

O Fortalecimento do Poder Aéreo Brasileiro pela Mitigação de Congestionamentos Fantasmas nos Fluxos de Tráfego Aéreo

PRIMEIRO TENENTE BRUNO GARCIA FRANCISCONE

FORÇA AÉREA BRASILEIRA

BRIGADEIRO INTENDENTE DA RESERVA PEDRO ARTHUR LINHARES LIMA

FORÇA AÉREA BRASILEIRA

Introdução

O pleno desenvolvimento da aviação civil é essencial para que uma nação fortaleça seu poder aéreo, de modo a garantir a soberania de seu espaço aéreo.¹ Ela constitui uma força de reserva que pode ser mobilizada prontamente em um cenário de guerra.²

O Brasil criou, em 1990, o Sistema de Controle do Espaço Aéreo (SISCEAB), que provê comunicações e infraestrutura de radares para o controle do espaço aéreo. 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.³

Esse modelo integrado contribui para que se atinja o objetivo estratégico “prioridade da vigilância aérea” da Força Aérea Brasileira, presente na Estratégia Nacional de Defesa, uma vez que nas ações militares, as aeronaves se utilizam de uma infraestrutura robusta de comunicações e de radares para garantir a eficiência das operações. Adicionalmente, permitem-se 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. Isso tudo favorece o Poder Aéreo Brasileiro.⁴

Além do fortalecimento do Poder Aéreo, esse desenvolvimento, de acordo com Zhang e Graham,⁵ também promove a facilitação do comércio, o impulsionamento do turismo, a melhoria da eficiência da cadeia de suprimentos e a geração dos denominados spillovereffects, 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.

O Brasil possui uma Política Nacional de Aviação Civil (PNAC),⁶ que norteia seu desenvolvimento. Ela consiste em uma política pública que resulta de uma demanda por serviços de transporte e apresenta inúmeros objetivos e ações estratégicas. 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.

Já com relação às ações estratégicas do plano supracitado, relacionadas ao objetivo “eficiência das operações da aviação civil”, elas consistem em introduzir novas tecnologias, métodos e processos de gerenciamento de tráfego aéreo que produzam ganho de eficiência sem comprometimento da segurança.

A eficiência das operações da aviação civil está relacionada à continuidade dos fluxos de tráfego aéreo. Caso haja interrupções, geram-se ineficiências indesejáveis. Essas ineficiências podem ter causas diversas que nem sempre são evidentes. Dentre as condições evidentes, podem-se elencar: condições meteorológicas adversas, pistas impraticáveis para pousos ou decolagens, limitada capacidade do espaço aéreo ou dos aeroportos, dentre outras.

A detecção de congestionamentos devido a causas não evidentes se deu inicialmente nos estudos de tráfego rodoviário. De acordo com Treiber e Kesting,⁷ esses congestionamentos são denominados de congestionamentos de tráfego fantasmas e consistem na interrupção do fluxo de veículos terrestres por fatores que passam despercebidos pelos motoristas e estão relacionados ao gerenciamento das velocidades dos veículos automotores. No entanto, um piloto de helicóptero sobrevoando uma rodovia, ao observar o fluxo desses veículos, é capaz de notar esse efeito.

Em analogia, após algumas adaptações, é possível verificar a ocorrência desse tipo de congestionamento também no tráfego aéreo. Em função da quantidade de aeronaves voando em uma aerovia, há uma velocidade ideal que maximiza o fluxo. Caso as aeronaves empreguem velocidades muito diferentes da ideal, há a possibilidade de que ocorram interrupções no fluxo, pela alteração de trajetória delas, quando é possível, ou por esperas em voo.

Quando se executam esperas em voo, as aeronaves voam em circuitos fechados, balizados por uma posição geográfica, enquanto aguardam para prosseguir seu voo, uma vez que não podem parar no ar da mesma forma que os veículos automotores.

A partir de simulações em tempo acelerado, nas quais se utilizaram dados reais de planos de voo de aeronaves em aproximação para o Aeroporto Internacional de Guarulhos de um dia típico de operações, evidenciou-se a gênese de congestionamentos de tráfego fantasma durante as operações. Esse aeroporto está localizado nas projeções laterais da Terminal Aérea de São Paulo.

