atrasos (UNITED KINGDOM, 2014).

Implementou-se o TBS no aeroporto de Heathrow em 2015. Ele se tornou o primeiro aeroporto do mundo a ter um sistema dessa natureza. O sistema e os procedimentos TBS reduziram as esperas em voo associadas à fortes ventos de proa durante a aproximação final das aeronaves (UNITED KINGDOM, 2017).

Em 2018, implementou-se no mesmo aeroporto uma versão aprimorada do TBS, denominada *enhanced* TBS (eTBS), que trouxe uma série de categorias de esteira de turbulência mais refinadas e ferramentas adicionais de separação. No primeiro mês de utilização, obteve-se com o TBS um ganho de 2.6 movimentos em uma hora, com um vento de proa maior do que 20 nós (UNITED KINGDOM, 2017).

O próximo passo a ser dado pelo NATS é a implementação da denominada *Pairwise Separation*, que consiste na aplicação de mínimos de separação específicos para cada par de aeronaves, ao invés da separação atualmente existente e aplicada pelo NATS que divide as aeronaves em seis categorias. Isso diminuiria a separação entre as aeronaves em aproximação para pouso nesse aeródromo (UNITED KINGDOM, 2017).

Na próxima subseção, tratou-se de evidenciar a influência dos fatores humanos e da automação na atividade de controle de tráfego aéreo, como os controladores lidam com situações de alta complexidade, de que forma suas experiências afetam seu *modus operandi*, qual a dinâmica do trabalho em equipe e como a automação pode impactar na carga de trabalho.

2.2 Influência dos fatores humanos e da automação na atividade de controle de tráfego aéreo

Com o aumento de complexidade da atividade de controle de tráfego aéreo, conforme já descrito, passou-se também a estudar os fatores humanos e a automação dos sistemas e como eles interferem nessa atividade. Requer-se na atividade ATC, altamente complexa atualmente, diferentes tipos de soluções de problemas, como tomar decisões, diagnosticar e planejar. Além disso, é preciso sempre antecipar eventos, monitorar o que está acontecendo e elaborar cálculos mentais. Há muitos fatores e componentes que se inter-relacionam, interagem e mudam de valor. Ocorrem também eventos indeterminados que podem alterar a natureza do problema. Há incertezas quanto ao momento em que eventos possam ocorrer e a natureza da mudança que eles ocasionarão. (MARMAS; PAVARD, 1999).

De acordo com Pavard e Dudgale (2006), o sistema ATC é um sistema complexo. Mesmo que se conheçam as condições iniciais, nesse caso dadas

pela maioria dos planos de voo que se repetem diariamente e que definem a malha aérea, os resultados sempre são diferentes. Para chegar a resultados idênticos, seria necessário listar todos os fatores que influenciam o fluxo e determinar todas as soluções possíveis. Isso é impossível, pois não se pode prever todos os eventos passíveis de ocorrer. Além disso, as soluções vão sendo desenvolvidas à medida em que o operador humano atua.

A atividade ATC não consiste na resolução de um problema, mas sim na percepção da existência dele e na tomada de decisões. Além disso, é necessário avaliar se a ação é realmente necessária e em caso afirmativo, qual o momento oportuno para praticá-la. A complexidade do trabalho do ATCO advém da limitação do número de parâmetros que podem manipular. Isso restringe sobremaneira o número de ações possíveis de serem executadas. Entretanto, o monitoramento continuado das aeronaves e a projeção de suas posições futuras é extremamente desgastante, por exigir enorme atenção e percepção (ATHÈNES et al, 2002).

Na atividade ATC, os controladores de tráfego aéreo devem analisar uma gama de informações de profunda complexidade para decidir quem tem prioridade nos pousos e decolagens (BISPO; FRERRUCCIO 2001). O trabalho demanda grande carga mental e emocional para tomar decisões em tempo restrito. Exige-se agilidade intelectual, velocidade de raciocínio, resistência ao estresse e capacidade de adaptação. (MOREIRA; VIDAL, 1999). Os controladores executam uma gama diversificada de tarefas. Um estudo chegou a um total de 83 (PASQUALI; LAGO, 1987).

Dentre as 83 tarefas que os ATCO executam, conforme supramencionado, pode-se destacar as seguintes: identificar aeronaves, conhecer suas performances e capacidades, conhecer as trajetórias que seguem, seus níveis de voo, velocidades e prioridades para pouso, manter comunicações com pilotos e outros ATCO, manter a separação de segurança entre as aeronaves, conhecer métodos, regulamentos, procedimentos e padronizações para executar o trabalho de forma eficiente e usar as informações disponibilizadas sobre as aeronaves para tomar decisões (REBELLO, 1997).

Segundo Sauki, W. Filho e Brito (2003), há requisitos importantes de um ATCO para o desempenho adequado da atividade. Dentre esses requisitos, destacam-se o raciocínio espacial adequado, a boa dicção, saber se comunicar

com os pilotos para emitir instruções, conhecer as regras a empregar na atividade, saber onde consultar e como interpretar cartas aeronáuticas e informações de publicações aeronáuticas relevantes, conhecer adequadamente a estrutura de rotas existente, conhecer a localização dos principais aeródromos, saber o impacto dos fenômenos meteorológicos no fluxo de tráfego, saber operar sistemas de tratamento de planos de voo e por fim, saber interpretar as informações das telas de vigilância e identificar as aeronaves por ela.

Segundo Wickens, Mavor, McGee (1997), na atividade ATC, assim como em qualquer profissão de grande complexidade, um evento complexo pode ser resolvido por comportamento baseado em regras, pelos profissionais mais experientes ou baseado apenas no conhecimento, no caso de profissionais inexperientes. Mesmo para um controlador de tráfego aéreo experiente, um dado evento pode ativar o comportamento baseado em regra, onde esse ATCO trabalhou por muitos anos, e o comportamento baseado em conhecimento, caso ele trabalhe em um novo órgão ou em um novo setor.

Quando as demandas se tornam excessivas e a complexidade torna-se alta, os ATCO procuram manter uma performance adequada sem gasto excessivo de energia, ao modificar a forma como lidam com as solicitações dos pilotos. Essa flexibilidade e capacidade de adaptação não são facilmente ensinadas e tornam-se progressivamente mais importantes em cenários mais complexos e menos previsíveis. A tomada de decisão, na maior parte do tempo, no entanto, é rotineira e habilita o ATCO a selecionar procedimentos apropriados a serem aplicados em situações corretamente identificadas (WICKENS; MAVOR; MCGEE, 1997).

Grande parte das decisões tomadas pelos ATCO são colaborativas, pois órgãos de controles possuem inúmeros setores. Isso gera a necessidade de desenvolvimento de estratégias conjuntas para se evitar conflitos futuros. A identificação de conflitos e estados de tráfego futuros, com múltiplas aeronaves de performances distintas, entretanto, ultrapassam a limitada capacidade humana. Requer-se então algum nível de automação e a criação de ferramentas que auxiliem na tomada de decisão dos ATCO (WICKENS; MAVOR; MCGEE, 1997).

Segundo Wickens, Mavor, Macgee (1997 apud HOPKINS, 1991) não é claro em que extensão esse tipo de automação é prejudicial à consciência

situacional dos controladores de tráfego aéreo, mesmo que traga benefícios como maior eficiência no gerenciamento do tráfego aéreo. Ainda de acordo com Wickens, Mavor, Macgee (1997, apud BAINBRIDGE, 1983), a implementação de automação pode resultar no aumento da carga de trabalho. Isso pode ocorrer quando se exige uma elevada carga cognitiva para a monitoração da automação.

De acordo com Klomp et al (2019), quando o ser humano ocupa o papel central em um sistema ATM automatizado, é preciso que ele o aceite e sinta-se confortável com a utilização das ferramentas disponíveis e com a interface homem-máquina. Muitas propostas de sistemas e ferramentas de automação já foram rechaçadas pela comunidade ATC. Segundo Westin, Borst, Hilburn (2016), o grau de aceitação de um novo sistema de automação e suas ferramentas de suporte varia com sua adequação às habilidades humanas e às estratégias que são empregadas por seres humanos.

Segundo Wickens, Mavor e Mcgee (1997), embora muitas teorias predigam que a performance decai quando se atinge capacidade mental limite de um indivíduo, provou-se que não é o que acontece com os controladores de tráfego aéreo. Eles expandem seus recursos de atenção quando a demanda e a carga de trabalho mental crescem e mantém a mesma performance. Pode-se, no entanto, atingir tamanha carga de trabalho que comece a realmente afetar o desempenho, tornando a manipulação do tráfego impraticável.

Segundo Lamourex (1999), o fator que interfere na carga de trabalho não é o número de aeronaves em si, mas o que elas estão fazendo, em especial, com relação a outras aeronaves. A carga de trabalho mental de um ATCO tem relação com o tempo que ele tem para tomar certas decisões. A redução de uma separação mínima, por exemplo, limita ainda mais o tempo de tomada de decisão pelo controlador de tráfego aéreo, o que representa uma elevação na carga de trabalho mental. Nos casos em que a carga de trabalho se encontra em níveis elevados, nem sempre diminuir o tamanho dos setores e aumentar o número de ATCO resolve o problema. Isso ocorre devido ao elevado incremento no número de coordenações e no volume de comunicações entre eles nos diversos setores (WICKENS; MAVOR; MCGEE, 1997).

Treinamentos que simulam posições radar concentram-se na capacidade dos controladores de tráfego aéreo em gerenciar grandes demandas de tráfego, em geral, acima da que gerenciarão na realidade. Esse tipo de treinamento é

essencial para desenvolver as habilidades de novos controladores e para manter os níveis de proficiência de controladores mais experientes. Entretanto, igualmente importante é a realização de treinamentos em equipe, que incluam o coordenador e o supervisor como participantes ativos. Devido ao fato da maioria dos sistemas de controle de tráfego aéreo terem sido desenvolvidos para o trabalho de forma individual, esse tipo de treinamento faz-se ainda mais relevante, para realçar a importância do trabalho em equipe e para padronizar as ações das equipes de um mesmo órgão de controle (WICKENS; MAVOR; MCGEE, 1997).

No Brasil, os controladores de tráfego aéreo realizam treinamentos em um simulador denominado LABSIM, que possui quatro salas que reproduzem, cada uma, um órgão operacional com diversas consoles. Isso torna viável a simulação dos setores existentes nesse órgão. Ele possibilita a realização de treinamentos de até 4 órgãos de controle, de maneira segregada ou conjunta, simulando a interação entre órgãos distintos. Além disso, é possível realizar treinamentos que incluam coordenadores e supervisores, interagindo dentro de seu órgão operacional, e de supervisores de órgãos operacionais distintos, interagindo entre si. Entretanto, esses treinamentos ainda focam prioritariamente na atividade de controle de tráfego aéreo e não na atividade de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo. Com isso, deixa-se de simular a atuação do CGNA e das Células de Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo (FMC), que desempenham conjuntamente a atividade de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo e gerenciamento do espaço aéreo (COSTA, 2010).

Na próxima seção, definiu-se o conceito de Sincronização de Tráfego baseado em trajetórias 4D, que são gerenciadas levando em conta além das três coordenadas espaciais, como se faz atualmente, também o tempo. Esse conceito é essencial para a efetivação das Operações Baseadas em Trajetórias, que contribuirão para um salto de eficiência no gerenciamento de tráfego aéreo a médio e longo prazo, ao permitir aos pilotos voar nas trajetórias ótimas, em velocidades ideais, de acordo com a densidade de tráfego do momento e passar por pontos de controle em horários ideais calculados.

3 O CONCEITO DE SINCRONIZAÇÃO DE TRÁFEGO

Nos Estados Unidos, a FAA apresentou o conceito de TBFM (*Time Based Flow Management*). Esse conceito consiste em definir horários específicos para as aeronaves entrarem e saírem de espaços aéreos de grande demanda, de modo a otimizar o fluxo. Para que esse conceito funcione de fato, o sistema de gerenciamento de fluxo precisa ser abastecido de informações de horários previstos de chegada e saída dos voos (UNITED STATES, 2017).

Implementou-se o conceito TBFM em 20 Centros de Controle de Área para se medir os tempos gastos pelas aeronaves em cada fase do voo. Isso permitirá que o número correto de aeronaves esteja nos setores e aeródromos nos exatos momentos em que possam ser acomodadas. Esse conceito consiste no primeiro passo para que seja implementada a Sincronização de Tráfego, conforme será detalhado a seguir (UNITED STATES, 2017).

A OACI apresentou em 2005 o documento nº 9854, denominado “*Global Air Traffic Management Operational Concept*” (GATMOC), que representa uma espécie de visão do sistema ATM do futuro. Essa visão contém diversos conceitos operacionais de gerenciamento de tráfego aéreo a serem implementados em um horizonte de vinte anos, independentemente da tecnologia que estiver sendo empregada. Isso se torna viável ao definirem-se as funcionalidades que serão requeridas pelos sistemas ATM, sem especificar quais equipamentos serão utilizados.

Um dos conceitos apresentados é o da Sincronização de Tráfego ou TS (*Traffic Synchronization*), que se refere ao estabelecimento e manutenção de um fluxo de tráfego aéreo seguro, ordenado e eficiente. O TS relaciona-se com o gerenciamento de conflitos e o balanceamento demanda/capacidade. Um dos princípios do TS é o controle das aeronaves por meio de trajetórias 4D, que inclui o tempo como a quarta dimensão (ICAO, 2005).

Na TS, as aeronaves deverão cumprir suas trajetórias de modo a passar pelos pontos significativos em determinado horário ideal calculado. Prevê-se ainda que em todas as fases do voo, os controladores poderão deixar sob a responsabilidade do piloto passar por certo ponto em um horário especificado, a fim de manter uma sequência requerida para que se evitem descontinuidades de fluxo (DOC 9854, 2005).

De acordo com Sanz et al. (2019), os sistemas ATM do futuro basear-se-ão no conceito denominado *Trajectory Based Operations* (TBO). Esse conceito depende do conceito de TS para seu funcionamento, pois requer que as aeronaves cumpram trajetórias 4D de extrema precisão. O TBO altera totalmente a concepção do ATC de uma visão tática de resolução de conflitos, em um curto prazo, para uma visão mais estratégica de separar as aeronaves, com bastante antecedência. Isso permite reduzir a carga de trabalho ao aliviar a pressão de um tempo de resposta muito pequeno requerido por soluções táticas.

As aeronaves, no conceito TBO, manter-se-ão em trajetórias ótimas pelo maior tempo possível, entretanto, deverão passar por pontos de controle em uma janela de horários designada. Essas janelas serão largas o suficiente para permitir aos ATCO e aos próprios usuários responderem de maneira flexível às inúmeras condições de voo e pequenas o suficiente para garantir previsibilidade e o aumento na capacidade (SANZ et al, 2019).

Para viabilizar o TBO, os controladores de tráfego aéreo precisarão lançar mão de ferramentas avançadas de suporte à decisão. Eles continuarão a ser peças essenciais no gerenciamento das trajetórias 4D, ao monitorar e revisar as trajetórias em tempo real. Mesmo com a alocação de rotas e a resolução de conflitos de modo antecipado, as separações requeridas não previstas, o sequenciamento, a mudança nas condições meteorológicas, as mudanças nas restrições do espaço aéreo, requererão pequenas mudanças táticas nas trajetórias pré-planejadas e necessitarão da ação direta deles (KLOMP et al, 2019).

Segundo Sanz et al. (2019), o conceito de TBO alicerça-se em três tipos de trajetórias. A primeira delas é a *Business Development Trajectory* (BDT), que é definida estrategicamente e leva em conta as necessidades das partes interessadas e os recursos que precisam ser alocados para viabilizá-la taticamente no futuro. Tem-se também a *Shared Business Trajectory* (SBT), definida após um processo de tomada de decisão colaborativa com os usuários e disponibilizada em publicações aeronáuticas. Por fim, tem-se a *Reference Business Trajectory* (RBT), que é a trajetória desejada pelas empresas aéreas e que os provedores de serviços de navegação aérea buscarão viabilizar.

Realiza-se o gerenciamento de trajetórias 4D em inúmeras fases. Na fase de planejamento, a trajetória é vista como uma SBT que será negociada,

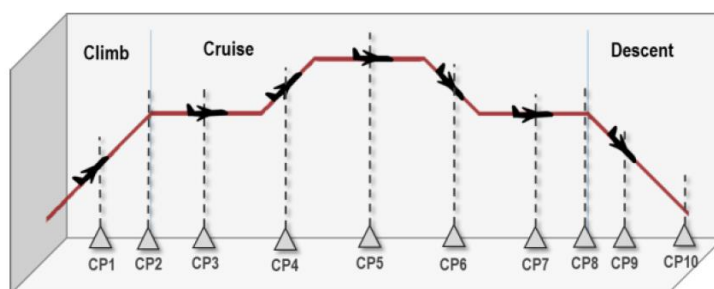
tornando-se uma RBT, quando as partes interessadas chegarem a um acordo. Posteriormente, há por parte dos ATCO o monitoramento dessa trajetória. Quando necessário, essa rota pode ser modificada (SANZ *et al*, 2019).

Ainda de acordo com Sanz et al. (2019), o EUROCONTROL realizou um estudo onde modelou as trajetórias 4D a partir de uma base de dados de aeronaves e simulações de Monte Carlo, para dar conta da grande variabilidade dos parâmetros levados em conta para desenvolvê-las. Calcularam-se janelas de tempo (TW) e definiram-se pontos de controle ao longo das três fases de voo (subida, cruzeiro e descida), conforme ilustrado na figura 6.

De acordo com a hora de passagem por cada ponto de controle, construíram-se histogramas que representa uma aproximação da curva normal, para cada um desses pontos. Ao fixar-se a posição x do ponto de controle, e após se inserir nele a variação de tempo com distribuição normal, considerando-se um nível de confiança de aproximadamente 95% (2σ), adotado no estudo, pode-se afirmar que as aeronaves estarão em cada ponto de controle em um determinado horário, com probabilidade aproximada de 95% (SANZ *et al*, 2019).

Obtiveram-se janelas de tempo de 20 a 96 segundos para a fase de subida, janela com grande variância devido à forte influência dos ventos e de políticas operacionais das empresas nessa fase do voo; de 5 a 15 segundos para a fase de cruzeiro e de 13 a 50 segundos para a fase de descida, que também possui grande variância devido às muitas incertezas associadas a essa fase do voo, tais como condições de aproximação dos aeroportos, congestionamentos em solo devido à baixa visibilidade e políticas operacionais das empresas (SANZ *et al*, 2019).

Figura 6 – Perfil de um voo com pontos de controle



Fonte: Sanz et al. (2019, p.5)

O principal ganho operacional com a implementação do TBO será viabilizar as operações *gate to gate*, com rotas mais ágeis e ótimas para cada tipo de aeronave. Com isso, obter-se-á um gerenciamento de fluxo mais efetivo. Haverá muita liberdade para os operadores estabelecerem suas rotas ideais. O voo será cada vez mais entendido como algo contínuo, com menos atores envolvidos, desde seu planejamento até as análises pós operações. Além da necessidade de melhoria das comunicações entre pilotos e controladores de tráfego aéreo, requerer-se-á um maior nível de automação para o processo de verificação, atualização, revisão e sincronização das rotas.

De acordo com Klomp et al. (2019), desenvolveu-se uma proposta para o gerenciamento de trajetórias 4D, denominada “espaço de soluções”, construída com auxílio de automação. Ela possibilita aos controladores de tráfego aéreo terem acesso, antecipadamente, a todas as ações possíveis de controle, o que permite que utilizem estratégias robustas e eficazes. Essas estratégias basear-se-ão em ações próximas às práticas correntes do dia a dia dos ATCO, o que facilitará a aceitação desse tipo de automação e contribuirá para a manutenção de um nível de proficiência aceitável desses profissionais.

O sistema de gerenciamento de trajetórias 4D será capaz de mostrar aos controladores de tráfego aéreo restrições de ações calculadas a partir da performance das aeronaves, ao invés de propor algum tipo de ação calculada por algoritmos. Por exemplo, no lugar de sugerir para qual nível de voo ele deve subir ou descer uma aeronave, a automação deixará claro a faixa de níveis disponíveis para subida ou descida. Com isso, cada ATCO resolverá o problema à sua maneira (KLOMP *et al*, 2019).

O ATCO permanecerá no domínio da situação (automação centrada no homem), pois há o consenso de que é impossível chegar-se a uma automação completa dos sistemas ATM. Implementações parciais demonstraram a viabilidade desse tipo de sistema, porém, há espaço para melhorias (KLOMP *et al*, 2019).

Na próxima seção, descreveu-se de que forma se desenvolveu, gradualmente, o Plano Global de Navegação Aérea (GANP). Esse plano norteia implementações da área de Gerenciamento de Tráfego Aéreo (ATM) no mundo todo. Essas implementações visam garantir a eficiência do gerenciamento de tráfego aéreo e a interoperabilidade entre os sistemas ATM globais. Detalhou-se

a ferramenta de gerenciamento de chegadas (AMAN), prevista nas implementações do GANP e desenvolvida para auxiliar os controladores de tráfego aéreo no sequenciamento das aeronaves em aproximação para pouso em terminais de alta demanda de tráfego.

4 CRIAÇÃO DO PLANO GLOBAL DE NAVEGAÇÃO AÉREA E IMPLEMENTAÇÕES DO AMAN

A partir dos anos 80, a indústria do transporte aéreo cresceu mais aceleradamente do que a maioria das outras indústrias. Levando-se em conta o crescimento constante da aviação até os anos 80, as projeções de crescimento para o futuro e as novas tecnologias que estavam por vir, o Conselho da OACI considerou os futuros requisitos para a comunidade de aviação civil (ICAO, 2016).

Criaram-se, pelo Conselho da OACI, comitês especiais para tratar dos sistemas de navegação aérea do futuro, denominados Comitês FANS (*Future Air Navigation Systems*). A finalidade desses comitês era estudar, identificar e avaliar novas tecnologias, incluindo o uso de satélites, além de fazer recomendações para desenvolvimentos futuros da navegação aérea para um período de 25 anos. Eles concluíram que a tecnologia baseada em satélites ofereceria uma solução adequada para transpor as limitações dos sistemas baseados em solo e para atender às necessidades futuras da comunidade de aviação civil internacional (ICAO, 2016).

A evolução dos trabalhos dos Comitês FANS culminaram no desenvolvimento do Plano Global de Navegação Aérea, plano global harmonizado de implementações na área ATM (ICAO, 2016).

O atual Plano Global de Navegação Aérea desenvolveu-se gradualmente, a partir do início dos anos 90. A importância do GANP está no fato de ser um plano global harmonizado de implementações ATM, que orienta esforços dos Estados, Provedores de Serviços de Navegação Aérea, aeroportos, operadores, a OACI, dentre outras organizações internacionais. A partir dele, apresentou-se um compromisso global de implementações para aprimoramentos ATM, alicerçados em soluções normativas, tecnológicas, procedimentais, dentre outras (ICAO, 2016).

Em 1998, o primeiro plano global para sistemas CNS/ATM foi desenvolvido e publicado (Doc9750 1ª Edição). Essa publicação foi revisada e ampliada, originando a 2ª edição do Doc9750. Em 2006, a 3ª edição do Doc9750 apresentou o Plano Global de Navegação Aérea, abrangendo diversas áreas da aviação civil, como o gerenciamento de tráfego aéreo, comunicações aeronáuticas, meteorologia aeronáutica, gerenciamento de informações aeronáuticas (ICAO, 2016).

Revisou-se esse plano em 2012 e incluiu-se a metodologia *Aviation System Blocks Upgrade* (ASBU) que, de acordo com a OACI, é uma metodologia que se baseia no estabelecimento de um cronograma global flexível, onde se prevê que os Estados avancem em suas capacidades de Navegação Aérea de acordo com requisitos operacionais específicos. Essa metodologia permitirá aos Estados e demais partes interessadas atingir uma harmonização global, aumentar as capacidades do espaço aéreo e aeroportuária ao mesmo tempo em que se reduzem os impactos ambientais (ICAO, 2016).

O DECEA publicou o Plano de Implementação ATM Nacional em 2012, após a publicação da 4ª edição do GANP e em consonância com o Plano de Implantação de Navegação Aérea Baseada em Performance para a Região da América do Sul (SAM), publicado em 2011. Esse plano tem por finalidade apresentar a visão estratégica para a evolução do Sistema ATM Nacional, baseado em performance, de forma a atender às peculiaridades locais e assegurar que esta evolução esteja de acordo com o planejado pela OACI no GANP (BRASIL, 2012).

Constata-se que o Plano de Implementação ATM Nacional ainda não menciona os blocos de implementação da ASBU. Entretanto, há um alerta sobre o conceito de atualização por blocos. De acordo com a ASBU:

[...]Ao estabelecer os empreendimentos de evolução do Sistema ATM Nacional, o plano deverá definir diretrizes específicas para as implementação das ações necessárias ao seu atendimento, além de, em especial, considerar a evolução por meio de “atualização por blocos”, cujo conceito está em desenvolvimento na OACI (BRASIL, 2012, p.18).