A escolha desse aeroporto para as simulações supracitadas se justificou por ele ser o mais movimentado do Brasil, conforme se observa na Figura 1, além de ser

o hub da aviação internacional e contar com um expressivo movimento da aviação civil doméstica. Como consequência, ineficiências nos fluxos de aeronaves que saem e chegam a este aeroporto causam impacto em toda a malha aérea nacional e no tráfego aéreo internacional. Adicionalmente, geram-se impactos ambientais pelo acréscimo da emissão de gases poluentes na atmosfera e pela intensificação nos níveis de ruído gerados ocasionados por esperas em voo e alteração da trajetória das aeronaves a baixas altitudes.

Ranking de Aeródromos - 2018

(Pousos+ Decolagens + Cruzamentos + TGL)

			Variação Anual 2017/2018
1º	Guarulhos	299.961	▲ 10.59%
2º	Congonhas	228.866	▲ 2.18%
3º	Brasília	164.485	▲ 3.77%
4º	Santos Dumont	114.740	▼ -0.35%
5º	Galeão	116.717	▼ -8.16%
6º	Campinas	111.472	▼ -1.15%
7º	Confins	102.134	▲ 1.53%
8º	Campo de Marte	87.044	▲ 5.37%
9º	Porto Alegre	85.963	▲ 3.10%
10º	Salvador	83.558	▲ 2.27%

Figura 1. Ranking de Aeródromos - 2018

Fonte: Anuário Estatístico de 2018 de Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea

Aeronaves em aproximação para o aeroporto de Guarulhos, após o início da descida e abandono do voo de cruzeiro, segue em fluxos distintos, originados de diversas regiões do Brasil e do mundo. Eles então são fundidos em um único fluxo, que define a sequência de pouso.

Segundo Nagaoka e Gwiggner,⁸ quando a demanda média de aeronaves ultrapassa a capacidade do espaço aéreo ou do aeroporto, devido a horários de pico ou condições meteorológicas, congestionamentos previstos ocorrem. Além disso, atrasos em rota são desnecessários caso os atrasos em solo sejam gerenciados adequadamente.

Entretanto, mesmo que as capacidades não tenham sido ultrapassadas, pode haver congestionamentos de tráfego fantasmas, gerados sem motivo aparente para os controladores e pilotos, mas que tem como causa raiz a gestão ineficiente das velocidades das aeronaves, conforme já relatado.

Fatores Humanos e Sistemas de Apoio à Decisão no Controle e no Gerenciamento do Tráfego Aéreo

Os controladores de um controle de aproximação atuam em um cenário muito dinâmico. Eles lidam com muitas aeronaves chegando e saindo dos aeroportos, em

um volume reduzido de espaço aéreo e têm por atribuição manter um fluxo rápido, seguro e ordenado de aeronaves. Esses profissionais organizam as aeronaves em filas, tanto nos fluxos de chegada quanto nos fluxos de saída e garantem que as aeronaves estejam espaçadas de forma segura.

Com o aumento nos volumes de tráfego aéreo em todo o mundo, a partir da década de 1950, necessitou-se fragmentar o espaço aéreo em diversas porções adicionais, com dimensões distintas, que variavam de acordo com a carga de trabalho gerada para os controladores de tráfego aéreo. Isso aumentou a complexidade da atividade e implicou na necessidade da coordenação de ações entre controladores de porções de espaço aéreo adjacentes.⁹

Como 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, os controladores se baseavam em técnicas empíricas para determinar as sequências das aeronaves e o padrão de separação entre elas, sem uma consciência situacional global. Isso ocasionava, por vezes, ineficiências nos fluxos de tráfego aéreo.¹⁰

A gestão de velocidades das aeronaves deve ser empreendida para sincronizar os fluxos de tráfego aéreo e evitar ao máximo a alteração de suas trajetórias e a execução de esperas em voo. Para que essa gestão ocorra de maneira adequada, é essencial que os controladores de tráfego aéreo instruam as aeronaves a manterem velocidades ideais para cada regime de fluxo e que os pilotos cumpram as velocidades determinadas por esses controladores.

Na proporção em que a densidade de aeronaves em determinados volumes de espaço aéreo cresce, as demandas para os controladores de tráfego aéreo se tornam excessivas e a complexidade aumenta. Eles então buscam manter um desempenho adequado sem gasto excessivo de energia, e alteram a forma como interagem com os pilotos.¹¹

Essa capacidade de adaptação é extremamente relevante em cenários mais complexos e menos previsíveis e dificilmente é passível de ser ensinada, além de requerer experiência. Ressalta-se também que os controladores de tráfego aéreo selecionam procedimentos apropriados a serem aplicados em situações corretamente identificadas. Porém, sistemas de apoio à decisão são fundamentais para que os procedimentos selecionados tenham maiores êxitos quanto à eficiência dos fluxos de aeronaves.¹²

Um sistema de apoio à decisão já bastante empregado em diversos órgãos prestadores de serviços de navegação aérea no mundo é o *Arrival Management System* (AMAN). Esse sistema não foi desenvolvido para tomar decisões pelos controladores de tráfego aéreo e não consiste em uma ferramenta de alerta e resolução de conflitos de tráfego aéreo. “*Arrival Management*” é o termo consagrado para o

processo de organização das aeronaves em aproximação para um determinado aeroporto, em fluxos contínuos e eficientes para pouso.¹³

Esse sistema estabelece a ordem das aeronaves em uma sequência de aproximação para um determinado aeroporto, de acordo com critérios de sequenciamento definidos e dos horários preferenciais de chegada, conforme pode ser observado na Figura 2. Isso permite aos controladores de tráfego aéreo atuarem para dispô-las na ordem sugerida.¹⁴

O AMAN vem sendo empregado no Brasil gradualmente. Nos órgãos de controle de tráfego aéreo em que foram implementados, evidenciou-se uma melhoria considerável na eficiência dos fluxos de aproximação devido à diminuição dos atrasos advindos de alterações e esperas em voo.



Figura 2. Arrival Manager (AMAN)

Fonte: disponibilizado pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), em 01 ago 2019

No entanto, apesar dos benefícios auferidos, há espaço para melhorias, uma vez que o sistema não reconhece rotas fora das rotas padrão estabelecidas, o que não permite que ele defina corretamente a sequência de aeronaves em condições meteorológicas adversas, em que as aeronaves são impossibilitadas de seguir essas rotas padronizadas.¹⁵

O sistema também apresenta o mesmo problema quando as aeronaves são autorizadas a encurtar suas trajetórias de voo e saem das rotas padronizadas. Além disso, destaca-se que o AMAN realiza cálculos baseados em valores pré-fixados

para as velocidades das aeronaves e não leva em conta fatores como preferências operacionais das empresas aéreas e ventos em altitude.¹⁶

A terminal São Paulo ainda não possui o AMAN implementado para auxiliar no gerenciamento dos fluxos de tráfego em aproximação para seus principais aeroportos, incluindo o aeroporto de Guarulhos. No entanto, há perspectiva de sua implementação nos próximos anos.

Relação entre Fatores Humanos e Eficiência nos Fluxos de Aproximação Identificados em um Estudo de Caso na Terminal de Guangzhou

A partir de um estudo de caso que buscou evidenciar o impacto de fatores humanos na eficiência dos fluxos de aproximação em uma terminal movimentada da China, constatou-se o aparecimento do caos na dinâmica de fluxo de tráfego aéreo e nas atividades inerentes aos controladores de tráfego aéreo. Ele emerge em 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 em que as aeronaves se encontram.¹⁷

O Controle de Aproximação de Guangzhou é responsável pelo controle das aeronaves que saem e que chegam ao Aeroporto Internacional de Baiyun, um dos três aeroportos mais movimentados da China. Realizou-se um estudo empírico, baseado no diagrama fundamental, que relaciona variáveis de fluxo de tráfego (fluxo, densidade, dentre outros) e exibe transições de estado de fluxo que correspondem a mudanças de estado do tráfego.¹⁸

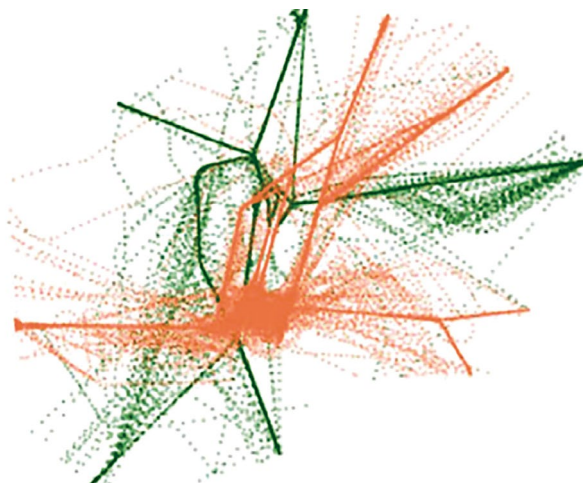


Figura 3. Dados das trajetórias de chegada (laranja) e saída (verde) na Terminal Guangzhou