O processo de planejamento, incluído neste plano de implementação, leva em conta a identificação das necessidades dos usuários, a identificação da área

homogênea ou fluxo principal de tráfego, a análise do sistema ATM existente; a revisão dos requisitos do Planejamento ATM Nacional; a identificação das lacunas de performance existentes, o estabelecimento de objetivos e estratégias, a elaboração e o refinamento das alternativas de solução, a execução da análise preliminar de segurança operacional das soluções escolhidas, a análise inicial de custo-benefício, a avaliação das alternativas de solução com os usuários, a implantação da solução escolhida e a validação e monitoramento (BRASIL, 2012).

Os empreendimentos de evolução do Sistema ATM Nacional procuram abarcar as KPA definidas pela OACI. O plano nacional definiu esses empreendimentos em: Segurança Operacional, Gerenciamento de Tráfego Aéreo, Comunicações, Navegação e Vigilância, Meteorologia Aeronáutica, Gerenciamento de Informações Aeronáuticas; Busca e Salvamento; e Recursos Humanos. O Programa Sirius, conduzido pelo DECEA, capitaneia as implementações ATM dentro dos empreendimentos mencionados. (BRASIL, 2012).

De acordo com a 5ª edição do Doc 9750, os módulos do Bloco 0 de implementações ATM do GANP levam em conta as tecnologias que já existiam quando esta edição foi disponibilizada, em 2016. Os Estados foram encorajados a implementar os módulos do Bloco 0, que se agrupam em quatro grandes áreas, de modo a atender às suas necessidades operacionais específicas. As tecnologias para viabilizar as implementações ATM para o Bloco 1, segundo o GANP, passaram a estar disponíveis a partir de 2019. (ICAO, 2016).

Dentre as diversas implementações ATM realizadas pelo DECEA e previstas já no Bloco 0 GANP, uma é de vital importância para auxiliar os ATCO no sequenciamento de aeronaves para pouso, o AMAN. Implementou-se o AMAN nos Controles de Aproximação de Belo Horizonte, Curitiba e Rio de Janeiro e no Centro de Controle de Curitiba e de Brasília e há previsão, no médio prazo, de implementá-la no Controle de Aproximação de São Paulo, onde localiza-se o aeroporto de Guarulhos, de acordo com o que preconiza o módulo *“Improve traffic flow through sequencing (AMAN/DMAN)”*, presente na ASBU do GANP.

A partir das implementações do AMAN, será possível que os ATCO atuem de modo mais eficiente na gestão de velocidades e no sequenciamento de aeronaves em aproximação para os aeroportos de grande demanda.

A principal função do AMAN é auxiliar o controlador de tráfego aéreo a gerenciar um fluxo de tráfego que ingressa em um determinado espaço aéreo, com auxílio de pontos de controle. Além disso, essa ferramenta permite a otimização da capacidade de pista de um aeroporto, auxilia o controlador de tráfego aéreo no sequenciamento de tráfegos que ingressam em uma terminal e diminui a carga sua de trabalho, devido à redução de esperas e vetorações em baixas altitudes (SUBEDI, 2015).

Desenvolveram-se os sistemas *Arrival Management Systems* (AMANs) na Europa, ao longo de anos de pesquisas. Utilizam-se esses sistemas de maneiras diferentes nos diversos locais do mundo onde foram implementados. “*Arrival Management*” é o termo geral para o processo de organização das chegadas em fluxos contínuos e eficientes para pouso. Entretanto, o AMAN não substitui as decisões de um controlador de tráfego aéreo, não é a solução final para o sistema ATM e nem é uma ferramenta de alerta e resolução de conflitos de tráfego (BRUSSELS, 2010).

Consideram-se, nos processos de implementação do AMAN, o ajuste da ferramenta para as condições locais de operação. Esses processos são complexos e tem enorme impacto na aceitação da ferramenta. Conforme já mencionado, é preciso que os ATCO se sintam confortáveis com a utilização das ferramentas de automação e com a interface homem-máquina para que efetivamente aceitem suas implementações. Esse ajuste da ferramenta, em princípio, é contínuo, pois seu aprimoramento nunca se encerra (BRUSSELS, 2010).

A transição de um ambiente sem AMAN para um ambiente com AMAN é um acontecimento crítico. Treinar os controladores para utilizá-lo antes de sua implementação é essencial. O treinamento auxilia a corrigir possíveis falhas encontradas na ferramenta e a definir ou refinar os procedimentos a serem utilizados na operação real (BRUSSELS, 2010).

De acordo com Subedi (2015), para que seja possível estimar as trajetórias das aeronaves, necessita-se fornecer dados confiáveis ao AMAN. Ele interage com o sistema de processamento de dados e com os radares. Utilizam-

se, portanto, informações obtidas pelo radar, inseridas em um plano de voo, de condições meteorológicas, da estrutura local do espaço aéreo e das rotas, bem como do modelo de performance das aeronaves. Tudo isso resulta em um estimado de tempo de voo. A ferramenta também permite a inserção manual de uma taxa de pousos ou da separação mínima desejada na aproximação final.

Basicamente, o AMAN “captura” as aeronaves a partir de aproximadamente 100NM de distância para o pouso. Sistemas em solo computam seus horários preferenciais de chegada. De acordo com os critérios de sequenciamento e a partir do horário preferencial de chegada, estabelece-se a ordem das aeronaves no fluxo de tráfego. Após isso, alertam-se os ATCO para que sequenciem as aeronaves conforme estabelecido pelo sistema (SUBEDI, 2015).

As incertezas associadas a cada voo podem variar de acordo com as condições meteorológicas do momento, o padrão de tráfego atual e a qualidade do preditor de trajetórias. Em menores altitudes, essas incertezas tornam-se mais evidentes, em especial, na previsão da capacidade disponível devido a fortes ventos de proa ou de cauda, ou por erros na própria previsão do horário estimado de chegada (SUBEDI, 2015).

Os fatores preponderantes que afetam a performance do AMAN são: as diferenças entre o vento médio previsto e o real, as variações de vento em setores e altitudes ao longo da rota, as performances de navegação das aeronaves e dos sistemas de vigilância, os modelos de previsão das trajetórias das aeronaves e por fim, a acuracidade dos dados (SUBEDI, 2015).

Ainda segundo Subedi (2015), sistemas de gerenciamento de voo das aeronaves possuem funcionalidades que utilizam modelos que consideram as aeronaves como pontos materiais e solucionam diversas equações diferenciais para prever suas trajetórias. Para que esse cálculo seja realizado, necessita-se das condições da aeronave (peso, potência, dentre outros), das condições de vento e temperatura, e das intenções da aeronave (razão de subida ou descida, velocidade, dentre outros). No entanto, a maior parte dessas informações não está disponível para sistemas de solo, e as que estão disponíveis, não são conhecidas com grande precisão.

De acordo com o Manual da primeira versão brasileira do AMAN, desenvolvido pela empresa ATECH, ele tem por objetivo otimizar os fluxos de

aeronaves em áreas terminais, integrando APP e ACC de maneira a reduzir o número de esperas em voo e o tempo total de voo das aeronaves.

Para realizar os cálculos de modo eficiente, o AMAN utiliza informações que constam nos planos de voo das aeronaves, informações de posicionamento e informações das STAR cadastradas em seu banco de dados, para calcular o tempo de chegada de cada aeronave. A partir desse tempo de chegada calculado e da separação a ser empregada na aproximação final, o AMAN calcula o tempo em minutos que cada aeronave precisa ser atrasada ou adiantada.

O tempo calculado pelo AMAN é atualizado a cada ciclo radar, pelo novo posicionamento das aeronaves, pela detecção de aeronaves que tenham iniciado esperas em voo e de acordo com as separações requeridas, devido à esteira de turbulência, o que varia com os modelos das aeronaves.

Ressalta-se que o AMAN deve ser utilizado em horários de maior demanda e não resolve conflitos de tráfego. Além disso, o controlador tem a liberdade de reordenar a sequência de aeronaves, caso considere pertinente. Por fim, a atual versão da ferramenta não leva em conta os ventos em altitude, o que pode gerar mudanças constantes na ordem sugerida para as aeronaves no sequenciamento, após as atualizações de suas posições.

A metodologia de cálculo do AMAN relativo aos estimados de pouso segue os seguintes passos:

- define-se um ponto de referência nas STAR denominado Metering Fix (MF);
- o AMAN utiliza a posição atual da aeronave para obter o estimado de tempo de cruzamento do MF, quando as aeronaves ainda não o cruzaram;
- o AMAN utiliza a categoria de esteira de turbulência da aeronave, o tipo de propulsão e valores de velocidade cadastrados, para estimar o tempo de voo do MF até a cabeceira da pista. Soma-se esse valor ao estimado obtido anteriormente até o bloqueio do MF;
- ao ingressar em espaço aéreo terminal, os estimados das aeronaves são recalculados com base em suas posições atuais e nos valores cadastrados de velocidade previstas nos fixos de posição existentes em uma STAR;

- a primeira aeronave a chegar, em princípio, será a primeira a pousar (a ferramenta não leva em conta o efeito do vento ou procedimentos de ultrapassagem).

Para se evitarem instabilidades na sequência definida para as aeronaves, o AMAN normaliza as velocidades e utiliza valores prefixados baseados na distância delas até a cabeceira da pista.

Em pesquisa de satisfação realizada pelo DECEA em 2018 com os controladores de tráfego aéreo do ACC-BS e do ACC-CW, centros de controle que já haviam implementado a ferramenta AMAN há alguns anos e treinado seus ATCO para sua utilização, constataram-se algumas limitações em seu emprego.

Dentre essas limitações supracitadas, é possível destacar que o sistema não reconhece rotas fora das STAR, deixando de calcular o sequenciamento para aeronaves que seguem essas rotas, o que inviabiliza a utilização da ferramenta do modo adequado em condições meteorológicas adversas e impossibilita o “encurtamento” das suas trajetórias. Além disso, quando duas aeronaves chegam a um determinado MF ao mesmo tempo com uma determinada separação lateral, o AMAN considera que as aeronaves já estão sequenciadas longitudinalmente.

Adicionalmente, destaca-se a limitação do AMAN em realizar cálculos baseados nas velocidades no solo reais das aeronaves, em especial, para aeronaves de baixa performance, pois utiliza valores pré-fixados e não leva em conta fatores como preferências operacionais das empresas aéreas e ventos em altitude. Por fim, reportou-se a ausência de alerta por parte da ferramenta quando há modificações em um sequenciamento, reduzindo-se assim a consciência situacional dos ATCO (BRASIL, 2018).

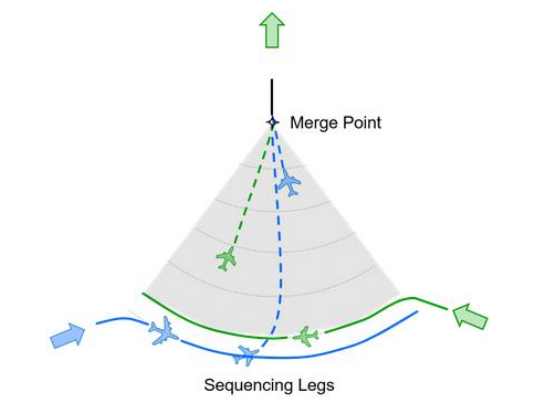
A partir da evidenciação dessas limitações supramencionadas, a ATECH passou a desenvolver uma nova versão do AMAN, denominada *Advanced AMAN*, com algumas novas funções, de acordo com requisitos definidos por controladores de tráfego aéreo das localidades onde ele foi implementado. De acordo com o relatório emitido pelo CINDACTA I, órgão regional do DECEA no qual se encontra o ACC-BS, emitido no dia 07 de outubro de 2019, os seguintes requisitos foram solicitados para a inclusão na ferramenta *Advanced AMAN*:

- informação ao controlador de tráfego aéreo quando uma mudança na sequência de aeronaves for realizada automaticamente;
- possibilidade de utilização da ferramenta com o método *Point Merge*;
- sequenciar tráfegos que estejam separados lateralmente, sem separação longitudinal, ao ingressarem no mesmo MF.

O método *Point Merge* é um método operacional que integra fluxos de alta densidade, ao direcioná-los para um ponto em comum, para aumentar a consciência situacional do ATCO e diminuir sua carga de trabalho. As aeronaves são instruídas a voar para o *Merge Point* quando considerado oportuno, após terem suas trajetórias alongadas ou encurtadas (BRUSSELS, 2019).

O método *Point Merge* é especialmente útil em terminais complexas, como a terminal São Paulo, onde há aeroportos com grandes fluxos de chegada, como o aeroporto de Guarulhos. Nessas terminais, a vetoração radar não é uma ferramenta muito adequada, e não há muito espaço para esperas em voo. Está em curso o projeto “Terminal São Paulo NEO” que busca revisar o conceito de espaço aéreo da terminal São Paulo. Em seu escopo, há a inclusão do método *Point Merge* para o aeroporto de Guarulhos (BRASIL, 2019).

Figura 7 – Point Merge



Fonte: Brussels (2020)

Na próxima seção, descreveram-se alguns modelos utilizados em estudos da dinâmica de fluxos de tráfego aéreo, com destaque para os modelos do tipo LWR, que preveem a ocorrência do efeito *jamiton*. Apresentaram-se dois estudos de caso que utilizam esses modelos e que ilustram formas de melhorar a eficiência nos fluxos de aproximação para aeroportos congestionados. Destacou-se o estudo de caso da terminal Guangzhou. Nele, adaptou-se o modelo LWR, tipicamente utilizado para estudos de fluxo de tráfego rodoviário, para análise de fluxos de tráfego de aproximação para aeroportos com grande demanda de tráfego.

5 MODELOS DE FLUXO DE TRÁFEGO AÉREO E ESTUDOS DE CASO

5.1 Modelos para estudos de fluxo de tráfego aéreo

Em geral, os sistemas de transporte aéreo são modelados a partir da teoria das filas, de modo estocástico ou determinístico. Deve-se isso ao fato de que quando a demanda se aproxima da capacidade, os atrasos aumentam exponencialmente. Eliminar os atrasos, no entanto, é praticamente impossível, devido à natureza do sistema (NAGAOKA; GWIGNER, 2014).

Pequenas incertezas podem ocasionar interrupções de fluxo partindo e chegando de um determinado aeroporto com elevada demanda de tráfego. Caso utilizem-se modelos de fila não padrão, as dificuldades de análise tornam-se ainda maiores (NAGAOKA; GWIGNER, 2014). Segundo Itoh e Mitici (2019), é necessário um estudo utilizando modelo de filas orientado por dados para se conseguir reduzir atrasos em aeronaves em aproximação para determinado aeroporto.

Segundo Torres (1966), a teoria das filas consiste em um método estatístico que visa estimar tempos de espera de clientes por serviços que lhes são ofertados, quando eles chegam ao acaso. Utilizou-se essa teoria, inicialmente, em circuitos telefônicos. As aplicações dessa teoria intensificaram-se durante o período da Segunda Guerra Mundial, com inúmeras aplicações militares. Posteriormente a esse período, passou-se a utilizar a teoria em aplicações civis.

Em geral, as filas surgem pela falta de programação, de forma deliberada ou não. Na maioria dos casos práticos, é praticamente impossível realizar uma

programação que leve em conta todas as variáveis, como é o caso do sistema de gerenciamento de tráfego aéreo.

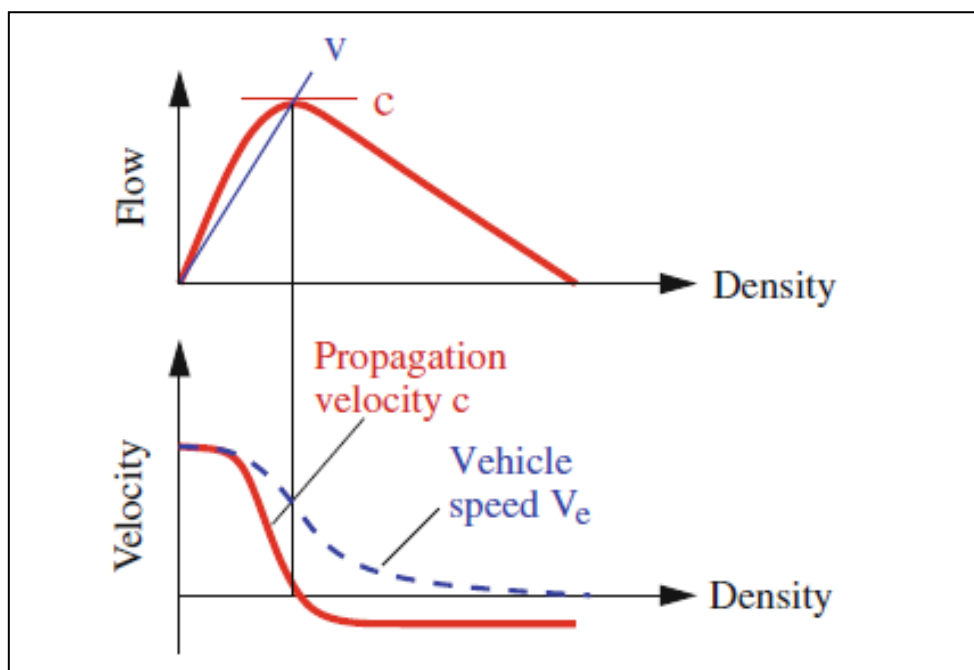
Um processo de fila pode ser descrito pelo regime de chegada, que é definido pela população de clientes (finita ou infinita) e a distribuição de probabilidade no intervalo de tempo entre chegadas, o regime de serviço e a disciplina da fila. No regime de serviço, deve ser considerada a disponibilidade do serviço (sempre disponível ou não), a capacidade do sistema e a duração do tempo de serviço de cada cliente, que pode ser constante ou aleatório. (TORRES, 1966).

Como alternativa aos modelos baseados na teoria das filas, estocásticos ou determinísticos, é possível modelar o tráfego aéreo a partir da adaptação de modelos utilizados para tráfego rodoviário, como o modelo LWR.

Segundo Treiber e Kesting (2013, p. 81), em 1955 e 1956, Lighthill e Witham e independentemente Richard, completaram a equação de continuidade propondo uma relação estática. Assumiram que o fluxo ou a velocidade estão sempre em equilíbrio local com relação à densidade (carros por metro, por exemplo) considerada. Levando-se em conta essa relação estática e a equação de continuidade, produz-se a forma mais simples do chamado modelo LWR em homenagem a Lighthill, Witham e Richard.

O modelo LWR pode incluir termos adicionais, de acordo com a complexidade da situação estudada. No caso do modelo aplicado ao tráfego rodoviário, a estrada em estudo pode conter bifurcações ou aumento no número de faixas de fluxo.

A variação de densidade pode se propagar tanto no sentido em que o motorista de um carro está se dirigindo (em caso de tráfego livre), quanto no sentido oposto (tráfego congestionado). Segundo Treiber e Kesting (2013, p. 83), pode-se chegar a uma relação entre a velocidade do veículo e a velocidade de propagação da variação de densidade desses veículos, definindo-se uma velocidade relativa do ponto de vista do motorista (utilizando como referencial o motorista de um dos carros).

Figura 8 – Fluxo X Densidade \Leftrightarrow Velocidade X Densidade

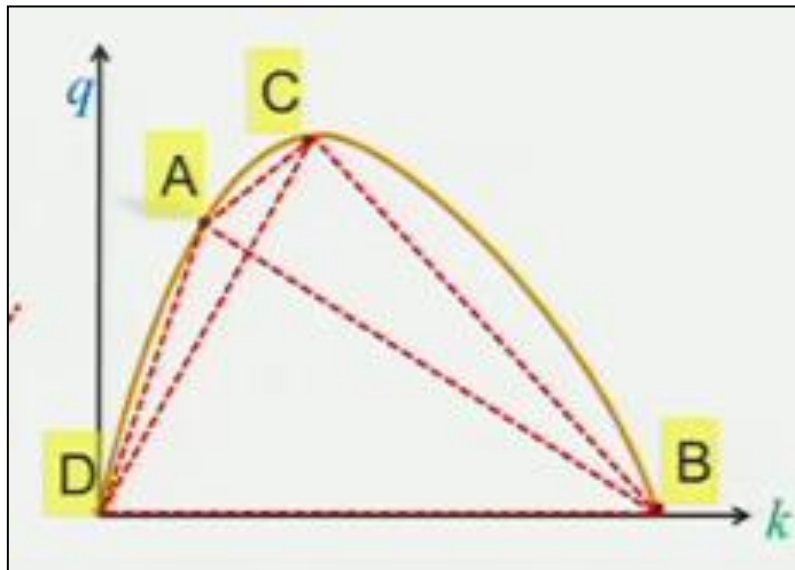
Fonte: Treiber e Kesting (2013, p.84)

Pode-se observar, a partir dos gráficos da figura 8, na parte superior “fluxo x densidade”, que inicialmente o fluxo aumenta em função do aumento da densidade, a partir de zero, até atingir seu valor máximo. A partir desse ponto, com o aumento da densidade, o fluxo começa a diminuir até se tornar nulo para o valor de densidade máxima.

As velocidades dos carros são obtidas pelas tangentes dos ângulos formados pelas retas que saem da origem do gráfico “fluxo x densidade”, até um ponto qualquer, para dada densidade e fluxo. Já a velocidade de propagação da variação de densidade é dada pela tangente do ângulo da semirreta que une dois pontos de interesse quaisquer no gráfico “fluxo x densidade” (figura 9).

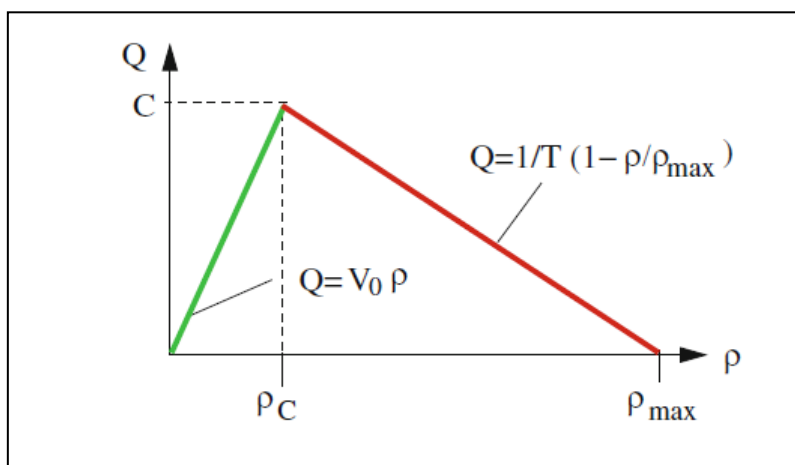
O modelo LWR mais simples, de acordo com Treiber e Kesting (2013), utiliza um diagrama triangular fundamental, que por sua natureza, apresenta apenas duas velocidades de propagação de variação de densidade: uma para tráfego livre, outra para tráfego congestionado, conforme pode-se visualizar na figura 10. É possível “quebrar” uma rodovia em seções, cada uma com suas características e sua frente de congestionamento, denominada *jam front*.

Figura 9 – Fluxo X Densidade



Fonte: Treiber e Kesting (2013, p.84)

Figura 10 – Diagrama Triangular Fundamental



Fonte: Treiber e Kesting (2013, p.92)

Em situação de tráfego livre, as variações de densidade se propagarão no mesmo sentido dos veículos, com a velocidade desejável (**V_0**), representada pela reta verde na figura 10. Já em tráfego congestionado, a velocidade de propagação do fluxo, densidade e variação de velocidade é dada pela reta descendente, indicando que as variações de velocidade e densidade se propagam “para trás”, não somente em relação aos outros carros, mas para um observador estático também. Para esse diagrama fundamental triangular, o

estado de fluxo máximo corresponde ao topo do triângulo. A frente de onda “rodovia abaixo” se propaga com a mesma velocidade que as variações menores dentro do congestionamento (TREIBER; KESTING, 2013).

Os congestionamentos previstos por esses modelos são chamados de *jamitons*. A palavra *jamiton* advém da junção da palavra inglesa *jam*, que dentre outros muitos significados, pode ser traduzida como “engarrafamento”, com a palavra inglesa *soliton*, que na Física descreve uma onda considerada solitária, cuja estabilidade é invariável e que representa uma solução para algumas equações de propagação que aparecem em várias áreas (KOWSZUN, 2013).

O fenômeno *soliton* foi primeiramente descrito em 1834, por John Scott Russell (1808-1882), que observou uma onda solitária no Canal da União, na Escócia. Segundo Kowszun (2013), *jamiton* é uma palavra utilizada pelos pesquisadores de fluxo de tráfego que descreve, conforme já mencionado no capítulo de introdução, o efeito “invisível” que ocorre nas rodovias em que, sob certas circunstâncias, os engarrafamentos surgem sem haver uma causa aparente (na verdade trata-se da propagação de uma onda de choque solitária que se propaga na direção contrária ao deslocamento dos carros).