Fonte: Autor, adaptado de YANG

Esse estudo considerou tráfegos em aproximação para o aeroporto supramencionado, conforme se observa destacado em laranja na Figura 3, 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 dias específicos de operação.¹⁹

Devido às distribuições esparsas e aleatórias dos fluxos de aeronaves, é difícil observar fases completas em uma única rota. Por isso, analisaram-se os dados de forma conjunta, englobando as rotas de aproximação com maior volume de tráfego.²⁰

De acordo com os dados analisados nesse estudo de caso, conforme esperado, quando se aumentou a densidade de aeronaves nas rotas, restrições às operações conduziram a um fluxo menor devido a uma velocidade média menor das aeronaves, conforme se pode constatar pela Figura 4.²¹

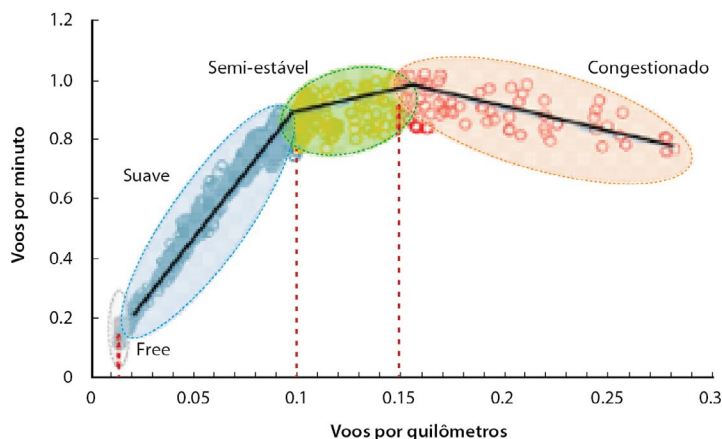


Figura 4. Fases de fluxo

Fonte: Autor, adaptado de YANG

A partir do diagrama fundamental e da visualização das gravações de imagens das telas de vigilância dos controladores de tráfego aéreo, observaram-se as trajetórias das aeronaves nos três dias de interesse e com isso, definiram-se quatro fases e analisaram-se essas fases com relação à dinâmica dos fluxos nas rotas selecionadas. Essas fases foram definidas como: fase livre, fase suave, fase semiestável e fase congestionada. Após isso, passou-se a considerar a interação humana em cada uma delas.²²

Intuitivamente, pensa-se que um incremento no volume de tráfego ocasiona uma maior probabilidade das aeronaves estarem em trajetórias conflitantes, o que geraria por consequência, uma maior carga de trabalho para os controladores de tráfego aéreo, de forma a se garantir a eficiência dos fluxos de tráfego aéreo. Entretanto, evidenciou-se que na fase suave, a eficiência do fluxo é mantida, mesmo com o incremento do número de conflitos entre as trajetórias das aeronaves em

relação à fase livre. Adicionalmente, a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo praticamente não se altera, pois eles passam a simplificar as estratégias de controle de modo a manter a eficiência.²³

Essa mudança de estratégia de controle supramencionada pode ser ainda mais bem evidenciada em fases mais congestionadas de tráfego, em que os controladores definem pontos específicos nas trajetórias de aproximação para alterar a trajetória de voo das aeronaves ou para solicitar que elas façam esperas em voo, além de se comunicar de maneira mais dinâmica com os pilotos e priorizar as interações de acordo com os conflitos de tráfego que se apresentam. Com isso, cria-se uma padronização que reduz a carga de trabalho consideravelmente.²⁴

Entretanto, quando o volume de tráfego continua a crescer e chega-se à fase de congestionamento, os controladores são influenciados por suas emoções de forma mais significativa e na ausência de ferramentas para lidar melhor com esse cenário, passam a priorizar segurança à eficiência. Com isso, os controladores de tráfego aéreo passam a aplicar reduções de velocidades excessivas para garantir separações maiores do que o necessário, além de solicitarem aos pilotos muitas alterações de trajetórias e esperas em voo.²⁵

Esse padrão evidencia a influência de fatores humanos no surgimento de congestionamentos de tráfego em momentos de maior demanda. Isso poderia ser mitigado por meio de sistemas de apoio à decisão, como o AMAN, por exemplo.

Análise de Dados de um Estudo de Caso do Aeroporto de Guarulhos

Por meio de um simulador em tempo acelerado denominado *Total Airspace and Airport Modeler* (TAAM), foi possível averiguar a relação entre a gestão de velocidade das aeronaves em aproximação para o aeroporto de Guarulhos e a eficiência dos fluxos de tráfego aéreo.

A partir de planos de voo reais apresentados para um dia de alta demanda, com 309 voos destinados a esse aeroporto, geraram-se 3 cenários para simulação, com condições meteorológicas favoráveis, considerando apenas a possibilidade de esperas em voo sem a possibilidade de alteração de trajetória das aeronaves.

Obteve-se como *outputs*, consumo de combustível em toneladas e tempo de espera em voo. A restrição de não se permitir a alteração de trajetórias das aeronaves se deve ao fato de que a terminal São Paulo possui muitas rotas de chegada e saída de diversos aeroportos, e desvios de trajetória, em geral, implicam em impactos significativos aos fluxos chegando e saindo desses diversos aeroportos.

A primeira simulação fez uso da base de dados padrão denominada *Base of Aircraft Data* (BADA). Essa base atribuiu uma velocidade ideal para cada uma das

aeronaves, de acordo com a seus desempenhos e com a fase do voo em que se encontravam. Além disso, o simulador foi configurado para manter a separação mínima requerida de 5 milhas náuticas entre as aeronaves.

Na segunda simulação, alocaram-se altas velocidades às aeronaves, pelo maior tempo possível, desde que a separação mínima de 5 milhas náuticas entre elas fosse mantida, bem como considerada a restrição prevista em normas internacionais de redução de velocidade para 250 KT abaixo de 10.000 pés de altitude.

Por fim, a terceira simulação utilizou parâmetros mais restritivos, para reproduzir o comportamento dos controladores de tráfego aéreo em momentos de maior demanda, sem auxílio de ferramentas de apoio à decisão, pela fixação de separações um pouco maiores entre as aeronaves na aproximação final, variando aleatoriamente entre 6 e 8 milhas náuticas. Com isso, separações maiores do que as ideais foram alocadas entre aeronaves, simulando o comportamento restritivo em cenários de alta demanda. Os dados podem ser observados na Figura 5.

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

Figura 5 – Outputs obtidos nas simulações em tempo acelerado no TAAM

Fonte: Autor

Analisando-se os outputs gerados pela simulação em tempo acelerado, nos três cenários construídos, constatou-se que manter velocidades abaixo da velocidade ideal implica em maiores tempos de voo e mais esperas em voo, conforme já se esperava. Entretanto, manter altas velocidades pelo máximo tempo possível não implica em menores tempos de voo, conforme sugere a intuição.

Os resultados obtidos e que contradizem a intuição, se devem ao fato de que, em cenários de alta demanda, aeronaves que empregam altas velocidades em fluxos de aproximação precisam acelerar mais bruscamente quando mais próximas ao pouso, para que suas velocidades diminuam a uma taxa mais alta e para que se possa garantir a separação mínima requerida de 5 milhas náuticas para o pouso.

Devido a essa separação mínima de 5 milhas náuticas, as aeronaves que serão alocadas para pouso atrás dessa aeronave que reduzir a velocidade bruscamente e que também mantém altas velocidades, têm de reduzi-las de maneira ainda mais brusca, por vezes, com ainda mais intensidade. Uma vez que as aeronaves não podem parar completamente no ar, iniciam esperas em voo. Gera-se, dessa maneira, um congestionamento de tráfego fantasma, semelhante ao que ocorre no tráfego rodoviário, sem um motivo aparente para os pilotos e controladores de tráfego aéreo, conforme se observa na Figura 6.