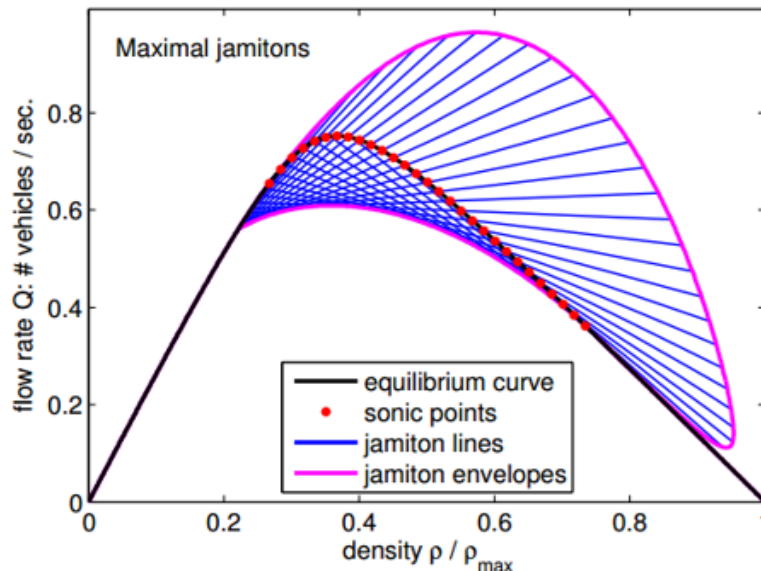
Um motorista, ao se ver num engarrafamento, já imagina que um acidente à frente tenha causado o transtorno, mas tão logo se mova, não consegue avistar nenhuma evidência de um acidente, nem tampouco alguma causa concreta para aquele atraso. Uma onda de congestionamento surge a partir da equação de continuidade e se propaga sempre para trás, ao considerar-se o referencial do motorista. Veículos que experienciam esses congestionamentos têm que frear e acelerar alternadamente, o que gera aumento significativo no volume de gases poluentes emitidos. Além disso, submetem-se os motoristas a um elevado nível de stress.

Ainda segundo Kowszun (2013), diversas tentativas de se construir modelos matemáticos foram empreendidas para se prever a ocorrência de um *jamiton*, com a finalidade de prevenir sua gênese.

O modelo macroscópico de *Payne Whitham*, que também utiliza a relação quadrática entre fluxo e densidade (figura 11), pode indicar de maneira simples a forma pela qual os *jamitons* se espalham nos pontos ao redor do diagrama básico. Observa-se sua ocorrência para uma gama de densidades descritas como densidades sônicas de *jamiton*, que geram linhas de congestionamento.

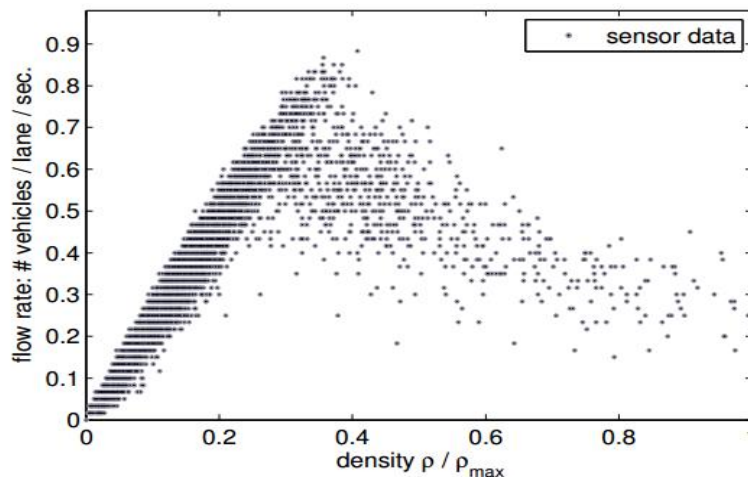
Essas linhas podem ser combinadas em um diagrama fundamental, o que evidencia uma gama de *jamitons* previstos pelo modelo *Payne Whitham*, que comparados com os dados reais obtidos por medição, mostram uma excelente correlação conforme se pode observar na figura 12 (KOWSZUN, 2013).

Figura 11 – Soluções previstas pelo modelo Payne-Whitham



Fonte: Kowszun (2013, p.56)

Figura 12 – Taxa de Fluxo do Departamento de Transporte de Minnesota



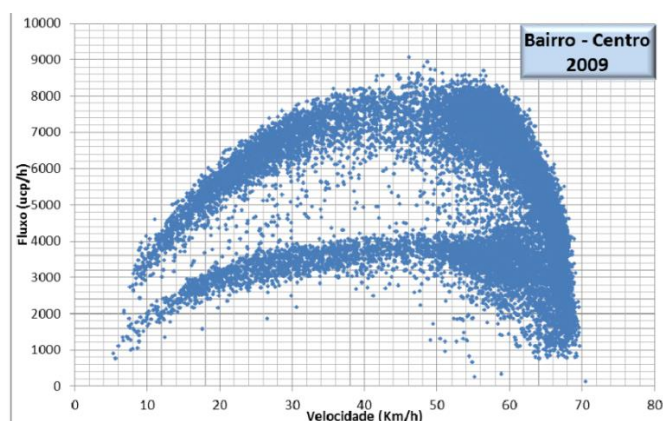
Fonte: Kowszun (2013, p.57)

Segundo Santos e Vilanova (2012), a Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET) analisou o movimento na Avenida 23 de Maio no sentido bairro – centro, com o auxílio de sensores. Realizou-se a coleta de dados entre às 06:00h e às 19:00h, período com maiores densidades de tráfego,

tomando como base intervalos de 5 minutos de observação. Com isso, obtiveram-se muitos conjuntos de dados do referido período, de modo a aumentar-se a confiabilidade dos resultados.

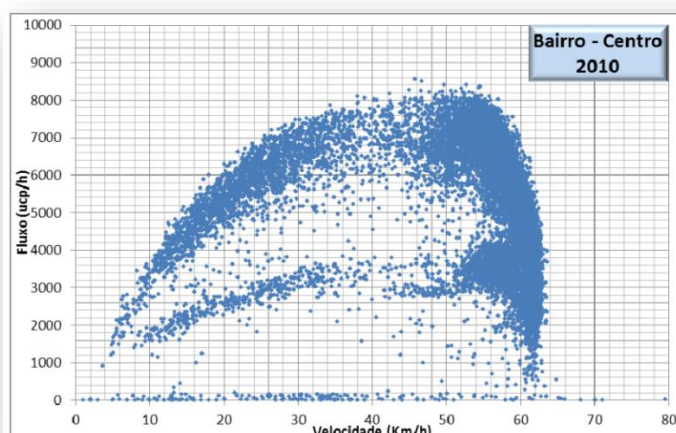
A partir dos dados coletados, obtiveram-se relações empíricas entre velocidade e a densidade, de acordo com as figuras 13 e 14. Esses dados empíricos revelaram que há mais de um valor de fluxo para alguns valores de velocidade, o comprova que há grande complexidade nos fatores que intervêm no trânsito. No entanto, pode-se evidenciar o comportamento parabólico, de acordo com a teoria tradicional. As teorias mais modernas, como a de *Payne Witham*, explicam de modo mais completo o que se observou (SANTOS; VILANOVA, 2012).

Figura 13 – Taxa de Fluxo da CET – Cidade de São Paulo - 2009



Fonte: Santos e Vilanova (2012, p.10)

Gráfico 14– Taxa de Fluxo da CET – Cidade de São Paulo - 2010



Fonte: Santos e Vilanova (2012, p.10).

Uma limitação ao uso dos modelos baseados no modelo LWR para fluxos de tráfego aéreo é que as velocidades verdadeiras das aeronaves se alteram à medida que elas variam suas altitudes, pois a pressão, a temperatura e a densidade do ar vão adquirindo novos valores e, conseqüentemente, modificam o arrasto. Devido a essa limitação, é necessário que se utilizem velocidades médias equivalentes, para uma análise mais apropriada.

Segundo ICAO (1993, p.1), o modelo ISA (*International Standard Atmosphere*) é definido no documento da ICAO 7488/2 e usado como referência para comparar as condições atmosféricas reais com a performance das aeronaves. De acordo com o DOC8168 da ICAO (2014), a seguinte Equação é utilizada para a obtenção dos valores de velocidade verdadeira da aeronave no ar, onde a variação de temperatura (VAR) é em °C, e altura (H) em pés:

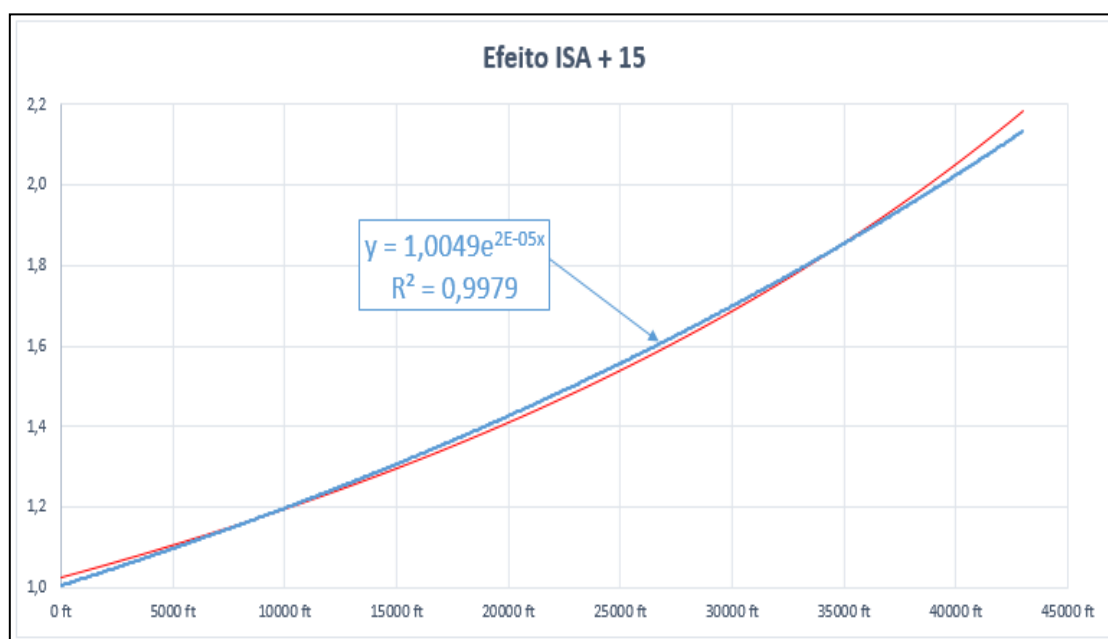
Cálculo da Velocidade Verdadeira (do Ar)

$$TAS = IAS \times 171233 [(288 \pm VAR) - 0.00198H]^{0.5} \div (288 - 0.00198H)^{2.628} \quad (1)$$

Fonte: DOC 8168 (2014, p.64)

O Brasil adota a atmosfera “ISA +15” como padrão

Figura 15 – Gráfico do Efeito ISA +15



Fonte: ICAO (1993, p.1)

Essa equação calcula a velocidade verdadeira ou *True Air Speed* (TAS). Como se pode observar no gráfico da figura 15, uma aeronave a uma altitude de 40.000 pés e com uma determinada velocidade indicada (IAS) teria a mesma multiplicada por um fator de correção de 2,0524 para a determinação de sua velocidade verdadeira. Uma outra aeronave, com a mesma velocidade indicada mas a 10.000 pés de altitude, teria sua velocidade modificada por um fator de correção de 1,2 para a determinação de sua velocidade verdadeira.

Pode-se concluir do acima exposto que à medida que as aeronaves descem, suas velocidades verdadeiras (TAS) tendem a diminuir, mas sempre mantendo um valor maior que suas velocidades indicadas (IAS).

Modelos macroscópicos, como o LWR, tratam o fluxo de tráfego como um tipo de fluido. Segundo Kowszun (2013, p.55), os primeiros modelos macroscópicos foram desenvolvidos na década de 1930 e buscavam obter dois tipos de medidas:

- 1) A densidade do tráfego, representado pela letra ρ , é o número de veículos dentro de uma determinada distância.
- 2) Fluxo do Tráfego, representado pela letra ϕ , é o número de veículos contabilizados que passaram determinado ponto da rodovia em um dado período.

Salienta-se que a densidade, ou seja, o número de veículos localizados numa determinada distância, dependerá dos tamanhos dos veículos e da “distância de segurança” entre eles. Essa distância varia de país para país e depende do comportamento dos condutores. A densidade de tráfego pode ser estimada utilizando-se a relação hidrodinâmica $\rho = \phi/V$ (TREIBER; KESTING, 2013).

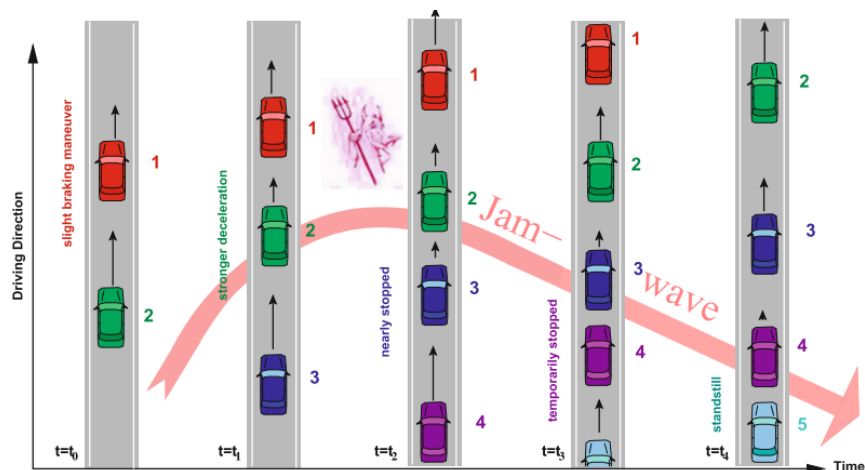
Por analogia, para cada trecho de voo das aeronaves em aproximação para o aeroporto de Guarulhos, nas STAR que conduzem a ele, há uma densidade de tráfego distinta e com isso, uma velocidade ideal distinta. Isso ocorre porque há três STAR que devem confluir para uma fila única de aeronaves, mais densa, e, portanto, com menor velocidade ideal para manter-se um fluxo constante e de acordo com a capacidade do aeroporto de Guarulhos.

De acordo com Treiber e Kesting (2013), há uma instabilidade no fluxo de tráfego conhecido como *Stop and Go Waves*, que é causada pelo atraso do motorista em adaptar sua velocidade àquela requerida pelo tráfego no momento.

Isso ocorre pela limitada capacidade em se acelerar e frear e pelo tempo de reação dos motoristas, o que ocasiona efeitos *jamiton* sequenciais.

Em analogia, pode-se considerar que uma falta de intervenção do controlador, ao permitir que o piloto voe com uma velocidade muito alta, seguida de uma grande redução de velocidade, pode ocasionar uma onda de congestionamento para as aeronaves que prosseguem na sequência. Outra analogia possível é a de redução excessiva da velocidade de um tráfego, na iminência de iniciar uma descida, devido a um tráfego à frente que já tenha iniciado descida e reduzido sua velocidade, em parte pelo próprio efeito de aumento do arrasto, ocasionado pela maior densidade do ar em altitudes inferiores. Essa atitude também poderá gerar uma onda de congestionamento, pela necessidade de se reduzir a velocidade de todos os tráfegos na sequência. Nessa situação, caso o mínimo de separação entre as aeronaves seja infringido, pode haver o emprego de vetorações e esperas, uma vez que as aeronaves não podem parar, como fazem os veículos automotores.

Figura 16 – Círculo Vicioso



Fonte: Treiber e Kesting (2013, p.258)

A partir da figura 16, é possível compreender a instabilidade gerada por uma onda de congestionamento. O cenário inicia-se com uma fila de carros, inicialmente em fluxo constante, a uma determinada velocidade V_e . No tempo $t=t_0$, o motorista do carro 1 freia suavemente e passa a manter uma velocidade $V_1 < V_e$. Como resultado, a velocidade ideal para o carro 2 passa a ser V_1 , e ele

inicia redução de V_e para V_1 , gastando um determinado intervalo de tempo no processo, concluindo a redução no tempo T_1 .

Caso a densidade de carros seja elevada, ou se o tempo para a adaptação da velocidade é muito grande, o *gap* do carro 2 no tempo T_1 é menor do que o padrão para o carro que o precede (carro 1). Com a finalidade de reestabelecer o distanciamento original, o motorista do carro 2 tem que frear ainda mais para atingir uma velocidade $V_2 < V_1$, no intervalo de tempo entre T_1 e T_2 .

Como o motorista do carro 3 também precisa de algum tempo para adaptar sua velocidade, o *gap* entre o carro 2 e o 3 torna-se menor que o padrão. Portanto, o motorista do carro 3 desacelera para uma velocidade $V_3 < V_2$, no tempo T_2 . Esse processo continua e chega ao carro 4, que necessita parar completamente no tempo T_3 .

Segundo Treiber e Kesting (2013), a onda de tráfego resultante se dissolve apenas se o número de novos veículos se aproximando da onda de congestionamento decresce. Como resultado, uma onda *stop-and-go* emerge, dando origem ao efeito *jamiton*. A densidades de tráfego suficientemente baixas, ou quando o tráfego consiste predominantemente de motoristas ágeis, o círculo vicioso é quebrado e os motoristas já adaptaram suas velocidades à nova situação quando um novo veículo chega à distância de interação, não permitindo que as ondas *stop-and-go* surjam.

O mecanismo nunca é efetivo em modelos que descrevam adaptações de velocidade instantâneas e tempos de reação nulos, como nos modelos LWR mais simples, sendo necessária a utilização de modelos LWR mais complexos (TREIBER; KESTING, 2013).

De acordo com Xu et al. (2016), ao utilizar-se o modelo LWR nos fluxos de tráfego aéreo em aproximação para uma terminal, observa-se o aparecimento de três fases distintas: fluxo livre, fluxo moderadamente controlado e fluxo intensamente controlado.

No fluxo livre, a separação entre as aeronaves em fila é suficientemente grande para que elas voem sem interferência das demais e utilizem a velocidade que desejarem. Nessa fase, o fluxo tem uma correlação positiva com a velocidade (XU et al, 2016).

Quando o fluxo passa para a fase de moderadamente controlado, o controlador de tráfego aéreo pode ter que tomar algumas medidas para garantir

uma separação segura entre as aeronaves. Nessa fase, a velocidade média dos tráfegos decresce com o aumento da densidade de aeronaves. Quando a densidade continua crescendo, os controladores passam a lançar mão de vetorações e esperas em voo (XU et al, 2016).

Caso se chegue a um determinado valor de densidade bastante elevada, passa-se à fase de fluxo intensamente controlado. Nessa fase, a taxa de fluxo aumenta, porém a densidade máxima diminui. Isso ocorre porque os controladores passam a aumentar a separação requerida para garantir a segurança e o fazem muitas vezes baseados em experiência, sem apoio de ferramentas de auxílio à decisão (XU et al, 2016).

Por fim, outro fator que interfere diretamente no fluxo de tráfego aéreo é a configuração do espaço aéreo e das rotas. Experiências demonstram que rotas mais longas permitem que as aeronaves realizem ajustes de velocidades em tempo hábil, evitando-se esperas e vetorações, o que ocorre com as STAR que conduzem ao aeroporto de Guarulhos (XU et al, 2016).

De acordo com Treiber e Kesting (2013, p.313), o comportamento dos motoristas não pode ser modelado em sua totalidade e nem o melhor modelo conseguirá capturar todos os aspectos de direção real. Motoristas de diferentes países possuem distintos estilos de direção, dirigem diferentes tipos de veículos e estão sujeitos a diferentes tipos de regulação. Segundo ele, os modelos necessitam ser adaptados para as situações de condições reais do tráfego local, além de serem calibrados e posteriormente validados.

Por analogia, supõe-se que não há um modelo que contemple em sua totalidade o comportamento de pilotos e controladores de tráfego aéreo que provém de diferentes companhias aéreas e órgãos de controle de tráfego aéreo, com culturas organizacionais e padrões operacionais distintos.

Segundo Xu et al (2016), há uma distinção clara entre motoristas e controladores de tráfego aéreo, pois os últimos são responsáveis pela segurança e eficiência do tráfego em seus setores. Mesmo que não haja modelos perfeitos para abarcar o comportamento humano, empreenderam-se diversos estudos envolvendo fatores humanos no controle de tráfego aéreo, conforme já detalhado neste trabalho. Esses estudos colaboram para o desenvolvimento de sistemas de gerenciamento ATM mais eficazes e de ferramentas de auxílio à decisão mais precisas.

Na próxima subseção, apresentou-se um estudo de caso no aeroporto de Tóquio, a partir do modelo de filas aplicado a dados reais, para demonstrar como com o auxílio do *Advanced AMAN* é possível aumentar a eficiência do fluxo de tráfego aéreo para um aeroporto com alta demanda de tráfego.

5.2 Estudo de caso no aeroporto de Tóquio

Pesquisadores empreenderam um estudo para entender os “gargalos” nas aproximações para o aeroporto de Tóquio, um dos mais movimentados do mundo, a partir da análise das estratégias de controle. Utilizou-se nesse estudo uma base de dados de dois anos, referentes a trajetórias voadas pelas aeronaves e seus planos de voo. Simulou-se, a partir desses dados, a utilização da ferramenta *Advanced AMAN*, ainda não implementada no Controle de Aproximação de Tóquio e que será capaz de coordenar horários de chegada para regiões mais amplas do que o AMAN atualmente implementado permite. A utilização do *Advanced AMAN* permitirá uma alocação de horários de chegada mais precisos e sugestões de roteamento atualizadas em tempo real, com pequeno tempo de processamento (ITOH; MITICI, 2019).

Segundo Itoh e Mitici (2019), a partir dos resultados obtidos pela simulação, constatou-se que quando aeronaves estão distantes do aeroporto de Tóquio, o fluxo de chegada é controlado a partir das restrições na capacidade do aeroporto e do espaço aéreo. Próximo ao destino, o controle de fluxo sofre uma transição e passa para o sequenciamento baseado em tempo, de modo a perceberem-se os intervalos requeridos entre as aeronaves, de acordo com os horários previstos de chegada.

Colocando-se um tempo mínimo de separação entre as aeronaves, incrementa-se o fluxo de pouso. Para o aeroporto de Tóquio, o ponto de transição no qual o gerenciamento de chegadas muda eficientemente de controle de fluxo para separação baseada em tempo é a 70 NM do aeroporto. Observou-se que, no futuro, melhorando-se os níveis de automação e aplicando-se a auto separação, com auxílio do *Advanced AMAN*, pode-se melhorar a taxa de pousos em até 120 % (ITOH; MITICI, 2019).

Portanto, a partir do estudo realizado para o aeroporto de Tóquio, no qual se utilizou o modelo de filas aplicado a dados reais, demonstrou-se que ao se

reduzir o tempo de separação entre as aeronaves, consegue-se reduzir os atrasos nos horários de chegada. Com isso, o benefício advindo é a mudança eficiente do controle de fluxo para o gerenciamento da hora de chegada, em uma gama de pontos de transição. Com o apoio do *Advanced* AMAN, uma gama mais eficiente de pontos de transição pode ser estimada, a partir de um modelo de fila orientado por dados, adotando-se valores particulares para cada aeroporto.

Na próxima subseção, apresentou-se um estudo de caso da terminal Guangzhou, que adaptou o modelo LWR, tipicamente utilizado para estudos de fluxo de tráfego rodoviário, para análise de fluxos de tráfego de aproximação para um aeroporto com grande demanda.

5.3 Estudo de caso no espaço aéreo terminal de Gungzhou

Segundo Yang et al (2017), sistemas de tráfego aéreo são sistemas tecno-sociais de alta complexidade. É preciso entender, em um nível maior de profundidade, como a infraestrutura e o ser humano se relacionam. Diversos estudos utilizaram o modelo LWR do tráfego rodoviário para previsão e controle do fluxo de tráfego aéreo. Em alguns desses estudos, procurou-se relacionar o fluxo ao esforço cognitivo dos ATCO, mas sem, no entanto, tentar caracterizar quantitativamente o sistema que representa a interação humana, quer dos ATCO entre si, quer dos ATCO com os pilotos.