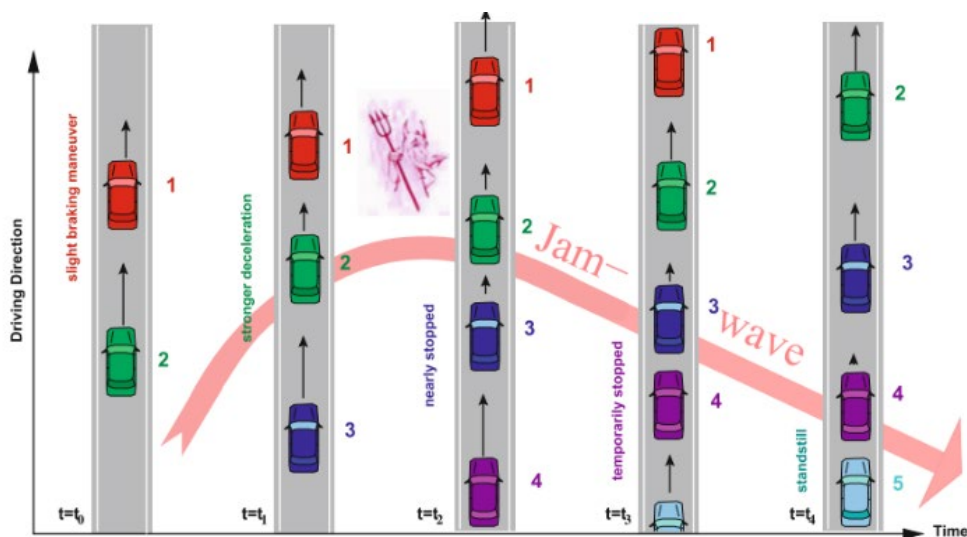


Figura 6. Dinâmica da geração de um congestionamento de tráfego fantasma

Fonte: Autor, adaptado de TREIBER e KESTING

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.

Além das simulações em tempo acelerado, endereçaram-se questionários por meio de formulário eletrônico aos controladores de tráfego aéreo que atuam no contexto da terminal São Paulo. As questões elaboradas tiveram por objetivo entender, a partir das respostas obtidas, como os controladores de tráfego aéreo empreendem a gestão de velocidades das aeronaves sob seu controle e quais técnicas utilizam para manter as separações mínimas de segurança entre as aeronaves.

Em complemento, endereçaram-se questionários aos pilotos de empresas aéreas que operam com frequência no aeroporto de Guarulhos para se compreender, a partir das respostas fornecidas por eles, de que forma realizam a gestão de velocidades em suas aeronaves e como percebem a eficácia das intervenções realizadas pelos controladores de tráfego aéreo.

A partir das respostas dos questionários aplicados, evidenciou-se que a maioria dos pilotos e controladores de tráfego aéreo considerou que o emprego de altas velocidades pelas aeronaves implicam em menores tempo de voo. Além disso, a maioria dos controladores de tráfego aéreo, da mesma forma que a maioria dos pilotos, consideraram a alteração da trajetória de voo das aeronaves como a melhor técnica para que elas sejam dispostas em fila para pouso.

No entanto, cabe ressaltar que a estrutura da terminal São Paulo não favorece o emprego de alterações de trajetórias, devido ao grande número de aeroportos próximos entre si, com grande volume de tráfego de chegada e saída e trajetórias pouco afastadas lateralmente.

Alguns pilotos evidenciaram que, muitas vezes, alteram a velocidade estabelecida pelo controlador de tráfego aéreo sem autorização. Isso ocorre, segundo os pilotos, quando se percebe, com o auxílio do equipamento *Traffic Collision Avoidance System* (TCAS), cuja finalidade é gerar alertas de tráfego e evitar colisão e não estabelecer a sequência de pouso, que a aeronave à frente está a uma distância considerada excessiva e deseja-se reduzi-la, ou como forma de tentar ultrapassar outras aeronaves em um sequenciamento conduzido por um controlador de tráfego aéreo.

A minoria dos controladores de tráfego aéreo e pilotos consideraram a gestão de velocidades como a melhor técnica para sequenciar as aeronaves para o pouso e isto pode estar relacionado à ausência de um sistema de apoio à decisão, como o AMAN por exemplo, mesmo que poucos tenham apontado a necessidade de implementação de ferramentas de apoio à decisão como fator essencial para a redução dos congestionamentos. Com relação aos pilotos, essa visão pode estar relacionada à falta de confiança de que os controladores podem realizar uma gestão eficiente de velocidade das aeronaves.

Tanto controladores de tráfego aéreo quanto pilotos apontaram que a falta de coordenação entre os centros de controle de espaços aéreos adjacentes ao espaço aéreo da terminal São Paulo e o controle de aproximação de São Paulo, pode ocasionar ineficiências no fluxo e gerar um congestionamento fantasma. O centro de controle pode manter a velocidade das aeronaves acima ou abaixo da velocidade ideal, por desconhecerem o cenário corrente no interior da terminal.