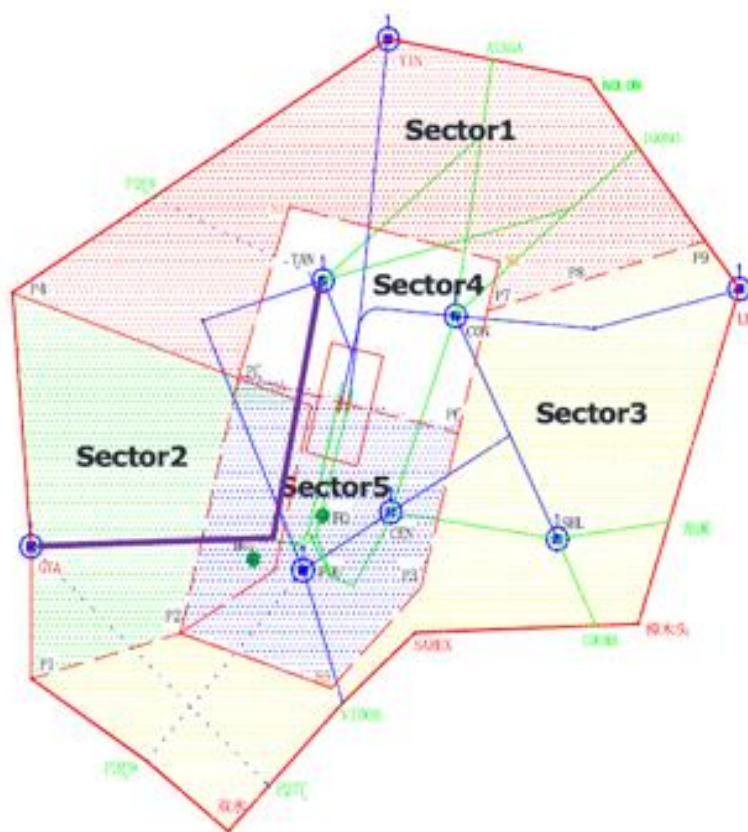
A partir de um estudo empírico que buscou quantificar o sistema representado pela interação humana em uma terminal movimentada da China, evidenciou-se o caos na dinâmica de fluxo de tráfego e nas atividades dos ATCO (conflitos em potencial e atividades de comunicação) que emerge nas fases de fluxo semiestáveis e congestionadas. Devido a isso, as ferramentas de automação do futuro devem ser customizadas e inteligentes para levar em conta fatores humanos e as fases de fluxo (YANG et al, 2017).

O Controle de Aproximação de Guangzhou é responsável pelos movimentos de saída e chegada do Aeroporto Internacional de Baiyun, um dos três aeroportos mais movimentados da China. Realizou-se um estudo empírico de tráfegos em aproximação para esse aeroporto, de modo a compreenderem-se as dinâmicas do espaço aéreo, baseada em uma rede multinível, com auxílio de métricas analíticas, de dados de trajetórias sincronizadas e de dados de

comunicações oriundos de três di as específicos de operação (YANG *et al*, 2017).

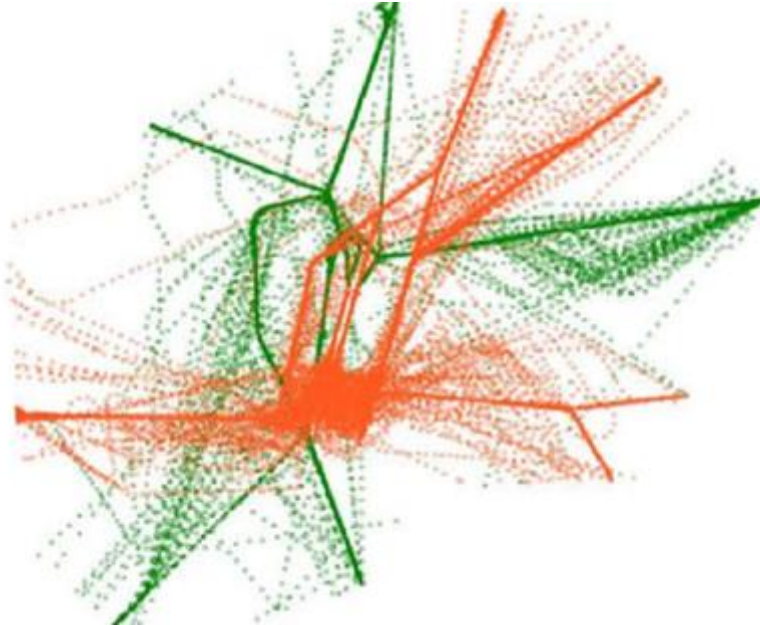
Esse estudo baseou-se, em parte, no diagrama fundamental, que relaciona variáveis de fluxo de tráfego (fluxo, densidade, dentre outros), conforme já descrito. Esse diagrama fundamental exhibe transições de estado de fluxo que correspondem a mudanças de estado do tráfego. Devido às distribuições esparsas e aleatórias dos fluxos de aeronaves, é difícil observar fases completas em uma única rota. Devido a isso, analisaram-se os dados de forma conjunta, englobando as rotas de aproximação com maior volume de tráfego (YANG *et al*, 2017).

Figura 17- Configuração do Espaço Aéreo da Terminal de Guangzhou



Fonte: Yang et al (2017, p.230)

Figura 18 – Dados das trajetórias de chegada (laranja) e saída (verde) na Terminal Guangzhou



Fonte: Yang et al (2017, p.230)

De acordo com os dados analisados, conforme esperado, obteve-se uma relação não linear entre o fluxo médio e a densidade média das aeronaves. Como se pode observar nas figuras 19 e 20, quando se aumenta a densidade média, restrições às aeronaves conduzem a uma velocidade média equivalente menor. Já o fluxo de aeronaves e a densidade média equivalente apresentam uma relação côncava. A partir do diagrama fundamental e da revisualização das trajetórias das aeronaves nos três dias de interesse, definiram-se quatro fases e analisaram-se essas fases com relação à dinâmica dos fluxos nas rotas selecionadas (YANG *et al*, 2017).

A fase livre corresponde a cenários de densidade média equivalente extremamente baixa, com grande separação entre as aeronaves e velocidades médias equivalentes com flutuações significativas. Nessa fase ocorre o “encurtamento” das trajetórias de grande parte das aeronaves, que passaram a não seguir as trajetórias das STAR (YANG *et al*, 2017).

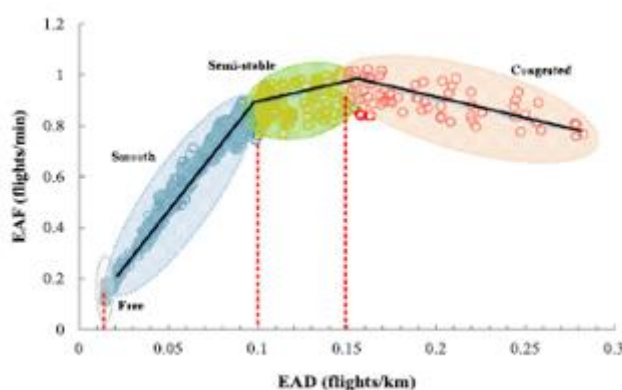
A fase suave, por sua vez, corresponde a cenários em que as velocidades médias equivalentes das aeronaves são relativamente altas, mas um pouco

abaixo à fase livre, devido a conflitos ocasionais entre as aeronaves. Nessa fase, o fluxo cresce linearmente com o aumento da velocidade média equivalente e as aeronaves voam nas STAR, sem “encurtamentos”, com separações aproximadamente equivalentes entre elas, mas não distribuídas uniformemente (YANG *et al*, 2017).

Com relação à fase semiestável, observam-se cenários em que as aeronaves voam nas STAR, com separações menores e mais uniformes entre elas. As velocidades médias equivalentes tornam-se visivelmente menores devido ao aumento de conflitos entre aeronaves, solucionados com reduções de velocidade solicitadas pelos controladores. Ocasionalmente, utilizam-se vetorações radar. O fluxo atinge seu maior valor e há um pequeno incremento da densidade equivalente média. Nessa fase, a utilização de recursos do espaço aéreo atinge seu pico e o tráfego passa a ser não estável, na transição de fase (YANG *et al*, 2017).

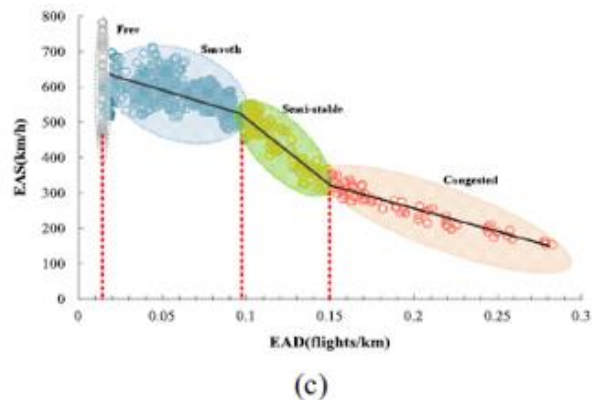
Por fim, a fase congestionada corresponde a cenários onde as velocidades equivalentes médias e o fluxo decrescem à medida que a densidade média aumenta. A resolução de conflitos muda de estratégia e ao invés de reduções de velocidade, empregam-se vetorações radar e esperas. O tráfego torna-se caótico e desordenado. A limitação dos ATCO em calcular parâmetros para vetorações e esperas é a principal causa do uso ineficiente da capacidade e o que origina os atrasos e as interrupções no fluxo (YANG *et al*, 2017).

Figura 19 – Relação entre fluxo médio equivalente e densidade média equivalente



Fonte: Yang et al (2017, p.231)

Figura 20 – Relação entre fluxo médio equivalente e densidade média equivalente



Fonte: Yang et al (2017, p.231)

Após a definição das fases, o estudo empreendido no espaço aéreo terminal de Guangzhou passou a considerar a interação humana. Segundo Yang et al (2017), a compreensão da dinâmica do tráfego em áreas terminais não pode ser obtida sem considerar as interações humanas. Um espaço aéreo terminal consiste em setores controlados colaborativamente e o comportamento dos ATCO pode ser definido como um processo fechado e repetitivo.

As ações empreendidas por um controlador passam pelas etapas de planejamento, implementação, monitoramento e avaliação. Intuitivamente, um incremento no tráfego levaria a mais conflitos, um fluxo menos eficiente e maior carga de trabalho. Entretanto, análises de correlação mostraram que na fase suave, a eficiência do fluxo é mantida, mesmo com o aumento do número de conflitos em relação à fase livre. Além disso, há um incremento muito pequeno na carga de trabalho dos ATCO. Esse fenômeno é conhecido como “inibição de complexidade cognitiva” e consiste na redução da carga de trabalho pela simplificação da estratégia de controle para o cenário do momento (YANG *et al*, 2017).

Na fase suave, os tráfegos são instruídos a manter as trajetórias das STAR e suas restrições de velocidade padrão, para que seja formada uma estrutura familiar e estável de tráfego. Na fase semiestável, o fluxo médio aproxima-se de seu valor máximo e a capacidade máxima dos setores é atingida. À medida que o volume de tráfego e os conflitos crescem, os ATCO definem pontos específicos ao longo das STAR (ponto de confluência de rotas por

exemplo), para aplicar vetorações radar. Isso cria uma padronização que diminui a carga de trabalho (YANG *et al*, 2017).

Quando os conflitos entre as aeronaves crescem demasiadamente, os ATCO procuram ser mais diretos nas comunicações e as priorizam de acordo com os conflitos que se apresentam. Por fim, na fase de congestionamento, os controladores passam a priorizar a segurança à eficiência, e na falta de ferramentas precisas para lidar com o caos, passam a aplicar separações maiores e muitas vetorações e esperas nas aeronaves (YANG *et al*, 2017).

Na próxima seção, apresentaram-se os dados obtidos a partir das simulações em tempo acelerado, das análises dos relatórios de operações do CGNA e dos questionários aplicados a pilotos e controladores de tráfego aéreo. A partir desses dados e da bibliografia apresentada, realizou-se a discussão.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Dados de simulação em tempo acelerado e discussão

Realizaram-se simulações em tempo acelerado para averiguar os efeitos de diferentes padrões de gestão de velocidades das aeronaves na eficiência dos fluxos de tráfego aéreo. Utilizou-se o simulador conhecido como *Total Airspace and Airport Modeler*, desenvolvido pela empresa americana *Jeppsen*. O DECEA possui atualmente duas licenças desse software, uma instalada no Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA) e outra instalada no Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA).

Esse simulador é utilizado para suportar pesquisas científicas e projetos de implementação de conceitos de espaço aéreo, em que se necessita de validação e comparação de cenários. De acordo com a Introdução do Manual do TAAM, a ferramenta proporciona a capacidade de modelar o tráfego aéreo e o comportamento das aeronaves em diferentes ambientes, como no voo em rota, nas proximidades dos aeródromos e nas manobras em solo.

Simulou-se o cenário de aeronaves em aproximação para o aeroporto de Guarulhos, com os planos de voo extraídos do SIGMA, referentes ao dia 28 de fevereiro de 2019, véspera de carnaval, com a configuração das STAR para a pista 09 da direita (09R) (representadas nas Figuras 21 e 22). Essas STAR

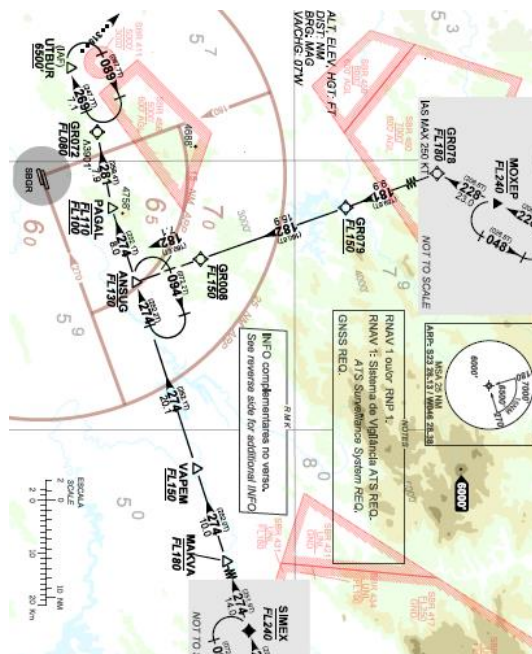
conduzem as aeronaves ao procedimento de aproximação de precisão ILS T, da pista 09R, descrito na figura 23.

O movimento total foi de 309 aeronaves. Consideraram-se as condições meteorológicas favoráveis. As aeronaves que utilizaram a STAR SIMEX 1A apareceram na simulação a partir da posição SIDUR, mantendo o FL320. As aeronaves que utilizaram a STAR MOXEP 1A apareceram na simulação a partir da posição ESDAD ou GEVGA no FL 300. Por fim, as aeronaves que utilizaram a STAR ILSOR 1B apareceram na simulação em ANISE no FL310.

Essa simulação não considerou a capacidade aeroportuária. Habilitaram-se, como ferramentas de separação e sequenciamento, apenas ajustes de velocidade e esperas, excluindo-se a vetoração radar, devido ao layout da terminal São Paulo e a complexidade da circulação em seu interior, conforme já exposto. A partir desse cenário, realizaram-se três simulações com parâmetros diferentes de velocidade das aeronaves, de modo a reproduzir intervenções dos ATCO e dos pilotos nas velocidades empregadas.

Cada uma das simulações gerou como *outputs* “consumo de combustível” e “tempo de espera”. Escolheu-se como indicador o tempo de espera e não o número de esperas, porque ao iniciar uma espera, nem sempre a aeronave a completa, pois o controlador pode solicitar que uma aeronave a abandone assim que se obtém a separação mínima requerida.

Figura 21 – STAR RNAV MOXEP 1A e SIMEX 1A (PISTAS 09L 09R)



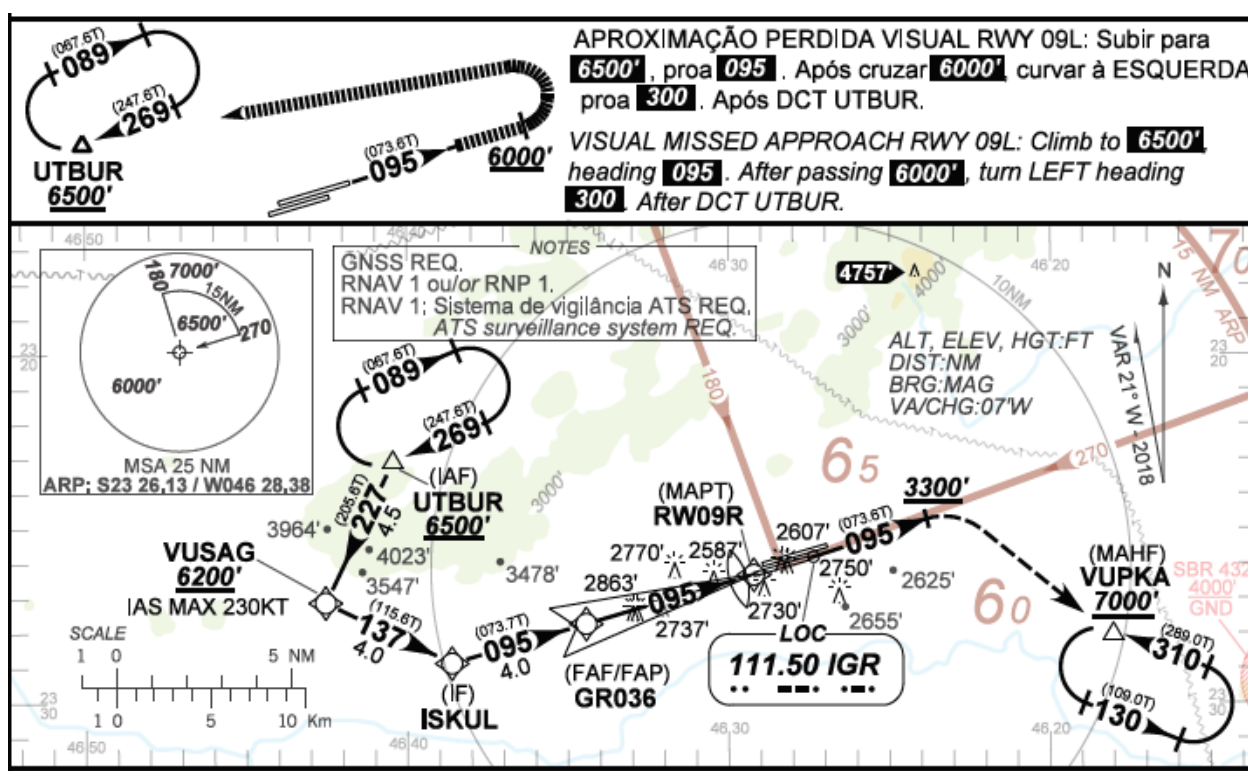
Fonte: Brasil (2020)

Figura 22 – STAR RNAV ILSOR 1B (PISTA 09L 09R)



Fonte: Brasil (2020)

Figura 23 – Vista em Planta IAP ILS T (PISTA 09R)



Fonte: Brasil (2020)

Ressalta-se que, no contexto do tráfego aéreo, nos locais de grande movimentação, como é o caso da Terminal São Paulo, os pilotos têm uma menor gerência nas velocidades de suas aeronaves, ou seja, cabe ao controlador de

tráfego aéreo manter o fluxo contínuo e determinar as “melhores” velocidades. Segundo a ICA 100-37, “Serviços de Tráfego Aéreo”:

[...] “para facilitar um fluxo de tráfego seguro e ordenado, as aeronaves podem ser instruídas a ajustarem a velocidade de uma maneira específica. As tripulações de voo devem ser informadas adequadamente sobre os ajustes de velocidade planejados.” (BRASIL, 2018, p.77)

As instruções para ajuste de velocidades surgem devido a uma série de fatores, tais como: a quantidade de tráfego, a situação dos aeroportos, as condições meteorológicas, dentre outros. Em tese, os mesmos fenômenos que os carros produzem nas estradas podem ocorrer nas STAR, em maior ou menor escala. Além disso, mesmo que as aeronaves estejam em um ambiente 3D, elas devem ser sequenciadas em uma fila e seguir uma trajetória predefinida.

Os procedimentos de chegada para SBGR, selecionados para as simulações, conforme supramencionado, são as STAR SIMEX 1A, MOXEP 1A e ILSOR 1C, todas para a pista 09R, cabeceira de uso predominante na maior parte do ano, devido ao regime natural de ventos. A estrutura dessas STAR possuem quesitos que facilitam a realização de analogia com a estrutura de uma rodovia de uma única faixa, constituindo-se em um modelo simples.

As STAR supramencionadas são as trajetórias utilizadas pela maioria das aeronaves em voos nacionais, provenientes da Região Sul, Sudeste, Norte e Nordeste e alguns provenientes da Região Centro-Oeste com destino ao aeroporto de Guarulhos (mais de 85%), conforme pode ser constatado na Tabela 5. Além disso, trafegam por essas STAR quase todas as aeronaves em voos internacionais com destino ao aeroporto de Guarulhos, provenientes de todos os continentes, com exceção da Oceania, que não possui voos diretos para Guarulhos e de uma pequena parcela de voos da América do Sul.

Essas três STAR convergem e as aeronaves voam para um ponto em comum denominado UTBUR, onde passam a voar em uma fila única e interceptam um procedimento de aproximação por instrumentos (IAP), que é uma trajetória que conduz a aeronave até o pouso. O procedimento comumente

aeronaves, de acordo com a suas performances e com a fase do voo em que se encontravam. Além disso, o simulador considerou as restrições de velocidades impostas pelas próprias STAR e alterou as velocidades das aeronaves para manter a separação mínima requerida de 5 milhas náutica entre elas. Como *outputs* dessa primeira simulação, obteve-se um tempo de espera de 05 horas e 43 minutos, aproximadamente, e um total de consumo de combustível de 137 toneladas.

A segunda simulação considerou as aeronaves mantendo altas velocidades, pelo maior tempo possível, sem cumprir as restrições de velocidade das STAR e as velocidades ideais de acordo com a performance, para efeitos de economia de combustível.

Como parâmetro para essa simulação, estabeleceu-se uma velocidade de 400KT até o cruzamento do FL100. Após o cruzamento do FL100, todas as aeronaves reduziram suas velocidades para 250KT (redução compulsória empregadas como medida padrão por motivos de segurança) e a mantiveram até a posição GR081, para as que utilizam a STAR ILSOR 1C e até a posição PAGAL, para as que utilizam as STAR SIMEX 1 A e MOXEP 1 A. Após esses pontos, onde os três fluxos se uniram e houve a necessidade de manutenção da separação de 5 NM entre as aeronaves, permitiu-se a redução das velocidades pelo simulador. Para esses parâmetros, obteve-se como *outputs* um tempo de espera de aproximadamente 10 horas 47 minutos e um consumo de combustível de 123 toneladas.

Figura 25 – Parâmetros do padrão *Base of Aircraft Data*

Type

Model

ROM Name

Description

Wing Tailplane Category

Classification

Wing Type

Reference Mass (kg)

Landing Mass (kg)

Maximum Take-off Weight (kg)

Remains Locked Allowed

Maximum Altitude Limit (ft)

ROC Adjustment Factor (for Apt. Deviation (ft/m))

AS32

Shot

AD32 - SHORT RANGE S

MEDIUM

Narrow Body Jet

Fixed Wing

0

0

0

☒

50

0

Antennae

125

25

150

80

160

Normal Airborne Deceleration (d/min)

Maximum Airborne Deceleration (d/min)

Normal Airborne Deceleration (d/min)

Maximum Airborne Deceleration (d/min)

Normal Speed First Approach (kt)

Maximum Speed First Approach (kt)

Normal Speed Touchdown (kt)

Maximum Speed Touchdown (kt)

Ground

1.6

Runway Lengths

City Runway

Wild Runway

1700

2000

Fuel Usage

Status (g/min)

Turn (g/min)

Resume Turning (g/min)

Takeoff (g/min)

Landing (g/min)

23

10

80

91

45

Cost View

Graph View

Entry Level	Climb			Cruise			Descent			Rate (times)			Turn (degrees)			Fuel Usage (kg/min)			Speed (kt)
	Min	Norm	Max	Min	Norm	Max	Min	Norm	Max	Min	Norm	Max	Min	Max	Norm	Max	Norm	Max	
10	125	125	240	117	125	250	110	117	170	1000	1200	1000	1000	2.3	3.1	91	23	8	
50	135	240	250	125	210	250	117	170	210	1500	2000	1000	1000	2.3	3.6	67	23	8	
100	205	250	250	150	250	250	151	190	250	2500	2500	1000	2000	2.1	2.5	61	23	7	
150	215	250	250	160	250	250	175	230	250	3000	3000	1000	2200	1.8	2.2	76	23	6	
200	236	250	303	166	250	303	175	250	303	3200	3600	2000	2969	1.6	1.9	72	24	7	
250	250	300	340	170	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3500	1.4	1.7	70	24	7	
300	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.3	1.6	64	24	7	
350																			
400	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
450	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
500	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
550	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
600	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
650	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
700	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
750	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
800	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
850	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
900	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
950	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	
1000	255	300	340	175	300	350	175	280	350	3500	3800	2500	3800	1.1	1.4	56	24	5	

Fonte: Simulador *Total Airspace and Airport Modeler*

Por fim, a terceira simulação utilizou parâmetros que procuraram reproduzir o comportamento mais restritivo dos ATCO, em momentos de maior demanda. Induziu-se esse comportamento mais restritivo pela fixação de separações um pouco maiores entre as aeronaves na aproximação final (de 6 a 8 milhas ao invés de 5 milhas). Isso ocasionou um aumento de separação entre as aeronaves nas trajetórias das STAR, devido à redução das velocidades das aeronaves além do necessário e antes do ponto ideal para se assegurar a separação mínima de 5 milhas náuticas na aproximação final. Para esses parâmetros, obteve-se como outputs um tempo de espera de aproximadamente 33 horas e um total de consumo de combustível de 174 toneladas de combustível.

Os dados obtidos nas três simulações encontram-se discriminados na tabela 6.

Tabela 6 – Outputs obtidos nas simulações em tempo acelerado no TAAM

	Parâmetros 1 (BADA)	Parâmetros 2 (alta velocidade)	Parâmetros 3 (baixa velocidade)
Tempo de espera	05 horas e 43 minutos	10 horas 47 minutos	33 horas
Consumo	137 toneladas	123 toneladas	174 toneladas

Fonte: O autor

A partir dos dados obtidos pela simulação em tempo acelerado, constatou-se que a ideia intuitiva de que manter altas velocidades implica em menores tempos de voo se provou falsa. Isso se deve ao fato de quando as aeronaves em alta velocidade precisam reduzi-las em momentos de maior demanda, o fazem mais bruscamente e dessa forma, as aeronaves que a seguem, e também mantêm altas velocidades, têm também de reduzir. Como elas não podem parar completamente no ar, iniciam esperas em voo. Esse efeito é similar ao que ocorre para o tráfego rodoviário, descrito na segunda e quinta seções e que geram as *shockwaves*, responsáveis pelo efeito *jamiton*.

Justifica-se o menor consumo de combustível, apresentado nos dados obtidos para o cenário em que as aeronaves mantiveram velocidades elevadas, pelo fato de o TAAM considerar somente o tempo de voo das aeronaves no cálculo de consumo de combustível, sem considerar suas velocidades.

Conforme se esperava, para o cenário de simulação de alta demanda, com aumento da separação mínima entre as aeronaves, devido ao emprego de velocidades muito baixas durante o sequenciamento, o tempo total de espera elevou-se consideravelmente, o que demonstrou que comportamentos conservadores dos ATCO, ocasionados pela ausência de técnicas de sequenciamento e ferramentas adequadas de auxílio à decisão, podem ser prejudiciais à eficiência das operações.

6.2 Dados de atrasos para o aeroporto de Guarulhos e discussão

Analisaram-se todos os relatórios diários de operação do CGNA, relativos aos anos de 2018 e de 2019, cujos movimentos de aeronaves podem ser observados na tabela 8, para identificar os dias em que houve um elevado índice de atrasos (superior a 10%) para o aeroporto de Guarulhos. Esse parâmetro de considerar significativo um atraso igual ou maior a 10% é adotado pelo CGNA em suas análises de pós operações.

Após se elencarem os dias em que houve atrasos superiores a 10%, identificaram-se em quais desses dias os atrasos não foram ocasionados por condições meteorológicas adversas, por problemas de capacidade ATC ou aeroportuária e nem por condições de impraticabilidade de pista.

Por fim, buscou-se analisar os padrões de separação empregados pelos controladores de tráfego aéreo nos dias em questão, bem como qual das equipes de serviço atuava.

No APP-SP atuam cinco equipes de serviço que se revezam em escala. Essas equipes serão designadas com números (de 1 a 5), sem nenhuma correlação com as equipes reais de serviço. Com isso, será possível identificar padrões de separação não eficientes, bem como se esses atrasos estão distribuídos uniformemente pelas equipes de serviço ou se estão concentrados em alguma(s) equipe(s) específica(s).

Apresenta-se, na tabela 7, os dados do dia de operação, dos índices de atraso, dos padrões de separação utilizados para as aeronaves que evoluíram nas STAR MOXEP 1A, SIMEX 1A e ILSOR 1B respectivamente e por fim, das equipes de serviço que atuavam nos dias em questão.

Tabela 7 – Dados de operações reais extraídos dos relatórios diários do CGNA

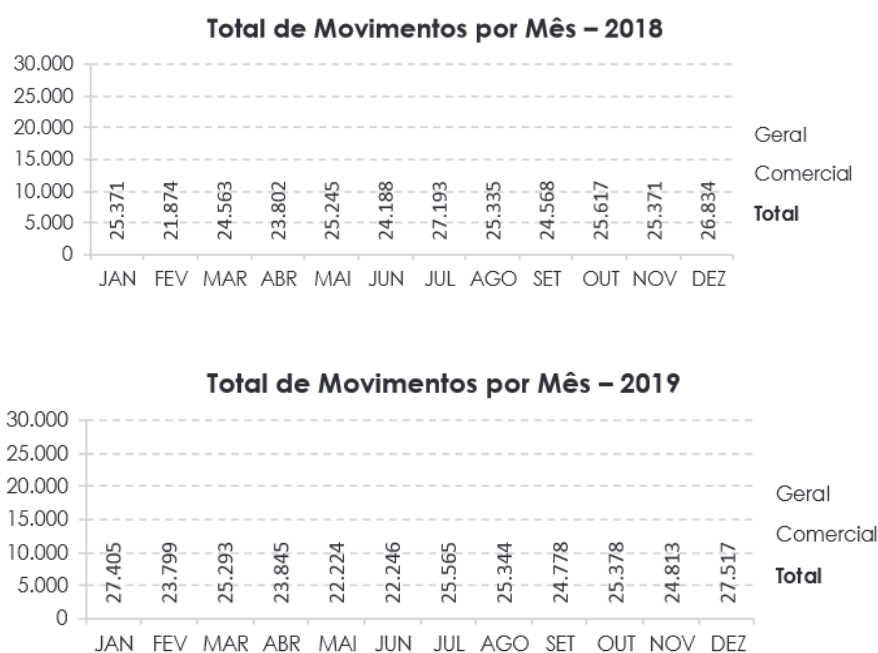
data	índice de atraso	separação	separação	separação	Equipe
06/01/2018	10%	30	20	30	1
07/01/2018	10,05%	30	30	30	2
24/01/2018	11,21%	30	20	20	4
08/02/2018	10,43%	30	10	20	4
17/05/2018	10,42%	20	20	20	2
25/05/2018	14,11%	30	10	30	5
08/06/2018	10,90%	20	10	30	4
25/06/2018	10,93%	20	10	30	1
28/06/2018	10,76%	20	10	30	4
29/06/2018	13,82%	20	10	30	5
30/06/2018	10,47%	20	10	20	1
01/07/2018	14,67%	20	10	30	3
02/07/2018	15,57%	20	10	30	4
11/07/2018	10,52%	20	10	20	2
15/07/2018	18,24%	20	10	30	1
16/07/2018	19,45%	20	10	30	2
23/07/2018	11,41%	30	10	30	4
24/07/2018	10,06%	20	10	30	5
25/07/2018	10,88%	20	30	30	1
26/07/2018	10,78%	20	10	30	2
27/07/2018	10,75%	20	10	30	3
28/07/2018	10,79%	20	10	30	4
29/07/2018	11,83%	30	20	30	5
30/07/2018	11,55%	20	10	30	1
01/08/2018	11,08%	20	10	30	3
02/08/2018	10,18%	20	10	30	4
03/08/2018	15,08%	20	10	30	5
06/09/2018	10,81%	20	10	30	2
27/10/2018	12,52%	20	10	30	3
01/11/2018	13,12%	20	10	30	3
26/11/2018	10,73%	20	10	30	3
08/12/2018	10,17%	20	10	30	5
10/01/2019	10,86%	20	10	30	3
01/02/2019	13,58%	20	10	30	5
04/02/2019	12,11%	20	10	30	3
18/02/2019	12,57%	20	30	30	2
01/04/2019	11,00%	20	10	30	4
05/04/2019	13,00%	20	10	30	3
12/04/2019	10,14%	20	10	30	5
18/04/2019	12,98%	20	10	30	1
23/07/2019	10,00%	20	10	30	3
23/11/2019	13,39%	20	10	30	5

Fonte: Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea (2020)

A partir dos dados obtidos dos relatórios de operações gerados pelo CGNA, pode-se constatar que as ocorrências de atrasos superiores a 10% para o aeroporto de Guarulhos não se concentraram em nenhuma equipe em específico do Controle de Aproximação de São Paulo, distribuindo-se uniformemente por todas elas. Ou seja, a performance média das equipes é equivalente, o que demonstra que o nível de proficiência se distribui igualmente entre elas. Devido a isso, não se pode atribuir a ocorrência do efeito *jámiton* a determinado grupo de controladores.

Analisando-se os padrões de separação empregados, observa-se que em aproximadamente 72% dos dias, adotou-se o padrão de separação 20, 10, 30 milhas náuticas. Esse padrão fixo demonstra uma padronização que não considera questões de vento em altitude, mudanças dos cenários entre os dias de operação, nem técnicas de separação e ferramentas de apoio que forneçam valores de separação mais precisos (e não somente múltiplos de 10) a serem aplicados nos momentos de maior demanda. Essa repetição mecânica de padrões de separação, que não leva em conta as peculiaridades específicas de cada dia de operação, favorecem a ocorrência de ineficiências no fluxo que contribuem para a ocorrência do efeito *jámiton*.

Tabela 8 – Total de movimentos por mês nos anos de 2018 e 2019



Fonte: Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea (2020)

6.3 Dados dos questionários endereçados aos controladores de tráfego aéreo e aos pilotos e discussão

Endereçaram-se questionários aos controladores de tráfego aéreo do APP-SP, do ACC-BS e do ACC-CW, bem como aos gerentes da Célula de Gerenciamento de Fluxo (FMC) São Paulo, Brasília e Curitiba, devido a ser o cenário de interesse para o estudo e possível aplicação de melhorias operacionais. Anteriormente ao endereçamento dos questionários aos controladores de tráfego aéreo, eles foram submetidos, em conjunto com o projeto de pesquisa, ao Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Capacitação Física do Exército, que foi de parecer favorável à aplicação, conforme se pode constatar no Anexo A.

Devido às peculiaridades da terminal São Paulo, existe a possibilidade de ocorrer descontinuidades em horários de pico, como consequência das decisões tomadas no sequenciamento sem um embasamento técnico adequado e pela ausência de ferramentas de suporte à decisão. Tendo isso em vista, procurou-se elaborar questões que refletissem como os controladores de tráfego aéreo empreendem a gestão de velocidades e quais técnicas e ferramentas utilizam para manter as separações mínimas de segurança entre as aeronaves.

Para o desenvolvimento do questionário, utilizou-se o formulário eletrônico da Google, com o intuito de registrar as respostas, organizar as informações obtidas em gráficos e facilitar a análise dos dados posteriormente. A pesquisa exploratório-descritiva seguiu dois momentos distintos. Primeiramente, houve uma coleta de dados através do questionário digital e sua compilação e posteriormente, a realização da análise, do tratamento e da interpretação dos dados obtidos.

No que concerne ao levantamento de campo, a população do APP-SP, do ACC-BS e do ACC-CW são compostas de 260 ATCO, de acordo com o Sistema de Gerenciamento de Pessoal Operacional. Dessa população, uma amostra de 178 participaram da pesquisa. Essa amostra foi suficiente para, em termos de distribuição normal, proporcionar uma confiabilidade de 95%, com uma margem de erro de 5% (BOLFARINE, 2005).

O questionário aplicado aos controladores, bem como os dados obtidos pelas respostas, se encontram nos Apêndices B e C.

Concomitantemente ao questionário endereçados aos ATCO, enviou-se um questionário estruturado aos pilotos que operam nas STAR para o aeroporto de Guarulhos, com o objetivo de conhecer de que forma realizam as gestões de velocidade das aeronaves. Além disso, buscou-se compreender a percepção dos pilotos sobre a eficácia do emprego das separações alocadas pelos ATCO, bem como da gestão de velocidade realizada por eles. Anteriormente ao endereçamento dos questionários aos pilotos, eles foram submetidos, em conjunto com o projeto de pesquisa, ao Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Capacitação Física do Exército, que foi de parecer favorável à aplicação, conforme se pode constatar no Anexo A.

No que concerne ao levantamento de campo, a população finita de pilotos de empresas aéreas nacionais que operam nas STAR para o aeroporto de Guarulhos, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas Aéreas é de aproximadamente 2600 pilotos. Dessa população, uma amostra de 115 participou da pesquisa. Essa amostra foi suficiente para, em termos de distribuição normal, proporcionar uma confiabilidade de 95% com uma margem de erro de 10% (BOLFARINE, 2005).

O questionário aplicado aos pilotos, bem como os dados obtidos pelas respostas se encontram nos Apêndices D e E.

De acordo com os dados obtidos dos questionários aplicados aos ATCO dos órgãos de controle de interesse, observou-se que mais da metade dos respondentes possuem pelo menos 8 anos de experiência e menos de 20% possuem menos de 3 anos de experiência. Dessa forma, têm-se uma amostra em que os profissionais possuem um conhecimento prático bastante relevante. Quase 50% deles atuam como operadores e o restante como instrutores e supervisores, o que trouxe respostas representativas das diversas categorias existentes nos órgãos de controle, composta por perfis distintos de profissionais.

Dentre as respostas obtidas dos controladores de tráfego aéreo, referentes a atrasos em momentos de alta demanda devido ao emprego de velocidades muito altas pelas aeronaves, constatou-se que conforme esperado, por causa de percepções equivocadas do senso comum, a maioria dos respondentes, cerca de 86%, discordou, pelo menos parcialmente, que atrasos

em momentos de maior demanda possam ser causados por aeronaves empregando velocidades muito altas.

A maioria dos controladores de tráfego aéreo, portanto, têm a falsa impressão de que se permitirem que as aeronaves voem mais rapidamente em cenários de alta demanda, não contribuirão para o surgimento de ineficiências nos fluxos de tráfego, que podem gerar o efeito *jamiton*. Conforme se constatou a partir dos dados de simulação em tempo acelerado, essa prática aumenta consideravelmente os atrasos, especialmente em momentos de alta demanda.

Com relação à ferramenta mais eficaz para o sequenciamento de aeronaves em momentos de maior demanda, a maioria dos respondentes, 64,6%, optou pela vetoração radar, seguida de gestão de velocidades (10,1%) e esperas em voo (9%). Os demais, cerca de 16%, forneceram respostas diversas, dentre as mais relevantes, controle das decolagens, medidas ATFM adequadas e definição de horários específicos para “entrar” na terminal, uma visão alinhada com o conceito de controle por trajetórias 4D.

Algumas respostas evidenciaram que, apesar dos ATCO considerarem a vetoração como a melhor técnica, o layout da terminal São Paulo não favorece seu emprego, de acordo com o que foi exposto ao longo deste trabalho.

O pequeno percentual de respostas que consideram a gestão de velocidades como a melhor técnica a ser empregada em momentos de maior demanda, pode estar relacionado à ausência de ferramentas adequadas de apoio à decisão no APP-SP. Provavelmente, essa percepção mudará a partir da implementação do AMAN em conjunto com o *Point Merge* na terminal São Paulo. Além disso, o desenvolvimento de um manual com técnicas de separação para auxiliar os controladores na gestão de velocidade das aeronaves, sem ter de recorrer tanto a vetorações e esperas em voo, favorecerá a eficiência dos fluxos de aeronaves em aproximação para o aeroporto de Guarulhos.

Quanto à questão da forma com que os controladores de tráfego aéreo procedem para aumentar a separação entre aeronaves, quando necessário, a maioria (75,3%) mencionou que utiliza a experiência adquirida na prática, enquanto os demais empregam técnicas preestabelecidas em publicações ou manuais. Esse resultado também está de acordo com o esperado, pois conforme mencionado na segunda seção, profissionais experientes, que são a maioria dentre os respondentes do questionário, costumam basear-se na experiência

para solucionar problemas, já os mais inexperientes, baseiam-se em conhecimento.

No entanto, ressalta-se que como em geral as publicações relacionados ao controle de tráfego aéreo e gerenciamento de tráfego aéreo existentes no âmbito do DECEA trazem os mínimos de separação requeridos entre as aeronaves e não detalham técnicas para obterem-se essas separações, contribui-se para que os profissionais menos experientes tenham poucos parâmetros para atuar e necessitem aprender, a partir da observação e reprodução da prática dos mais experientes, que conforme já constatado, baseia-se em padrões repetitivos e que não levam em conta as variações diárias de demanda e condições meteorológicas

Com relação ao fator preponderante que contribui para os atrasos, em condições meteorológicas favoráveis e com capacidades ATC e de aeroporto plenas, em momentos em que a demanda excede a capacidade, a maioria dos ATCO (28,1%) considerou os diferentes níveis de habilidade individual entre os profissionais. 21,9% consideraram que o fator preponderante é o distinto padrão operacional entre as equipes. 12,9 % elencaram a ausência de ferramentas de automação para apoio à decisão como fator preponderante e 6,7%, o não cumprimento por parte dos pilotos de restrições de velocidades solicitadas.

Os demais respondentes elencaram uma série de outros fatores como o preponderante para os atrasos, destacando-se a aplicação ineficaz ou mesmo a ausência de medidas ATFM adequadas por parte do CGNA. Outras respostas relevantes com relação aos fatores preponderantes que contribuem com os atrasos, incluem a inadequada infraestrutura aeroportuária e desajustes na malha aérea.

Contrariamente à percepção de um relevante percentual de ATCO, que consideraram o fator preponderante para atrasos o padrão operacional distinto entre as equipes, os dados relativos às operações obtidos dos relatórios do CGNA demonstram o contrário, ou seja, que os atrasos estão distribuídos equitativamente entre elas.

A ausência de técnicas de separação normatizadas e de ferramentas de automação e suporte à decisão são os fatores primordiais para os atrasos, conforme mencionado no estudo de caso da terminal de Gungzhou. Entretanto, apenas 12,9% dos respondentes apontaram a ausência de ferramentas de

automação e de auxílio à decisão como fator preponderante que contribui para os atrasos.

Quanto ao método de separação mais utilizado para sequenciar aeronaves para o pouso, 58,4% dos ATCO apontou a separação por distância, enquanto 30,3%, a separação por tempo. O percentual relevante de ATCO que mencionou sequenciar as aeronaves por tempo deve-se, muito provavelmente, à utilização da ferramenta AMAN por parte dos controladores dos ACC-BS e ACC-CW, pois ela define em quanto tempo os tráfegos precisam ser atrasados ou adiantados.

Entretanto, não há manuais nacionais disponíveis com técnicas para aplicação de separação por distância ou por tempo para aeronaves em aproximação para os aeroportos. Há apenas a definição mínimos de separação por espaço e por tempo a serem mantidos em caso de condições normais de operação e nas operações convencionais, respectivamente.

Conforme o TBS utilizado pelo NATS, bem como demonstrado no estudo de caso para o aeroporto de Tóquio, a separação por tempo pode ser mais eficaz que a separação por distância. Após a implementação do AMAN no APP-SP, muito provavelmente, esse percentual será alterado, uma vez que ele fornece o tempo em minutos que as aeronaves devem ser adiantadas ou atrasadas para se manter um fluxo constante e eficiente.

Quanto às considerações finais apresentadas pelos ATCO ao final do questionário, destaca-se a menção à ausência de coordenação, por vezes, entre os ACC-BS e ACC-CW e o APP-SP, o que ocasiona alternância entre acelerações e reduções de velocidade das aeronaves por órgãos de controle distintos.

De fato, a falta de coordenação entre um centro de controle de área e um controle de aproximação pode ocasionar ineficiências no fluxo e gerar o efeito *jamiton*. O centro de controle pode manter a velocidade das aeronaves muito acima ou muito abaixo do necessário, por desconhecer o cenário corrente no interior da terminal. Entretanto, velocidades ideais publicadas nas STAR podem reduzir esse efeito, além de diminuir a carga de trabalho entre pilotos e controladores de tráfego aéreo.

Adicionalmente, mencionou-se a necessidade de expansão da infraestrutura do aeroporto de Guarulhos para atender à crescente demanda,

bem como o gerenciamento dos horários de decolagem nos aeroportos, para reduzir os atrasos em rota e nas aproximações.

Por fim, reportou-se a necessidade de implementação do AMAN no APP-SP com a finalidade de contribuir com a redução dos atrasos, uma vez que ele fornece apoio à decisão para os controladores de tráfego aéreo.

A partir dos dados obtidos dos questionários aplicados aos pilotos, constatou-se que quase a totalidade deles possui pelo menos 8 anos de experiência. Evidenciou-se que mais de 70% estão pelo menos parcialmente de acordo de que os atrasos em horários de alta demanda estão associados a emprego de velocidades muito baixas pelas aeronaves. Esse resultado já era esperado, pois é bastante intuitivo que aeronaves em momento de maior demanda reduzam suas velocidades e que reduções excessivas impactam ainda mais no fluxo, conforme demonstrou-se na simulação em tempo acelerado.

Entretanto, observou-se que a maioria dos pilotos, assim como ocorreu para os ATCO, discordou, pelo menos parcialmente, que pode haver atrasos associados ao emprego de velocidades muito altas pelas aeronaves, em momentos de maior demanda. Essa percepção ocorre porque não é intuitivo considerar que atrasos podem aumentar caso as aeronaves empreguem velocidades muito altas.

Quanto à técnica mais eficaz para o sequenciamento de aeronaves para o aeroporto de Guarulhos em momentos de alta demanda, a maior parte dos pilotos mencionou que consideravam a gestão de velocidades, em primeiro lugar, seguido por vetorações radar e esperas, em segundo e terceiro lugares. Essas respostas diferem das respostas dos ATCO que consideraram a vetoração como técnica mais eficaz.

De fato, a gestão de velocidades, caso empregada de modo adequado, é a técnica menos restritiva de todas, além de manter as aeronaves nas trajetórias previstas das STAR. O expressivo número de respostas que consideram vetorações radar a técnica mais eficaz pode estar relacionada à percepção por parte dos pilotos de que a gestão de velocidades pelos controladores de tráfego aéreo não é realizada de forma adequada e que esses pilotos prefeririam manter uma velocidade maior, mesmo tendo que ser desviados de suas trajetórias padrão.

Muitos pilotos definiram técnicas diferentes da gestão de velocidades, das vetorações e das esperas como as mais eficazes no sequenciamento de aeronaves. Dentre elas, destaca-se a programação de horário de passagem pelos fixos de posição (espécie de sincronização de tráfego), pontos de espera mais próximos dos aeroportos e melhor coordenação entre os centros de controle de área e o APP São Paulo.

Sobre a percepção dos pilotos quanto à gestão de velocidades empregada pelos controladores de tráfego aéreo do APP-SP, mais de 70% deles acredita que, pelo menos parcialmente, ela é ineficaz. Essa constatação pode indicar que, de fato, a gestão de velocidades pelos ATCO não é conduzida da melhor forma possível e isso se deve ao fato da ausência de técnicas adequadas para sequenciamento de aeronaves e de ferramentas de apoio à decisão, conforme já explanado.

Apesar da utilização da ferramenta AMAN pelos ACC-BS e ACC-CW, demonstrou-se que sua versão atual possui diversas limitações e apenas informa em quantos minutos um tráfego precisa ser atrasado ou adiantado, mas não informa de que forma isso deve ser feito. Mais uma vez, ressalta-se que além da melhoria dos requisitos do AMAN, necessita-se de um manual para orientar o controlador de tráfego aéreo a separar e sequenciar as aeronaves de acordo com o sugerido pelo sistema.

Extraí-se também dos dados obtidos que mais de 35% dos pilotos acredita que reduzir uma velocidade determinada, sem que tenha havido instruções do controlador de tráfego aéreo, é uma medida eficaz para se evitar atrasos. Da mesma forma, praticamente a mesma porcentagem de pilotos acredita que alterar a velocidade determinada por um ATCO, nesse caso para um valor superior, é uma medida eficaz para se evitarem atrasos.

No entanto, pelos mesmos motivos da redução, uma aceleração empregada sem autorização de um controlador de tráfego aéreo pode potencializar os atrasos, já que o piloto não consegue visualizar o cenário completo da terminal naquele instante e nem sabe qual o planejamento do controlador de tráfego aéreo para o sequenciamento das aeronaves.

O comportamento de se aumentar a velocidade de uma aeronave sem autorização do ATCO é muitas vezes empregada pelos pilotos quando se percebe, com o auxílio do equipamento TCAS, que a aeronave à frente está

muito distante e deseja-se reduzir essa distância, ou como forma de tentar “passar à frente” de outras aeronaves em um sequenciamento conduzido por um ATCO.

A maior parte dos pilotos crê que o método de separação de aeronaves por distância é o mais apropriado. Entretanto, uma parte significativa deles, 31.3%, considera a separação por tempo mais apropriada e mencionam que isso é realizado de maneira eficaz em algumas terminais do mundo.

Analizando-se os comentários e considerações adicionais dos pilotos que responderam ao questionário, pode-se constatar alguns apontamentos em comum entre eles. Dentre esses apontamentos, pode-se destacar os seguintes:

- a falta de coordenação entre órgãos de controle adjacentes faz com que se solicite a redução de velocidade para uma aeronave e subsequentemente, um incremento na velocidade ou vice versa, após a aeronave ser transferida de um órgão para o outro. Observa-se também a ocorrência desse fenômeno entre setores de um mesmo órgão de controle (mesma observação realizada por alguns ATCO);

- os ATCO não possuem conhecimento aprofundado de performance de aeronaves e solicitam reduções de forma inadequadas às aeronaves, em especial durante a descida;

- as esperas em voo deveriam ser localizadas mais próxima ao aeroporto, como ocorre em diversos aeroportos do mundo (aeroporto de Heathrow por exemplo) e não tão distantes;

- os ATCO poderiam sugerir incrementos na velocidade, por vezes, ao invés de somente reduções, como é praticado em outros países do mundo;

- os pilotos muitas vezes descumprem as restrições de velocidades sugeridas pelos ATCO ou definidas nas STAR, para melhorarem a eficiência dos sequenciamentos, segundo a visão dos pilotos;

Constata-se, das afirmações apresentadas pelos pilotos, que os controladores de tráfego aéreo realizam as gestões de velocidades de forma inadequada, em especial durante as descidas, o que corrobora com a visão de que a ausência de ferramentas de apoio à decisão e de técnicas de separação conduzem a uma gestão inadequada das velocidades. Adicionalmente, os pilotos acreditam que realizam uma melhor gestão de velocidades, mesmo sem ter a visão completa de todos os fluxos da terminal, o que é uma visão

equivocada que pode contribuir para o emprego de velocidades inadequadas e gerar o efeito *jamiton*.