Com relação ao método de separação mais utilizado para sequenciar aeronaves para o pouso, a maior parte dos controladores de tráfego aéreo apontou a separação por distância e os demais, a separação por tempo.

Ressalta-se, no entanto, que a separação que utiliza distâncias não leva em conta as mudanças de vento em altitude e que a velocidade das aeronaves vai diminuindo à medida que descem, em função das reduções padronizadas e ao aumento da resistência do ar que se torna cada vez mais denso. Aeronaves que estão à frente na sequência acabam por iniciar reduções de velocidade antes das que a seguem.

Devido a isso, muitas vezes uma distância alocada se reduz à medida que as aeronaves evoluem, o que ocasiona reduções de velocidades bruscas que podem desencadear um congestionamento de tráfego fantasma.

Apesar de haver regras que estabelecem a separação de aeronaves por distâncias em ambientes em que se empregam sistemas de vigilância, como os utilizados

pelos controladores da Terminal Aérea de São Paulo, não se apresenta a possibilidade de realização de emprego de separações por tempo. Além disso, não há manuais disponíveis com técnicas de separação a serem aplicadas pelos controladores, que acabam por garantir essas separações a partir de experiências adquiridas ao longo da carreira.

Na Inglaterra, por exemplo, utiliza-se o parâmetro tempo para definição de separação entre as aeronaves, a partir do conceito *Time Based Separation*, ou seja, da separação baseada em tempo no aeroporto de Heathrow, o mais movimentado da Inglaterra.²⁶

A partir da utilização de separação baseada em tempo, reduziu-se as 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 à direção dos voos. Com isso, a eficiência do gerenciamento de fluxos aumentou consideravelmente.²⁷

Em 2018, implementou-se uma versão aprimorada do *Time Based Separation*, a *enhanced Time Based Separation*, que passou a utilizar ferramentas adicionais de separação. Logo após a implementação, obteve-se o ganho em relação à implementação inicial de 2.6 movimentos em uma hora, para ventos de proa maiores do que 20 nós.²⁸

Considerações Finais

Este trabalho evidenciou que gestões inadequadas de velocidades empreendidas por pilotos e/ou controladores de tráfego aéreo devido a percepções inadequadas do senso comum, a falta de ferramentas de apoio a decisão e ausência de técnicas bem estabelecidas de separação entre aeronaves, podem ocasionar congestionamentos de tráfego fantasmas, que são congestionamentos que parecem não ter uma causa aparente. Esse tipo de congestionamento, inicialmente identificado para fluxos de tráfego rodoviários, está também presente no tráfego aéreo.

A falta de percepção deste tipo de congestionamento por parte de pilotos e de controladores de tráfego aéreo pode gerar ineficiências no fluxo de tráfego aéreo que teriam a possibilidade de ser evitadas a partir da conscientização de sua existência, do estabelecimento de técnicas de separação embasadas, de ações de treinamento e de implementações de ferramentas de apoio à decisão.

A partir das ações mencionadas no parágrafo anterior, seria possível otimizar a eficiência dos fluxos de aeronaves em aproximação, especialmente de aeroportos com grande volume de tráfego, como é o caso de Guarulhos. Essa eficiência seria refletida em toda a malha aérea brasileira e em grande parte dos voos internacionais. Dessa forma, seria possível atender a alguns dos objetivos estratégicos presentes na PNAC, fortalecendo a aviação civil brasileira e, por conseguinte, o Poder Aéreo Brasileiro. □