Propôs-se, no Apêndice A, um manual com técnicas de separação baseadas em tempo, para tráfegos em controles de aproximação e em centro de controle de área, em sequenciamentos de aproximação para um aeroporto, para que, independentemente do cenário com relação à demanda e às condições meteorológicas, os controladores possam garantir as separações mínimas de modo eficiente.

Desenvolveu-se esse manual com base nas práticas de separação baseada em tempo do NATS, conforme descrito na terceira seção e também com base no fato de que o mix de aeronaves para o aeroporto de Guarulhos não ser tão grande. Devido a isso, as aeronaves mantêm aproximadamente a mesma velocidade em aproximação final (150KT), conforme detalhado no próprio manual. A partir disso, observa-se que, para que se mantenha a separação mínima de cinco milhas entre duas aeronaves em aproximação final, deve-se aplicar uma separação de dois minutos entre elas.

Os controladores podem manter uma separação de dois minutos entre as aeronaves desde sua entrada em espaço aéreo terminal, que resultará em uma separação mínima de cinco milhas entre as aeronaves em aproximação final, conforme supracitado. Este manual poderá ser utilizado tanto atualmente quanto após a implementação do AMAN e do *Merge Point* até que, futuramente, sistemas de gerenciamento ATM baseado em trajetórias 4D sejam implementados na terminal São Paulo.

Ressalta-se que a implementação do AMAN e do *Merge Point*, por si só, não garantem a eliminação dos atrasos, pois os controladores de tráfego aéreo passarão a saber quais aeronaves devem ser adiantadas ou atrasadas e serão encorajados a aplicar mais gestão de velocidades e menos vetorações e esperas, mas não saberão como fazer isso de modo eficiente. Entretanto, com a aplicação das técnicas do manual proposto no Apêndice A, será possível uma gestão dos fluxos de modo mais eficiente, que resultará em menos esperas e vetorações, o que se traduz na redução da ocorrência do efeito *jamiton* nos fluxos de aproximação para o aeroporto de Guarulhos.

Destaca-se a necessidade de treinamentos iniciais e recorrentes, para que os controladores de tráfego aéreo apliquem as técnicas dispostas no manual

proposto em associação com as ferramentas de apoio à decisão a serem implementadas (AMAN) e para que se conscientizem dos elementos que contribuem para a ocorrência do efeito *jamiton*. Desse modo, haverá mudança de comportamento dos controladores de tráfego aéreo.

Ao implementarem-se as ações supramencionadas de modo a evitar a ocorrência do efeito *jamiton*, contribuir-se-á para o alcance de alguns dos objetivos do Plano Nacional de Aviação Civil: a prestação do serviço adequado, meio ambiente, desenvolvimento da aviação civil e eficiência das operações. Além disso, essas ações correspondem às ações estratégicas propostas no PNAC, que correspondem à utilização de novas tecnologias para garantia da segurança, eficiência, continuidade, regularidade e pontualidade das operações aéreas, a capacitação adequada dos recursos humanos do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro, o desenvolvimento de métodos e processos de gerenciamento de tráfego aéreo que produzam ganho de eficiência sem comprometimento da segurança e a redução dos níveis de ruído e das emissões de gases poluentes na atmosfera, que deriva da própria eficiência das operações conforme já exposto (BRASIL, 2009).

A melhoria da eficiência dos fluxos de aproximação para o aeroporto de Guarulhos representa um fortalecimento da malha aérea brasileira, uma vez que esse aeroporto é um dos principais hub nacionais e o principal hub internacional. Quaisquer ineficiências nesses fluxos impactam toda a malha aérea nacional de maneira crítica. Com isso, contribui-se para o fortalecimento da aviação civil brasileira e consequentemente de seu poder aeroespacial.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira seção deste trabalho, definiu-se o objetivo geral: “investigar as causas que influenciam as ocorrências dos atrasos nas aproximações para o aeroporto de Guarulhos, advindos das reduções ou interrupções no fluxo de tráfego aéreo quando não há uma causa evidente para eles”.

Para atingir esse objetivo geral, definiram-se diversos objetivos específicos.

O primeiro objetivo específico definido foi o de identificar de que forma as atividades de controle de tráfego aéreo e de gerenciamento de tráfego aéreo são

influenciadas por fatores humanos, normativos e tecnológicos e em que medida eles podem contribuir para desencadear o efeito *jamiton*.

Evidenciou-se, na segunda seção, que os ATCO solucionam eventos complexos com base em regras ou na experiência. Quando elevadas demandas surgem, eles utilizam estratégias que mantêm a alta performance sem gasto de energia excessivo. Devido à natureza colaborativa da atividade, conforme descrito na segunda e quinta seções, ferramentas automatizadas de apoio à decisão são fundamentais, devido à limitada capacidade humana em lidar com demandas cada vez maiores.

No entanto, conforme descrito na segunda seção, deve-se sempre buscar a automação que não gere um aumento na carga de trabalho dos controladores, que seja confortável para quem utiliza e que não diminua a consciência situacional. Adicionalmente, conforme descrito na sexta seção, há ausência de manuais com técnicas de separação para auxiliar o trabalho dos controladores de tráfego aéreo.

O segundo objetivo específico definido foi o de verificar, com base em modelos matemáticos, utilizados para estudo dos fluxos de tráfego aéreo, a ocorrência ou não do efeito *jamiton* nos fluxos de aeronaves em aproximação para aeroportos de alta demanda. Verificou-se que, em geral, conforme descrito na quinta seção, prevê-se a ocorrência de *jamitons* quando se modela o tráfego aéreo pela teoria das filas, de modo estocástico ou determinístico, pelo fato de atrasos crescerem exponencialmente à medida que a demanda se aproxima da capacidade, conforme já descrito. Na quinta seção, demonstrou-se também que, como alternativa aos modelos construídos a partir da teoria das filas, pode-se utilizar modelos utilizados para o tráfego rodoviário, como o modelo LWR, para modelar o tráfego aéreo. O modelo LWR relaciona, a partir de equações utilizadas na hidrodinâmica, fluxo, densidade de veículos e suas velocidades. Nesses modelos também se prevê a ocorrência de *jamitons* advindos do atraso de motoristas em adaptar suas velocidades à velocidade do tráfego em determinado momento. Em analogia, o comportamento de pilotos e controladores na gestão de velocidade das aeronaves gera o mesmo efeito, conforme demonstrado nas análises da sexta seção, embasadas nos dados coletados.

O terceiro objetivo específico foi o de evidenciar, a partir de estudos de caso sobre ineficiências de fluxo em aeroportos com características semelhantes ao aeroporto de Guarulhos, possíveis fatores que pudessem contribuir para a ocorrência do efeito *jamiton*. Apresentou-se um estudo de caso realizado no aeroporto de Tóquio, com base no modelo de filas, apoiado em dados reais de operações e simulações e considerando a utilização da ferramenta *Advanced AMAN*. A partir dos resultados, evidenciou-se que é preferível gerenciar o fluxo baseado na capacidade do aeroporto, quando as aeronaves se encontram a grandes distâncias do aeroporto e modificar a estratégia para um sequenciamento baseado em tempo, quando as aeronaves estiverem mais próximas ao pouso.

Apresentou-se também outro estudo de caso realizado no espaço aéreo terminal de Gungzhou, que utilizou o modelo LWR com apoio em dados reais. Esse estudo evidenciou a importância dos fatores humanos e da necessidade da consideração desses fatores no desenvolvimento de ferramentas de automação. Destacou-se também nesse estudo de caso, o conceito de “inibição de complexidade cognitiva”, segundo o qual os controladores de tráfego aéreo reduzem suas cargas de trabalho pela simplificação da estratégia de controle para o cenário do momento.

Evidenciou-se que quando há congestionamento, os ATCO priorizam segurança à eficiência e na ausência de ferramentas de apoio à decisão disponíveis, fazem emergir os *jamitons*, uma vez que lidam com o caos aplicando vetorações e esperas às aeronaves. Esse comportamento gera ondas de congestionamento que se propagam para os demais tráfegos na sequência.

O quarto objetivo específico foi o de identificar os fatores que levam à ocorrência do efeito *jamiton*, por meio de dados coletados a partir de simulações, relatórios de operações e questionários. A partir dos dados obtidos e da discussão da seção anterior, concluiu-se que o emprego de velocidades muito altas ou muito baixas por parte das aeronaves causam ondas de congestionamentos que se propagam pelas trajetórias e geram atrasos, o que confirmou a hipótese apresentada na primeira seção.

Emprego de altas velocidades ocorrem quando pilotos não cumprem restrições determinadas pelos controladores de tráfego aéreo ou previstas nas STAR, ou devido a controladores que permitem que as aeronaves voem com

velocidades acima da ideal. Como a maioria dos pilotos e controladores de tráfego aéreo acreditam que a manutenção de altas velocidades pelas aeronaves não causam atrasos, esse comportamento acaba por ser incentivado, o que é crítico em momentos de maior demanda, quando as aeronaves necessitam reduzir suas velocidades bruscamente, ao aproximarem-se do aeroporto de Guarulhos.

O emprego de baixas velocidades ocorre, principalmente, quando controladores de tráfego aéreo, em cenários de alta demanda, passam a adotar comportamentos mais restritivos pela falta de manuais com técnicas de separação de aeronaves e ferramentas de apoio à decisão, como o AMAN. Devido a isso, reduzem as velocidades das aeronaves além do necessário por questões de segurança. Os próprios pilotos, conforme se constatou, reduzem a velocidade de suas aeronaves, sem autorização prévia dos ATCO, ao observarem no TCAS uma aeronave à frente, em processo de redução de velocidade.

Emprega-se para o sequenciamento dos tráfegos com destino ao aeroporto de Guarulhos a separação baseada em espaço. As separações empregadas entre as aeronaves, nos fluxos das STAR com destino ao aeroporto de Guarulhos, tendem a seguir um padrão fixo, conforme demonstrado na análise dos dados dos relatórios de operações. Denota-se que não se leva em conta as variações na demanda, nas capacidades ATC e aeroportuária e nas condições de vento em altitude de um dia para o outro.

Além disso, uma melhor coordenação entre os centros de controle e o APP-SP, a utilização de ferramentas de apoio à decisão, bem como uma separação baseada em tempo associada a uma gestão de velocidades adequada, pode reduzir consideravelmente as ineficiências nos fluxos de tráfego em aproximação para o aeroporto de Guarulhos, reduzindo a possibilidade de ocorrência do efeito *jamiton*.

A partir do atingimento de todos os objetivos específicos supramencionados, atingiu-se, por fim, o objetivo geral do trabalho, que é “investigar as causas que influenciam as ocorrências dos atrasos nas aproximações para o aeroporto de Guarulhos, advindos das reduções ou interrupções no fluxo de tráfego aéreo quando não há uma causa evidente para eles”.

Confirmou-se, portanto, a hipótese levantada no primeiro capítulo de que o efeito *jámiton* ocorre devido à inadequada gestão de velocidades por parte de pilotos e controladores de tráfego aéreo, dentre outros possíveis fatores. Esses outros possíveis fatores estão correlacionados à própria gestão de velocidades inadequada, e consistem na ausência de ferramentas de apoio à decisão e na falta de manuais com técnicas para sequenciamento e gestão de velocidade das aeronaves.

Já o problema de pesquisa que era: “quais fatores interferem para a ocorrência do efeito *jámiton*?, que consiste em atrasos e interrupções dos fluxos de aeronaves, quando essas interrupções e atrasos não estão associados a causas evidentes, tais como condições meteorológicas adversas e impraticabilidade de pistas de pouso e decolagem, por exemplo” foi solucionado, uma vez que se elencou uma gama de fatores que interferem para ocorrência do efeito *jámiton* (gestão de velocidades ineficaz, ausência de ferramentas de apoio à decisão e carência de manual com técnicas para sequenciamento de aeronaves e gestão de velocidades).

Portanto, para que haja de fato uma melhoria na eficiência dos fluxos de aproximação para o aeroporto de Guarulhos, pela diminuição e até mesmo supressão do efeito *jámiton* nos fluxos de tráfego aéreo para o aeroporto de Guarulhos, é necessário a implementação de ferramentas de apoio à decisão, o que já está previsto para o curto prazo (AMAN), a aplicação de técnicas de sequenciamento e gestão de velocidades, conforme disposto no manual apresentado no Apêndice A e o treinamento inicial e recorrente dos controladores de tráfego aéreo que atuam na Terminal São Paulo.

Com isso, contribuir-se-á com alguns dos objetivos do PNAC, tais como: prestação do serviço adequado, meio ambiente, desenvolvimento da aviação civil e eficiência das operações. Adicionalmente, incrementar-se-á o desenvolvimento da aviação civil brasileira, o que é essencial para que se fortaleça o poder aeroespacial do país.

Como proposta para estudos futuros, pode-se de modo similar ao realizado para o aeroporto de Tóquio, definirem-se pontos em que a separação passe, a uma determinada distância do aeroporto de Guarulhos, do controle de fluxo para a separação por tempo, quando da implementação do *Advanced AMAN* nesse aeroporto, de modo a otimizar os fluxos de aproximação. Além

disso, uma outra proposta de estudos posteriores é a de analisar de que forma a gradual implementação de novas tecnologias de automação interfere na consciência situacional dos controladores de tráfego aéreo e na capacidade deles atuarem em caso de falhas nessas tecnologias.

Por fim, considerou-se neste estudo que se distribuíram os voos de forma adequada na composição das malhas aéreas e alocaram-se SLOT ATC aos voos de maneira correta durante os anos de 2018 e 2019, considerando-se a infraestrutura aeroportuária do aeroporto de Guarulhos e a capacidade de setores ATC do APP-SP. Entretanto, estudos futuros podem verificar essa consideração, pois a definição de uma malha aérea de forma inadequada pode contribuir sobremaneira com ineficiências nos fluxos de tráfego aéreo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, André Luiz. **A evolução do poder aeroespacial brasileiro**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia Política) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ATHÈNES, S. *et al.* ATC Complexity and Controller workload: trying to bridge the gap. **HCI-Aero**, [s. l.], 2002.

AUSTRALIA. Aeronautical Information Circular H05/18: Performance-based navigation (PBN) in Australia. **Aeronautical Information Circular**: Australia, 2018. Disponível em: <https://www.airservicesaustralia.com/aip/current/sup/a18-h05.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2020.

BASTOS, Gisele. **Controladores de Tráfego Aéreo testam nova circulação da Terminal São Paulo**. Rio de Janeiro, 9 ago. 2019. Disponível em: https://www.decea.gov.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=controladores-de-trafego-aereo-testam-nova-circulacao-da-terminal-sao-paulo. Acesso em: 6 maio 2020.

BAYEN, Alexandre M.; TOMLIN Claire J. Case study: Air Traffic Management Systems. **Encyclopedia of Life Support Systems**, Al Gogaisi (Ed.), UNESCO-EOLSS Publishers Co. Ltd., 2005.

BISPO, J. C.; FERRUCCIO, M. A. *et al.* Prevenção de catástrofes na aviação?. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ERGONOMIA, 2001, Gramado. **Anais [...]**. [Rio de Janeiro]: ABERGO, 2001.

BOLFARINE, Heleno. **Elementos de Amostragem**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **Organização de Aviação Civil Internacional**, [Brasília], 7 mar. 2016. Disponível em: https://www.anac.gov.br/A_Anac/internacional/organismosinternacionais/organizacao-da-aviacao-civil-internacional-oaci. Acesso em: 15 ago. 2020.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **A História do Controle do Espaço Aéreo Brasileiro**. Rio de Janeiro: DECEA, 2011. Edição especial.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. AISWEB. **Cartas Aeronáuticas, 2020**. Disponível em: <https://aisweb.decea.mil.br>. Acesso em: 5 mar. 2020.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 37/DGCEA, de 22 de março de 2012. Aprova a edição o Plano de Implementação ATM Nacional (PCA 351-3). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 75, 18 abr. 2012.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 68/DGCEA, de 27 de maio de 2019. Aprova a reedição da ICA 100-37, Instrução que regulamenta os “Serviços de Tráfego Aéreo”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 97, 6 mai. 2019.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 136/DGCEA, de 04 de setembro de 2018. Aprova a reedição da Instrução que regulamenta o Serviço de Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo no SISCEAB (ICA100-22). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 159, 11 set. 2018.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria nº 1597/GC3, de 10 de outubro de 2018. Aprova a reedição da DCA 11-45, “Concepção Estratégica Força Aérea 100”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, n. 180, 15 out. 2018.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria nº 78/DGCEA, de 23 de março de 2015. Aprova a reedição da MCA 100-14, “Capacidade dos Sistemas de Pista”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, n. 70, 15 abr. 2015.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria nº 2102/GC3, de 18 de dezembro de 2018. Aprova a reedição da PCA 11-47, “Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018-2027”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, n. 222, 20 dez. 2018.

BRASIL. Decreto nº 6.780, de 18 de fevereiro de 2009. Aprova a Política Nacional de Aviação Civil (PNAC) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 2, 2009.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento do Controle do Espaço Aéreo. AIC 41/17 **Implementação Operacional do Conceito de Navegação Baseada em Performance (PBN) no espaço aéreo brasileiro**. Rio de Janeiro, 1 mar. 2018.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento do Controle do Espaço Aéreo. AIC 15/20. **Operações Segregadas Visuais para o Aeroporto Internacional de Guarulhos (SBGR)**. Rio de Janeiro, 23 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa. Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2012. Disponível em: https://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/END-PND_Optmized.pdf. Acesso em: 14 nov. 2020.

BRUSSELS. European Organization for the Safety of Air Navigation. **Arrival manager**: implementation guidelines and lessons learned. Brussels: Eurocontrol, 2010. Disponível em: <https://skybrary.aero/bookshelf/books/2416.pdf>. Acesso em: 25 July 2020.

BRUSSELS. European Organization for the Safety of Air Navigation. **Point Merge**: improving and harmonising arrival operations. Brussels: Eurocontrol, 2020. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/concept/point-merge>. Acesso em: 10 aug. 2020.

CANADA. *International Federation of Air Traffic Controllers' Associations (IFATCA)*. **Making SARPs**: how does it work?, Canada, c[20-?]. Disponível em: <https://www.ifatca.org/about-ifatca/icao-activities/making-standards-and-recommended-practices-sarps/making-sarps-how-does-it-work/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

COOK, A. **European air traffic management**: principles, practice, and research. Westminster: Ashgate, 2007.

COSTA, César Rodrigues. **Rumo Verdadeiro: A História da Simulação de Tráfego Aéreo no Brasil**. São José dos Campos: Editora ICEA, 2010.

DOUHET, Giulio. **O domínio do ar**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1988.

GILBERT, Glen A. Historical Development of the Air Traffic Control System. **IEEE Transactions on Communications**, United State, v. 21, n. 5, p. 364-375, may 1973.

ICAO. **1944**: the chicago conference. [Montreal], 2020a. Disponível em: <https://applications.icao.int/postalhistory>. Acesso em: 18 ago. 2020.

ICAO. **Attachment a to state letter NA 13/2.5-19/27**. Quebec, Montreal: ICAO, 2019.

ICAO. **Manual on the standard atmosphere**: Doc 7488. 3rd. ed. Quebec, Montreal: ICAO, 1993.

ICAO. **Global air navigation plan**: Doc 9750-AN/963, 2016–2030. Quebec, Montreal: ICAO, 2016.

ICAO. **Global air traffic management operational concept**: Doc 9854, AN/458. Quebec, Montreal: ICAO, 2005.

ICAO. **Performance-Based Navigation Manual**: Doc 9613-AN/937. 4th. ed. Quebec, Montreal: ICAO, 2013.

ICAO. **Procedures for Air Navigation Services Air Traffic Management**: Doc 4444. 16th. ed. Quebec, Montreal: ICAO, 2016.

ICAO. **The Paris convention of 1910**. [S. l.], 2020b. Disponível em: <https://applications.icao.int/postalhistory/>. Acesso em 05 aug. 2020.

ITOH, E.; MITICI, M. **Queue-Based Modeling of the Aircraft Arrival Process at a Single Airport**. Aerospace Journal, v.6, n.103, set. 2019.

KLOMP, Rolf *et al.* Solution space concept: human-machine interface for 4D trajectory management. *In: AIR TRAFFIC MANAGEMENT AND DEVELOPMENT SEMINAR USA/EUROPE*, 13., 2019, Vienna. **Proceeding** [...]. Vienna: Curran Associates, 2019.

KOWSZUN, Jorj. Jamitons: phantom traffic jams. **School science review**, United Kingdom, v. 95, n. 350, set. 2013.

LAMOUREUX, T. The influence of aircraft proximity data on subjective mental workload of controllers in the air traffic control task. **Ergonomics**, London, v. 42, n.11, p. 1482-1491, 1999.

MACHADO, Washington. **Introdução à Aviação Civil**. Rio de Janeiro: Letras e Versos, 2019.

MARMARAS, N.; PAVARD, B. **Abordagem orientada ao problema para o projeto de sistemas de tecnologia da informação para o auxílio às tarefas cognitivas complexas**. [S. l.: s. n.], 1999.

MESQUITA, Ivan Muniz. **Poder Espacial e Direito Aeronáutico**. Rio de Janeiro: Editora Luzes, 2018.

MOREIRA, S. B. e VIDAL, M. C. **Relatórios de pesquisas ergonômicas realizadas no controle de tráfego aéreo do Rio de Janeiro (APP/RJ)**. [S. l.: s. n.], 1999.

NAGAOKA, S.;GWIGNER, C. **Data and queueing analysis of a Japanese air-traffic flow**. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v.235, n.1, p.265-275, 2014.

PASQUALI, L.; LAGO, L. J. A. **Controlador de tráfego aéreo: análise de cargo**. Brasília: [s. n.], 1987.

PAVARD, B.; DUGDALE, J. **The contribution of complexity theory to the study of sociotechnical cooperative systems**. GRIC-IRIT. France: Univesité Paul Sabatier, Toulouse, 2006.

REBELLO, L. H. B. **O controle de tráfego aéreo numa perspectiva contemporânea em Engenharia de Produção**. 1997. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

RICCO, Maria Filomena Fontes (Ed.). **Culture and Defence in Brazil: an inside look at Brazil's aerospace strategies**. New York: Routledge, 2017.

RUA, Maria das Graças. **Análise de Políticas Públicas: conceitos básicos**. [S. l.: s. n.], 1997.

RUIZ, Sérgio; KADOUR, Hamid; CHORоба Peter. A novel air traffic flow management model to optimise network delay. *In: AIR TRAFFIC MANAGEMENT AND DEVELOPMENT SEMINAR USA/EUROPE*, 13., 2019, Vienna. **Proceeding** [...]. Vienna: Curran Associates, 2019.

SANTOS, Ferreira dos; VILANOVA, Luis Molist. Análise da influência da velocidade sobre o valor da capacidade. Estudo de caso: Avenida 23 de maio. Companhia de Engenharia de Tráfego. **Notas Técnicas**, São Paulo, n. 220, jan. 2012.

SANZ, Álvaro Rodríguez *et al.* Air traffic management based on 4D-trajectories: requirements and practical implementation. **MATEC Web of Conferences**, v. 304, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201930405001>. Acesso em: 05 aug. 2020.

SAUKI, M. A.; W. FILHO, P. H.; BRITO, V. M. **Estudo de adaptação ergonômica em consoles de tráfego aéreo**. 2003. TCC (Tecnólogo em Mecânica, Gestão em Manufatura) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2003.

SIEWERDT, Eno. O Modelo de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro e sua Integração com Outros Sistemas. *In: SIMPÓSIO DE TRANSPORTE AÉREO*, 7., 2008, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008.

SILVA, Adyr da. **Aeroportos e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Instituto Histórico-Cultural da Aeronáutica, 1990. (Aeronautica: serie arte militar e poder aeroespacial, v. 4).

SUBEDI, Bimal. **Arrival Manager (AMAN) and its implementation study in Vilnius International Airport**. 2015. Final work (Bachelor's degree in Air Traffic Controller) - Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, Vilnius, 2015.

TÔRRES, Oswaldo Fadigas. Elementos a Teoria de Filas. **Revista de Administração de Empresas**, [São Paulo], v. 6, n. 20, jul.-set. 1966.

TREIBER, Martin; KESTING, Arne. **Traffic Flow Dynamics: data, models and simulation**. Berlin: Springer, 2013.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. **Instrument procedures handbook**. Washington, DC: [Aviation Supplies & Academic], 2007.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. **Time Based Flow Management**. Washington, DC, 30 nov. 2017. Disponível em: <https://www.faa.gov/nextgen/cip/tbfm/>. Acesso em: 15 apr. 2020.

UNITED KINGDOM. National Air Transport Services (NATS). **Enhanced time based separation scheduled for arrival early 2018**. [Fareham?], 10 march

2017. Disponível em: <https://www.nats.aero/news/enhanced-time-based-separation-scheduled-arrival-early-2018/>. Acesso em: 22 june 2020.

UNITED KINGDOM. National Air Transport Services (NATS). **'Time based separation' at Heathrow a world first**. [Fareham?], 28 february 2014. Disponível em: <https://www.nats.aero/news/time-based-separation-heathrow-world-first/>. Acesso em: 16 june 2020.

WESTIN, C. A. L.; BORST, C.; HILBURN, B.G. "Strategic Conformance: overcoming acceptance issues of decision aiding automation" **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, United States, v. 46, n. 1, p. 41–52, feb. 2016.

WICKENS, Christopher D.; MAVOR, Anne S.; MCGEE, James P. **Flight to the future**: human factors in air traffic control. Washington D.C: National Academy Press, 1997.

XU, Yan *et al.* A dynamic air traffic model for analyzing relationship patterns of traffic flow parameters in terminal airspace. **Aerospace Science and Technology**, France, n. 55, p. 10-23, 2016.

YANG, Lei *et al.* Empirical exploration of air traffic and human dynamics in terminal airspaces. **Transportation Research Part C: emerging technologies**, United Kingdom, n. 84, p. 219-244, nov. 2017.

ZHANG, Fangni; GRAHAM, Daniel. Air Transport and Economic Growth: a review of the impact mechanism and causal relationships. **Transport Reviews**, United Kingdom, n. 40, p. 506-528, mar. 2020.

GLOSSÁRIO

Aeródromo - Área definida de terra ou de água (que inclui todas suas edificações, instalações e equipamentos) destinada total ou parcialmente à chegada, partida e movimentação de aeronaves na superfície.

Aeronave - Qualquer aparelho que possa sustentar-se na atmosfera a partir de reações do ar que não sejam as reações do ar contra a superfície da terra.

Aeródromo Coordenado - Aeródromo cuja expectativa de demanda de tráfego aéreo tende a ultrapassar a capacidade declarada, tendo, portanto, todas as suas operações de pouso e decolagem condicionadas à obtenção de SLOT ATC.

Aeródromo Monitorado - Aeródromo cuja operação de voos regulares de passageiros e/ou carga, assim como da rede postal, está condicionada à obtenção de um SLOT ATC, tendo em vista a necessidade de se obter ganho operacional e ordenação do fluxo de tráfego aéreo.

Aeroporto - Aeródromo público dotado de instalações e facilidades para apoio de operações de aeronaves e de embarque e desembarque de pessoas e cargas.

Aerovia - Área de Controle, ou parte dela, disposta em forma de corredor.

Aproximação de Precisão - Aproximação por instrumentos baseada em auxílio à navegação que possua indicação eletrônica de trajetória de planeio (ILS ou PAR).

Aproximação final - Parte de um procedimento de aproximação por instrumentos que termina em um ponto nas imediações de um aeródromo, no qual pode ser efetuado um pouso ou iniciado um procedimento de aproximação perdida.

Área de Controle Terminal (TMA) - Área de controle situada geralmente na confluência de rotas ATS e nas imediações de um ou mais aeródromos.

Aviation System Block Upgrades (ASBU) - Abordagem programática e flexível de sistemas globais de engenharia que permite aos Estados membros da OACI aumentarem suas capacidades de navegação aérea.

Autorização de Controle de Tráfego Aéreo - Autorização para que uma aeronave proceda de acordo com as condições especificadas por um órgão de controle de tráfego aéreo.

Balanceamento - Relação de equilíbrio entre a demanda de tráfego aéreo e as capacidades declaradas.

Biruta – Dispositivo presente em aeródromos sem serviços ATS, desenvolvido para fornecer a direção visual de vento de superfície e as informações de velocidade de vento aos pilotos, quando em voo ou no solo.

Capacidade do sistema de pistas - Número de operações de pouso e decolagem que uma posição de controle de aeródromo atende em um determinado período. Leva-se em conta a configuração do sistema de pistas, a separação na final, os tempos de ocupação de pista, a direção do vento e a categoria das aeronaves.

Capacidade aeroportuária - Medida de capacidade de processamento dos componentes aeroportuários críticos (pista, pátio ou terminal), podendo envolver pessoas, aeronaves, bagagens ou carga.

Capacidade de Setor ATC declarada - Número de aeronaves dentro de uma porção específica do espaço aéreo, em um dado período de tempo, levando-se em conta as condições meteorológicas, a configuração do órgão ATC, o efetivo operacional e os equipamentos disponíveis, bem como quaisquer outros fatores que possam afetar a carga de trabalho do controlador responsável pelo espaço aéreo.

Categoria de aeronave - Classe de aeronaves subdivididas em cinco grupos (A, B, C, D e E), definida em função da velocidade de cruzamento da cabeceira da pista.

Centro de Controle de Área (ACC) - Órgão estabelecido para prestar serviço de controle de tráfego aéreo aos voos controlados nas áreas de controle sob sua jurisdição.

Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea (CGNA) - Órgão que tem por missão a harmonização do gerenciamento do fluxo de tráfego aéreo, do espaço aéreo e das demais atividades relacionadas com a navegação aérea.

Ciclo Radar – Tempo requerido para um radar realizar uma revolução completa (360°), de modo a atualizar a posição das aeronaves em uma tela de vigilância.

Controle/Operação Convencional - Termo usado para indicar que as informações derivadas de um Sistema de Vigilância ATS não são requeridas para provisão do serviço de controle de tráfego aéreo.

Controle de Aproximação (APP) - Órgão estabelecido para prestar serviço de controle de tráfego aéreo aos voos controlados que cheguem ou saiam de um ou mais aeródromos.

Controlador de Tráfego Aéreo (ATCO) - Pessoa encarregada de separar o tráfego de aeronaves no espaço aéreo e nos aeroportos de modo seguro, ordenado e rápido.

Demanda de Tráfego Aéreo - O número de aeronaves que requisitam os serviços do sistema ATM em um dado período.

Densidade de Tráfego Aéreo – Quantidade de aeronaves em um determinado volume do espaço aéreo.

Desbalanceamento - Situação em que a demanda de tráfego aéreo é superior à capacidade declarada ATC e/ou de aeródromo.

Espera - Manobra predeterminada que mantém a aeronave dentro de um espaço aéreo especificado, enquanto aguarda autorização posterior.

Fixo de Posição – Ponto definido no espaço e apresentado em cartas aeronáuticas. Pode ser criado pelo cruzamento de radiais e linhas de posição magnética ou por coordenadas geográficas (*waypoint*).

Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo (ATFM) - Serviço estabelecido com o objetivo de contribuir para um fluxo de tráfego aéreo seguro, ordenado e eficiente, assegurando que a capacidade do ATC seja utilizada na sua máxima extensão possível e que o volume de tráfego seja compatível com as capacidades declaradas pela autoridade competente.

Gerenciamento de tráfego aéreo – Expressão genérica que representa o dinâmico e integrado gerenciamento de tráfego e espaço aéreo, de forma segura, econômica e eficiente, mediante provimento de serviços contínuos, em colaboração com todos os participantes.

Indicativo de Chamada – Grupo de letras, algarismos, combinação de letras e algarismos, ou nomes definidos para o caso de empresas aéreas, utilizados nas comunicações terra-avião, para auxiliar na identificação de aeronaves pelos serviços de tráfego aéreo.

Medidas ATFM - Procedimentos adotados visando a maximizar o uso das capacidades declaradas e/ou ajustar o fluxo de tráfego aéreo em uma determinada porção do espaço aéreo, ao longo de uma determinada rota, ou em um determinado aeródromo, de forma a evitar o desbalanceamento.

Mix de Aeronaves - Distribuição percentual da frota de aeronaves em operação no aeródromo estudado, conforme as categorias de aeronaves.

Navegação Baseada em Performance (PBN) - Navegação de Área baseada nos requisitos de performance para aeronaves operando ao longo de uma rota ATS, em um procedimento de aproximação por instrumentos ou em um espaço aéreo designado.

Nível de Cruzeiro – Nível de voo que se mantém durante uma etapa considerável do voo.

Nível de voo - Superfície de pressão atmosférica constante, relacionada com uma determinada referência de pressão, 1013.2 hectopascals, e que está separada de outras superfícies análogas por determinados intervalos de pressão.

Órgão de Controle de Tráfego Aéreo - Equação genérica que se aplica, segundo o caso, a um Centro de Controle de Área, Controle de Aproximação ou Torre de Controle de Aeródromo.

Plano de voo - Informações específicas, relacionadas com um voo planejado ou com parte de um voo de uma aeronave, fornecidas aos órgãos que prestam os serviços de tráfego aéreo.

Radar - Equipamento de rádio detecção que fornece informações de distância, azimute e/ou elevação de objetos.

Radial - Rumo magnético tomado a partir de um VOR.

Rota - Projeção sobre a superfície terrestre da trajetória de uma aeronave cuja direção, em qualquer ponto, é expressa geralmente em graus a partir do Norte (verdadeiro ou magnético).

Rumo - Direção da rota desejada ou percorrida, no momento considerado, normalmente expressa em graus, de 000° a 360° a partir do Norte (verdadeiro ou magnético), no sentido do movimento dos ponteiros do relógio.

Saída Padrão por Instrumentos - Procedimento por instrumentos que leva uma aeronave de um aeródromo ou de uma pista específica de um aeródromo até a sua fase de voo em rota e fornece proteção específica contra obstáculos.

Separação - Distância que separa aeronaves, níveis ou rotas.

Sequência de Aproximação - Ordem em que duas ou mais aeronaves são autorizadas para aproximação e pouso.

Sequenciamento – Nome atribuído à técnica de dispor as aeronaves em fila, separadas longitudinalmente.

Serviço de Controle de Aproximação - Serviço de controle de tráfego aéreo para a chegada e partida de voos controlados.

Serviço de Controle de Tráfego Aéreo - Serviço prestado com a finalidade de:

a) prevenir colisões:

- entre aeronaves; e

- entre aeronaves e obstáculos na área de manobras; e

b) acelerar e manter ordenado o fluxo de tráfego aéreo.

Serviço de Tráfego Aéreo (ATS) - Expressão genérica que se aplica, segundo o caso, aos serviços de informação de voo, alerta, assessoramento de tráfego aéreo e controle de tráfego aéreo (controle de área, controle de aproximação ou controle de aeródromo).

Sistema ATM - É um sistema que provê gerenciamento de tráfego aéreo por meio da integração colaborativa de pessoas, informações, tecnologias, recursos e serviços, com suporte de comunicação, navegação e vigilância baseadas no solo ou no espaço.

Sistema de Aumentação - Sistema que tem como objetivo reduzir certas limitações encontradas no sistema de satélites para navegação ou posicionamento.

Slot ATC - Horário definido para que uma aeronave efetue a passagem sobre um Fixo de Posição ou para que inicie uma operação de pouso ou decolagem.

Trajatória 4D – Trajetória que leva em conta, além das três dimensões espaciais, a dimensão temporal.

Transferência de Controle – Ato de transferir a responsabilidade sobre a provisão do serviço de controle de tráfego aéreo de um órgão de controle para outro.

Uso Flexível do Espaço Aéreo – Prática que considera o espaço aéreo como algo único e contínuo, que deve ser alocado diariamente para acomodar as necessidades dos usuários. Qualquer segregação no espaço aéreo deve ser temporária, baseada em sua utilização em tempo real, ao considerar-se determinado período.

Velocidade Aerodinâmica - é a velocidade da aeronave em relação a massa de ar na qual ela está voando, ou seja, a Velocidade Indicada corrigida para os erros de altitude e temperatura.

Velocidade Indicada - velocidade indicada no instrumento de velocidade, o velocímetro. É a velocidade sem a correção dos erros de indicação, instalação ou compressibilidade

Velocidade no Solo - Trata-se da velocidade que a aeronave desenvolve em relação ao solo. Ela é composta pela velocidade aerodinâmica e a componente do vento atuante.

Vento de Proa – Vento contrário ao sentido de voo de uma aeronave.

Vetoração - Provisão de orientação para navegação às aeronaves, em forma de proas específicas baseadas no uso de um Sistema de Vigilância ATS.

Voo Controlado - Todo voo sujeito à autorização de controle de tráfego aéreo.

Voo IFR - Voo efetuado de acordo com as regras de voo por instrumentos.

APÊNDICE A- Manual de Técnicas de Separação por Tempo entre Aeronaves

INTRODUÇÃO

As técnicas apresentadas neste manual utilizam o tempo como parâmetro. Para se utilizar desta técnica, é necessário que haja referências, sejam elas fixas (fixos, auxílios, intersecções etc.) ou móveis (aeronaves). As referências fixas podem ser criadas no vídeo mapa da tela de vigilância dos controladores de tráfego aéreo.

SEPARAÇÃO POR TEMPO EM CONTROLE DE APROXIMAÇÃO

Independentemente do tipo das aeronaves, verificou-se que a velocidade média na aproximação final no aeroporto Guarulhos, mantém-se em aproximadamente 150 nós, conforme se pode observar pela tabela abaixo em que se extraiu a partir de observações, a média de velocidade na aproximação final para cada tipo de aeronave. Além disso, proíbe-se operação no aeroporto de Guarulhos de aeronaves com velocidade indicada inferior a 140 KT, após a passagem do fixo de aproximação final (FAF), onde se inicia a aproximação final.

TIPO	Esteira	VEL	QTDE ACFT
A380	J	158	3
A330	H	150	20
A340	H	150	1
A350	H	148	3
B744	H	150	1
B767	H	153	43
B777	H	156	71
B787	H	159	18
A319	M	147	39
A320	M	150	351
A321	M	158	185
B737	M	148	204
B738	M	154	284
CITATION	M	146	5
E190	M	144	47
E195	M	143	60
FALCON	M	142	3
BE9L	L	144	1
CITATION	L	140	5
PAT4	L	146	7

Como a velocidade média na aproximação final de uma aeronave é de aproximadamente 150 nós, é necessário que, para manter a separação longitudinal regulamentar de 5 milhas náuticas (caso seja possível aplicar separação menor do que 5 milhas náuticas, deve-se fazer o mesmo cálculo que será descrito a seguir com o novo valor de separação) na aproximação final, haja 2 minutos de separação em tempo entre duas aeronaves. Caso haja a necessidade de inserir uma aeronave entre duas outras aeronaves, essas duas devem estar separadas por 4 minutos, por exemplo. Obteve-se esse valor de separação em tempo (2 minutos) na aproximação final a partir da equação da cinemática para a velocidade média:

$$V_{media} = \frac{x_{final} - x_{inicial}}{t_{final} - t_{inicial}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\Delta t_{APROXIMAÇÃO FINAL} = \frac{\Delta X_{APROXIMAÇÃO FINAL}}{GS_{MÉDIA FINAL}} \cdot 60$$

$\Delta t_{APROXIMAÇÃO FINAL}$ = separação em tempo na aproximação final, em minutos.

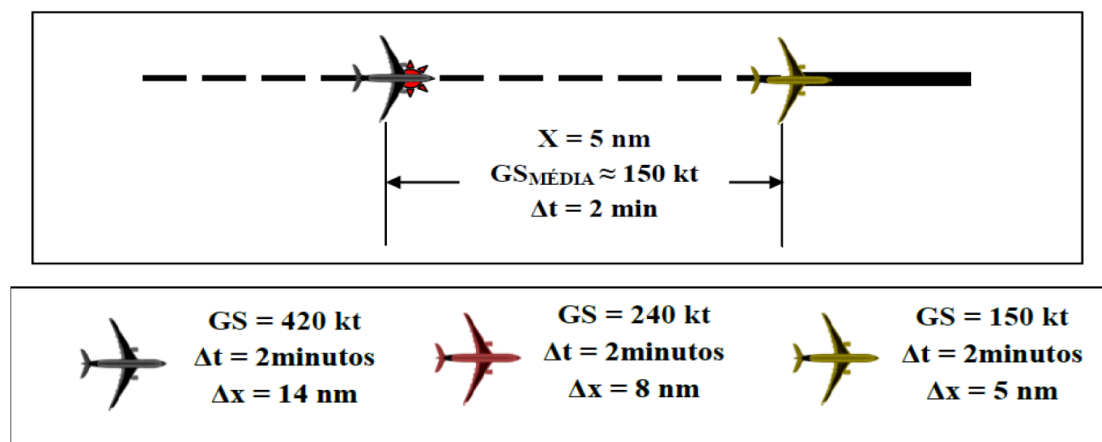
$\Delta X_{APROXIMAÇÃO FINAL}$ = separação em distância na aproximação final, em NM.

$GS_{MÉDIA FINAL}$ = velocidade no solo média na aproximação final, em KT.

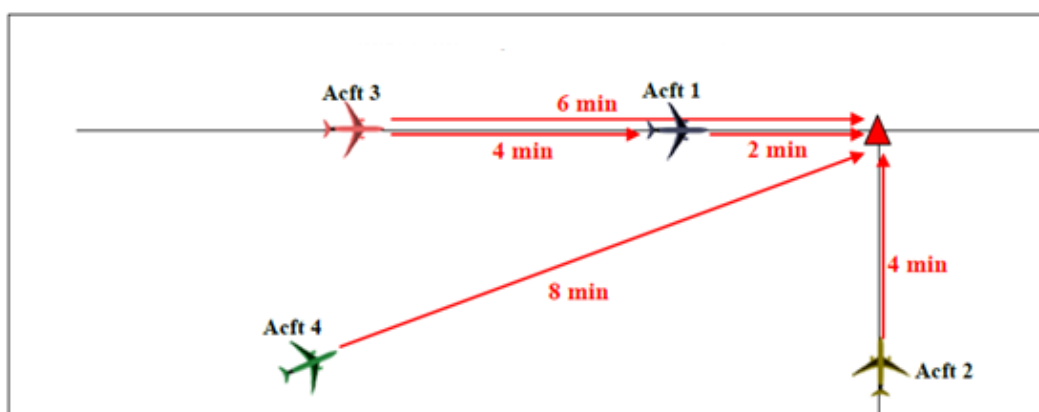
60 = fator de conversão de KT para NM/minutos.

Para conseguir essa separação de 2 minutos entre as aeronaves na aproximação final, os controladores precisam, com auxílio da ferramenta de extrapolação de posição das aeronaves no tempo (conhecido como “vetor extrapolação”), presente no sistema SAGITARIO, manter uma separação de dois minutos entre elas, desde quando entram em um espaço aéreo terminal. Para realizar o ajuste de velocidade das aeronaves, deve-se primeiramente, verificar a separação em tempo entre elas, e com o auxílio do “vetor extrapolação”, comparar suas velocidades e ajustá-las para que o intervalo de separação se mantenha em 2 minutos (ou maior, necessário). A distância das aeronaves quando se mantém 2 minutos de separação por tempo, varia de acordo com a

velocidade solo (GS) em uso por elas, que varia com a fase do voo, a altitude e o regime de ventos em altitude.



Pode-se utilizar referências fixas ou móveis na definição de um sequenciamento. Para sequenciamento de aeronaves provenientes de distintas STAR, pode-se lançar mão de referências fixas. Essas referências são os denominados “pontos de empate”, ou seja, pontos em setores diferentes, mas à mesma distância da cabeceira da pista em uso. Já para separarmos duas aeronaves que seguem na mesma STAR e encontram-se no mesmo setor, utilizam-se as próprias aeronaves como referência.



Observa-se na figura acima que as aeronaves 1, 2 e 3 estão com 2 minutos de separação entre elas. Em um sequenciamento, a aeronave 2 ficaria entre as aeronaves 1 e 3, pois há espaço suficiente (4 minutos entre elas). Já entre as aeronaves 1 e 4, que possuem 6 minutos de separação, têm-se as aeronaves 2 e 3. Ressalta-se que para que se mantenha essa separação,

necessita-se que as aeronaves mantenham a mesma velocidade. Se a primeira aeronave da sequência reduzir ou aumentar sua velocidade, as outras devem ser ajustadas para a mesma velocidade dela.

Para utilizar a técnica apresentada de separação por tempo de maneira eficaz, necessita-se levar em conta alguns fatores. O primeiro desses fatores é que a velocidade utilizada para reduções é a IAS (velocidade indicada), mas tem como referência a GS (velocidade solo, que é visualizada na tela do radar). A GS aumenta 2% para cada 1000ft que a aeronave sobe e diminui esse mesmo percentual a cada 1000ft que desce, mantendo-se constante a IAS. O segundo fator a ser considerado é que se deve fazer os ajustes de velocidade sempre que necessário, sem esquecer, porém, de deixar a gestão da velocidade a critério do piloto a partir de determinado ponto. Pode-se, no entanto, determinar ao piloto uma velocidade mínima ou máxima. O terceiro fator a se considerar é que aeronaves turboélice reduzem suas velocidades mais rapidamente que as aeronaves a jato e podem manter a mesma velocidade na aproximação final, até a cabeceira da pista, por serem mais leves.

Caso o controle de aproximação tenha o AMAN implementado, pode-se utilizar as mesmas técnicas acima descritas, uma vez que a ferramenta apenas informa quanto tempo uma aeronave deve ser atrasada ou adiantada, mas não fornece técnicas para que isso seja feito. Caso o AMAN solicite, por exemplo, que uma aeronave seja atrasada em um minuto, o controlador, com auxílio dos recursos da console radar, pode verificar a velocidade e a distância para a aeronave à frente na sequência, de modo a realizar o ajuste de velocidade de modo eficiente.

SEPARAÇÃO POR TEMPO EM CENTRO DE CONTROLE DE ÁREA

Quanto ao sequenciamento realizado em Centros de Controle de Área e seus diversos setores, este consiste, prioritariamente, em ordenar as aeronaves com destino a uma mesma Área de Controle Terminal (TMA), com espaçamento predefinido, de modo que os tráfegos adentrem as áreas terminais previamente organizados. Uma vez determinada pelos supervisores/coordenadores dos APP em conjunto com as Células de Gerenciamento de Fluxo (FMC) a separação mínima na entrada da terminal, caberá aos controladores dos ACC o

sequenciamento, a manutenção das separações mínimas previstas e o ordenamento do tráfego aéreo sob sua responsabilidade.

Em regras gerais, a fim de iniciar um sequenciamento, faz-se necessário determinar uma referência, seja ela fixa (fixos, auxílios) ou móvel (aeronaves), assim como ocorre nas terminais. Em Centros de Controle, a referência fixa, normalmente, consiste em um ponto a partir do qual tem início uma STAR.

A técnica utilizada para sequenciar as aeronaves em centros de controle de área é a mesma empregada nos APP, observando, contudo, a separação longitudinal regulamentar ou aquela solicitada pelo APP para ingresso na terminal e a velocidade empregada pelas aeronaves nessa fase do voo. Pode-se também checar com o piloto em comando o estimado de passagem por determinados pontos e, caso necessário, solicitar ajustes na velocidade de forma a passar tais pontos em horário predeterminado, desde que o piloto em comando da aeronaves indique que é possível. Essa separação baseada em tempo oferece vantagens, por diminuir o número de vetorações e esperas e a carga de trabalho de pilotos e controladores de tráfego aéreo. Os seguintes passos devem ser utilizados para o sequenciamento de aeronaves em ACC, quando em fluxos de aproximação para um aeroporto:

- Verificar a separação em tempo entre as aeronaves (e as sugestões de ação emitidas pelo AMAN, caso implementado no ACC em questão);
- Verificar as velocidades das aeronaves e compará-las;
- Ajustar, se for necessário, as velocidades para que o tempo entre elas se mantenha constante.

APÊNDICE B – Questionário Aplicado aos Controladores de Tráfego Aéreo

Questão nº 1 - Nome do ATCO ou Indicativo Operacional (Opcional) e em qual órgão de controle atua

Questão nº 2 - Há quanto tempo trabalha em seu órgão de controle atual?

Alternativas fornecidas:

- menos de 3 anos
- de 3 a 7 anos
- de 7 a 12 anos
- mais de 12 anos

Questão nº 3 - Qual a sua função atual em seu órgão de controle?

Alternativas fornecidas:

- supervisor
- supervisor e Instrutor
- Instrutor
- Operador

Questão nº 4 – Em condições meteorológicas favoráveis e com a infraestrutura ATC totalmente disponível, os atrasos que ocorrem, em especial em momentos de maior demanda, estão associados a empregos de velocidades muito baixas pelas aeronaves.

Alternativas fornecidas:

- discordo totalmente
- discordo parcialmente
- concordo parcialmente
- concordo totalmente

Questão nº 5 – Em condições meteorológicas favoráveis e com a infraestrutura ATC totalmente disponível, em especial em momentos de maior demanda, estão associados a empregos de velocidades muito altas pelas aeronaves.