Notas

1. Giulio Douhet, *The Domain of the Air*, Historical-Cultural Institute of Aeronautics, Itatiaia Publishing House, Belo Horizonte, 1988.
2. André Luiz Almeida, *The Evolution of Brazilian Aerospace Power*, Dissertation (Master's Degree in Political Geography) – Graduate Program in Geography, (São Paulo: University of São Paulo, 2006).
3. Maria Filomena Fontes Ricco, *Culture and Defense in Brazil: An Inside Look at Brazil's Aerospace Strategies*, (New York: Routledge, 2017).
4. Air Command, Defense Ministry of Brazil, “National Defense Policy/National Defense Strategy,” (Brasília, DFL: 2012), https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e%20defesa/pnd_end_congresso_1.pdf.
5. Fangni Zhang and Daniel Graham, *Air Transport and Economic Growth: a review of the impact mechanism and causal relationships*, *Transport Reviews*, (United Kingdom: No. 40, Mar 2020), P. 506-528.
6. Brazil, “Decree No. 6,780, 18 February 2009. Approves the National Civil Aviation Policy (PNAC) and other measures,” (Brasilia: Official Gazette of the Union, 19 February 2009), Section 1, p. 2.
7. Martin Treiber and Arne Kesting, *Traffic Flow Dynamics – Data, Models and Simulation*, (Berlin: Springer, 2013), P. 5.
8. Claus Gwiggner, Sakae Nagaoka, “Data and queueing analysis of a Japanese air-traffic flow,” *European Journal of Operational Research on ScienceDirect*, Amsterdam, v.235, n.1, (2014), p. 265-275, <https://www.sciencedirect.com/journal/european-journal-of-operational-research/vol/235/issue/1>.
9. Christopher D. Wickens, Anne S. Mavor, and James P. McGee, *Flight to the future: human factors in air traffic control*, (Washington D.C: National Academy Press, 1997).
10. Ibid.
11. Ibid.
12. Sylvie Athènes, Stephane Puechmorel, Daniel Delahaye, and Christian Collet, “ATC Complexity and Controller workload: Trying to Bridge the Gap,” *HCI-Aero*, (2002), <https://cite.seerx.ist.psu.edu/doc/10.1.1.five82.2171>.
13. European Organization for the Safety of Air Navigation, “Arrival manager: implementation guidelines and lessons learned,” (Brussels: Eurocontrol), 2010. <https://skybrary.aero/bookshelf/books/2416.pdf>.
14. Ibid.
15. Ibid.
16. Bimal Subedi, “Arrival Manager (AMAN) and its implementation study in Vilnius International Airport,” Final work (Bachelor's degree in Air Traffic Controller), Castelldefels School of Telecommunication and Aerospace Engineering, Polytechnic University of Catalonia, Vilnius, 2015.
17. Ibid
18. Ibid.
19. Lei Yang et al, “Empirical Exploration of Air Traffic and Human Dynamics in Terminal Airspaces,” *Transportation Research, Part C: Emerging Technologies*, No. 84, (Nov 2017), P. 219-244.
20. Ibid.
21. Ibid.

22. Ibid.

23. Ibid.

24. Ibid.

25. Sylvie Athènes, Stephane Puechmorel, Daniel Delahaye, and Christian Collet, “ATC Complexity and Controller workload: Trying to Bridge the Gap.”

26. National Air Transport Services, “Time based separation at Heathrow a world first,” (28 February 2014), <https://www.nats.aero/news/time-based-separation-heathrow-world-first/>.

27. Ibid.

28. National Air Transport Services, “Enhanced Time Based Separation Scheduled for Arrival Early 2018,” (10 March 2017), <https://www.nats.aero/news/enhanced-time-based-separation-scheduled-arrival-early-2018/>.



**Primeiro Tenente Bruno Garcia Franciscone
Força Aérea Brasileira**

Bruno Garcia Franciscone é um primeiro-tenente, especialista em Controle de Tráfego Aéreo, Força Aérea Brasileira. Graduado pelo Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica. Mestre em Ciências Aeroespaciais pela Universidade da Força Aérea. Foi Controlador de Tráfego Aéreo, Instrutor e Supervisor no Controle de Aproximação de São Paulo. Atualmente é Assessor das seções de Espaço Aéreo e Serviços de Tráfego Aéreo da Divisão de Coordenação e Controle do Subdepartamento de Operações do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).



**Brigadeiro Intendente da Reserva Pedro Arthur Linhares
Lima, Força Aérea Brasileira**

Graduado pela Academia da Força Aérea. Extensão em Análise de Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Mestre em Ciências da Computação no Air Force Institute of Technology – USA. Doutor em Engenharia de Produção pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Master of Business Administration em Política e Estratégia pelo Instituto de Administração COPPEAD da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Foi Chefe do Centro de Computação da Aeronáutica de São José dos Campos; Subdiretor de Sistemas e Infraestrutura de Tecnologia da Informação, Subdiretor de Projetos de Tecnologia da Informação, Assessor-Chefe de Governança de Tecnologia da Informação e Diretor de Tecnologia da Informação da Aeronáutica. Atualmente é Pesquisador e Professor do Programa de Pós-graduação em Ciências Aeroespaciais da Universidade da Força Aérea – UNIFA.