Alternativas fornecidas:

- discordo totalmente
- discordo parcialmente
- concordo parcialmente
- concordo totalmente

Questão nº 6 - Considerando a atual circulação da Terminal São Paulo (SBXP), indique a técnica, em momentos de maior demanda, que você considera ser a mais eficaz no sequenciamento entre as aeronaves com destino ao aeroporto de Guarulhos.

Alternativas fornecidas:

- vetoração
- espera
- gestão de velocidades
- outra técnica (especifique)

Questão nº 7 - Durante o turno de serviço, há uma demanda para Guarulhos cujos tráfegos chegam em uma determinada STAR, separados longitudinalmente por 10NM. Em um dado momento, você percebe que a separação é insuficiente e deveria ser aumentada. Como você determinaria a separação ideal para manter o fluxo contínuo?

Alternativas fornecidas:

- Utilizando-se a experiência adquirida na prática
- Utilizando técnicas pré-estabelecidas em publicações ou manuais

Questão nº 8 – Em sua opinião, qual o fator preponderante que contribui para os atrasos das aeronaves nas aproximações para o aeroporto de Guarulhos quando não há condições meteorológicas adversas, as capacidades ATC e de aeroporto não estão reduzidas e a demanda está equilibrada com essas capacidades:

- padrão operacional distinto entre as equipes de serviço
- habilidades diferentes entre os controladores de tráfego aéreo
- o não cumprimento pelos pilotos das restrições de velocidade solicitadas
- outro (especifique)

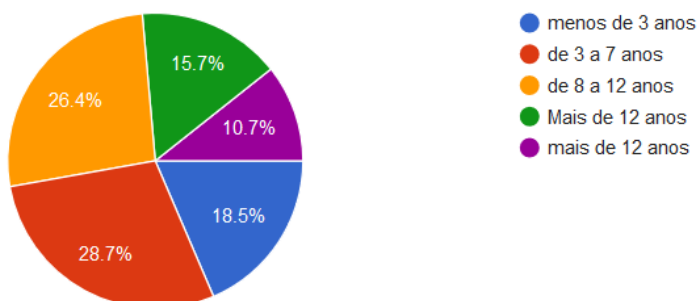
Questão nº 9 - Qual o método de separação você mais utiliza para sequenciar as aeronaves para pouso?

- separação das aeronaves por distância
- separação das aeronaves por tempo

APÊNDICE C – Dados Obtidos Pelos Questionários Aplicados aos ATCO

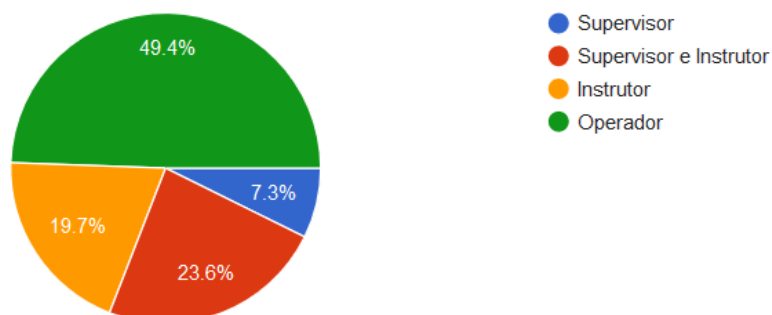
Há quanto tempo atua na atividade de Controle de Tráfego Aéreo?

178 responses



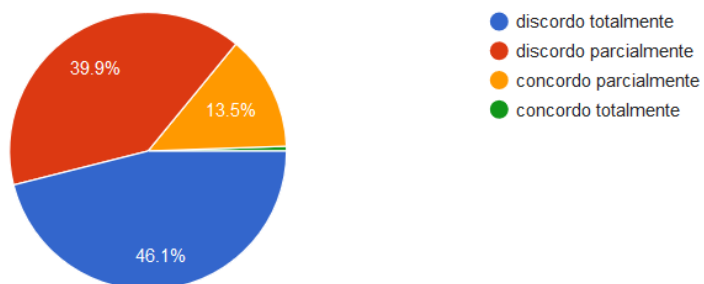
Qual sua função atual?

178 responses



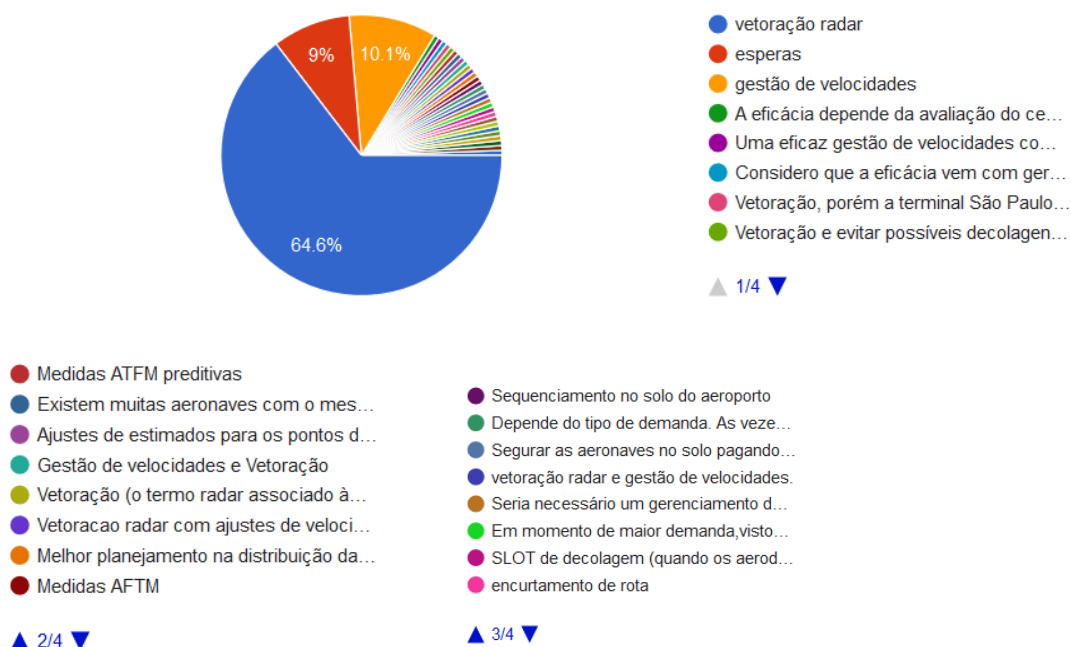
Em condições meteorológicas favoráveis e com a infraestrutura ATC totalmente disponível, os atrasos que ocorrem, em especial em momentos de maior demanda, estão associados a empregos de velocidades muito altas pelas aeronaves.

178 responses



Considerando a atual circulação da Terminal São Paulo (SBXP), indique a técnica, em momentos de maior demanda, que você considera ser a mais eficaz no sequenciamento entre as aeronaves com destino ao aeroporto de Guarulhos.

178 responses

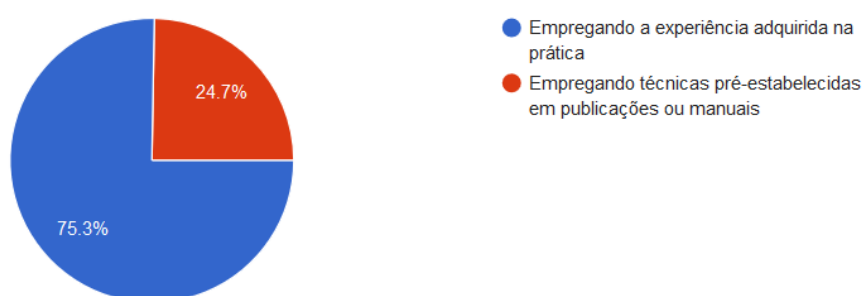


- Decolagens programadas junto às Torr...
- Adequação e gerenciamento do horário...
- Redução de velocidade e Vetoração
- SLOT PARA APROXIMAÇÃO NA TMA,...
- Em momentos de muita demanda de tr...
- Mista entre vetoração e ajustes de velo...
- VETORAÇÃO ALIADO A ESPERAS
- Autorizar a ACFT a voar direto um outr...

▲ 4/4 ▼

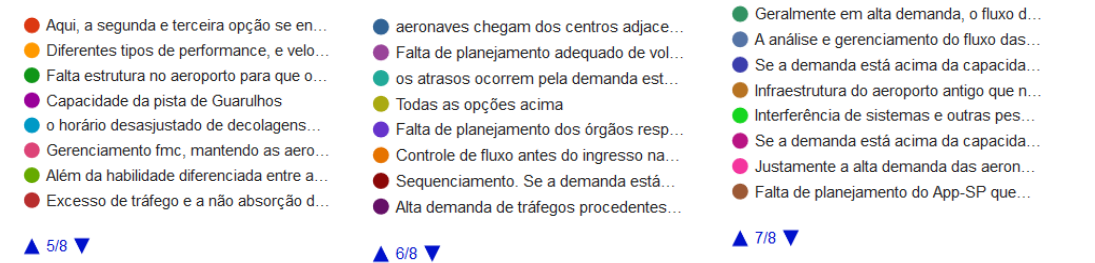
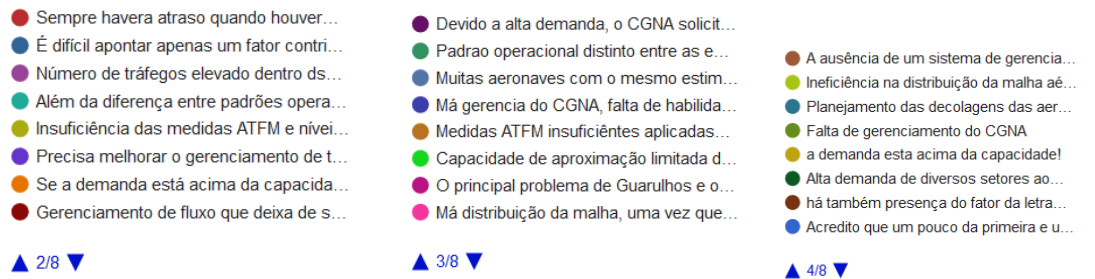
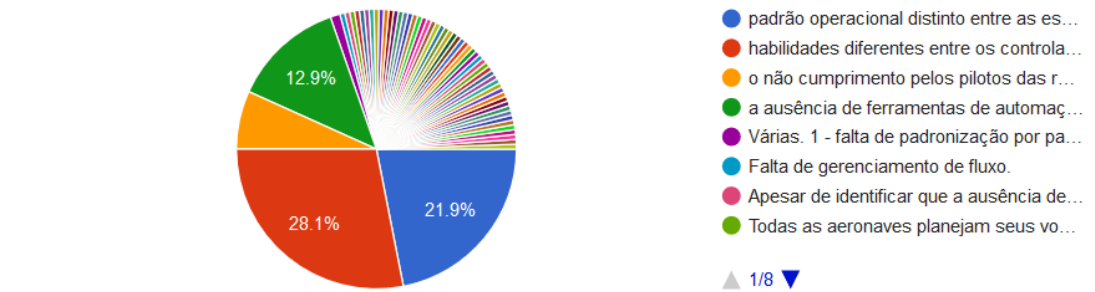
Durante o turno de serviço, há uma demanda para Guarulhos cujos tráfegos chegam em uma determinada STAR, separados longitudinalmente por 10NM. Em um dado momento, você percebe que a separação é insuficiente e deveria ser aumentada. Como você determinaria a separação ideal para manter o fluxo contínuo?

178 responses



Em sua opinião, qual o fator preponderante que contribui para os atrasos das aeronaves nas aproximações para o aeroporto de Guarulhos, quando não há condições meteorológicas adversas, as capacidades ATC e de aeroporto não estão reduzidas e a demanda está alta (acima da capacidade):

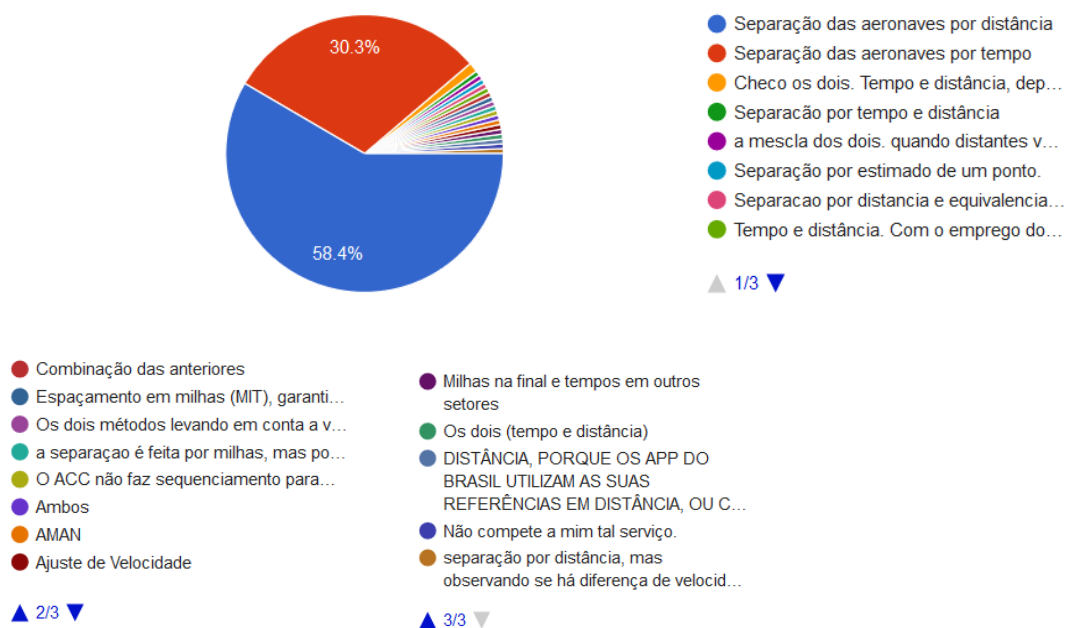
178 responses



Falta de gerenciamento

Qual o método de separação você mais utiliza para sequenciar as aeronaves para pouso?

178 responses



APÊNDICE D – Questionário Aplicado aos Pilotos de Empresas Aéreas**Questão nº 1 - Nome do piloto (Não obrigatório)**

Quesito não obrigatório.

Questão nº 2 - Há quanto tempo atua como piloto?

Alternativas fornecidas:

- menos de 3 anos
- entre 3 e 7 anos
- entre 8 e 12 anos
- mais de 12 anos

Questão nº 3 – Em condições meteorológicas favoráveis e com a infraestrutura ATC totalmente disponível, os atrasos que ocorrem, em momentos de alta demanda, estão associados a empregos de velocidades muito baixas pelas aeronaves.

Alternativas fornecidas:

- discordo totalmente
- discordo parcialmente
- concordo parcialmente
- concordo totalmente

Questão nº 4 – Em condições meteorológicas favoráveis e com a infraestrutura ATC totalmente disponível, os atrasos que ocorrem, mesmo quando a demanda não ultrapassa a capacidade, estão associados a empregos de velocidades muito altas pelas aeronaves.

Alternativas fornecidas:

- discordo totalmente
- discordo parcialmente

- concordo parcialmente
- concordo totalmente

Questão nº 5 - Considerando a atual circulação da Terminal São Paulo (SBXP), indique a técnica, em momentos de maior demanda, que você considera ser a mais eficaz no sequenciamento entre as aeronaves com destino a SBGR.

Alternativas fornecidas:

- vetoração
- espera
- gestão de velocidades
- outra técnica (especifique)

Questão nº 6 – As gestões de velocidade realizadas pelos Controladores de Tráfego Aéreo para aeronaves em aproximação para o aeroporto de Guarulhos são adequadas.

Alternativas fornecidas:

- discordo totalmente
- discordo parcialmente
- concordo parcialmente
- concordo totalmente

Questão nº 7 - Observa-se uma sequência de tráfegos para SBGR separados por determinado intervalo de tempo fixo (Exemplo: 2 minutos) e o tráfego a frente na sequência inicia descida e acaba reduzindo sua velocidade. Ajustar sua velocidade sem a intervenção do controlador, com auxílio do TCAS, para manter a separação apresentada (tempo de 2 minutos) é a melhor ação a ser tomada.

Alternativas fornecidas:

- discordo totalmente
- discordo parcialmente
- concordo parcialmente

-concordo totalmente

Questão nº 8 - Observa-se uma sequência de tráfegos para SBGR separados por determinado intervalo de tempo fixo e o tráfego a frente na sequência inicia descida e acelera sua velocidade, ou mesmo não há nenhum tráfego observado à frente. Ajustar sua velocidade, nesse caso para um valor superior, sem a intervenção do controlador, com auxílio do TCAS é a melhor ação a ser tomada.

Alternativas fornecidas:

- discordo totalmente
- discordo parcialmente
- concordo parcialmente
- concordo totalmente

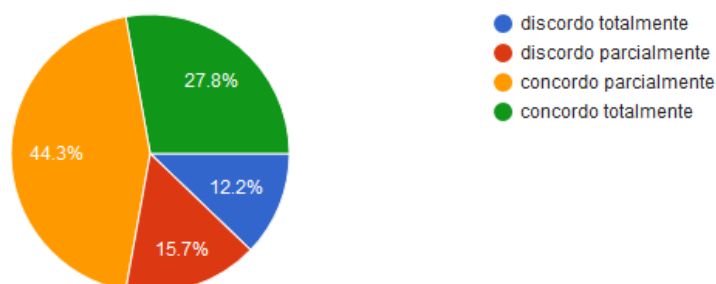
Questão nº 9 - Qual o método de separação você considera o mais apropriado para sequenciar as aeronaves para pouso?

- separação das aeronaves por distância
- separação das aeronaves por tempo

APÊNDICE E – Dados Obtidos Pelos Questionários Aplicados aos Pilotos

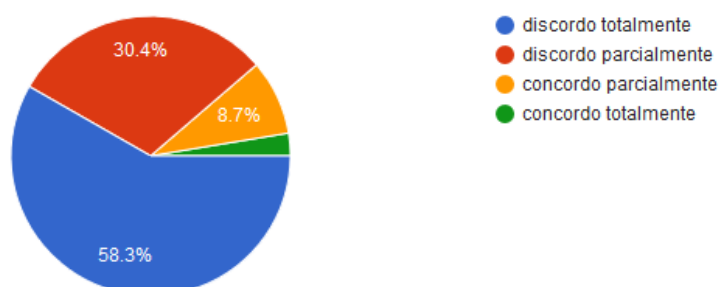
Em condições meteorológicas favoráveis e com a infraestrutura ATC totalmente disponível, os atrasos que ocorrem, em momentos de alta demanda, estão associados a empregos de velocidades muito baixas pelas aeronaves.

115 responses



Em condições meteorológicas favoráveis e com a infraestrutura ATC totalmente disponível, os atrasos que ocorrem, quando a demanda está alta, estão associados a empregos de velocidades muito altas pelas aeronaves.

115 responses



Considerando a atual circulação da Terminal São Paulo (SBXP), indique a técnica, em momentos de maior demanda, que você considera ser a mais eficaz no sequenciamento entre as aeronaves com destino a SBGR.

115 responses



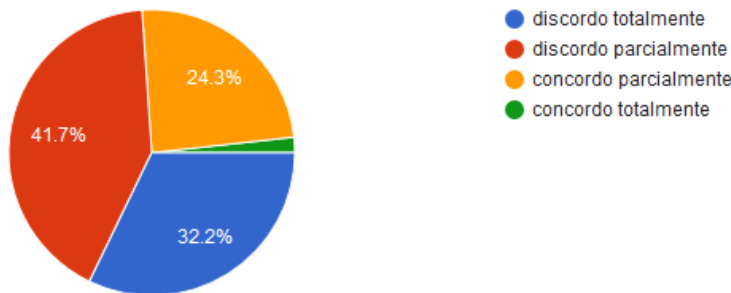
- Programação fixo/hora
 - Despreparo dos controladores
 - Uso de ambas as cabeceiras para pou...
 - Espera em um ponto proximo ao aerop...
 - Fazer uso de RTA para entrada na TM...
 - Estimado na posição e ou espera
 - Melhor modelo na minha opinião é o de...
 - simplesmente seguir a STAR. Em outr...

▲ 2/3 ▼
- Acho difícil responder uma pergunta tão complexa só com uma simples múltipla escolha, acredito que deveria ser feito um trabalho com os controladores e pilotos para preparar e treinar melhor todos com conceitos parecidos aos aplicados em aeroportos como LHR que tem somente duas pistas e grande demanda

▲ 3/3 ▼

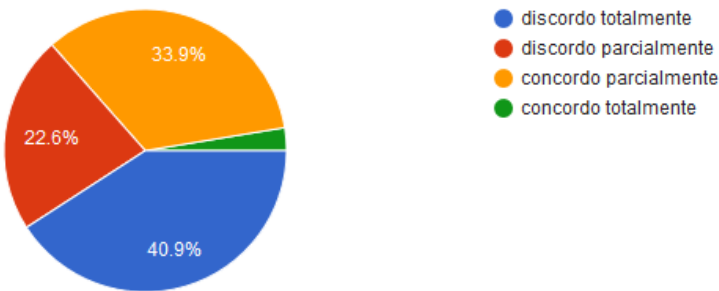
As gestões de velocidade realizadas pelos Controladores de Tráfego Aéreo para aeronaves em aproximação para o aeroporto de Guarulhos são adequadas.

115 responses



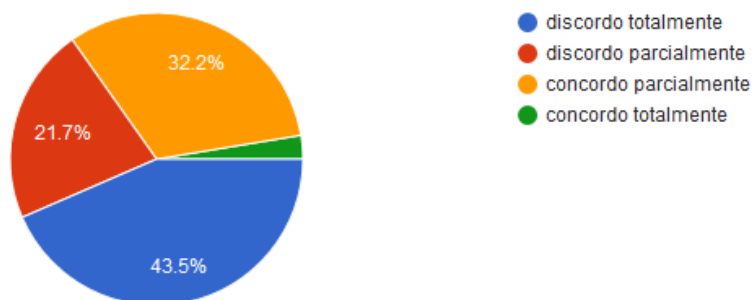
Observa-se uma sequência de tráfegos para SBGR separados por determinado intervalo de tempo fixo (Exemplo: 2 minutos) e o tráfego à frente na sequência inicia descida e acaba reduzindo sua velocidade. Ajustar sua velocidade sem a intervenção do controlador, com auxílio do TCAS, para manter a separação é a melhor ação a ser tomada.

115 responses



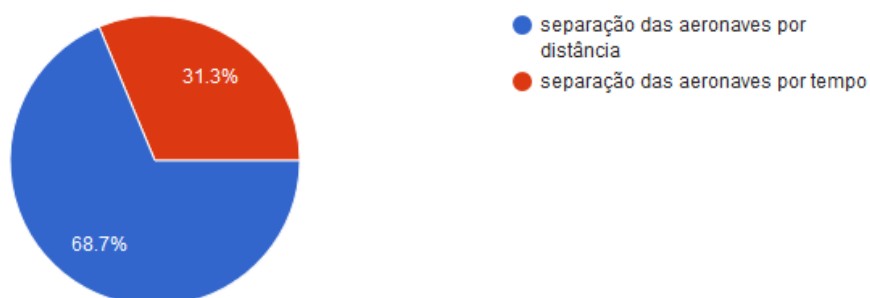
Observa-se uma sequência de tráfegos para SBGR separados por determinado intervalo de tempo fixo e o tráfego à frente na sequência inicia descida e acelera sua velocidade, ou mesmo não há nenhum tráfego observado à frente. Ajustar sua velocidade, nesse caso para um valor superior, sem a intervenção do controlador e com auxílio do TCAS é a melhor ação a ser tomada.

115 responses

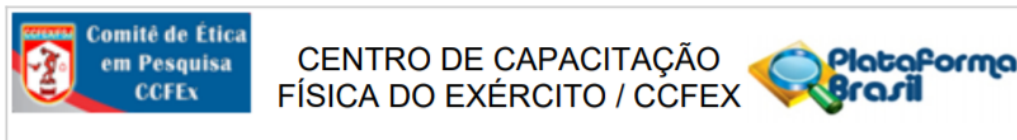


Qual o método de separação você considera o mais apropriado para sequenciar as aeronaves para pouso?

115 responses



ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Capacitação Física do Exército



Continuação do Parecer: 4.110.860

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1482725.pdf	17/06/2020 22:57:53		Aceito
Outros	Carta_Resposta.pdf	17/06/2020 22:57:09	BRUNO GARCIA FRANCISCONE	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_UNIFA.doc	17/06/2020 22:56:38	BRUNO GARCIA FRANCISCONE	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_Pesquisa_com_Instrumento_e_Cronograma.pdf	17/06/2020 22:56:21	BRUNO GARCIA FRANCISCONE	Aceito
Folha de Rosto	FORMULARIO_PLATAFORMA_BRASIL_BRUNO_FRANCISCONE.pdf	06/03/2020 10:59:35	BRUNO GARCIA FRANCISCONE	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 25 de Junho de 2020

Assinado por:
Miriam Raquel Meira Mainenti
(Coordenador(a))