



# A VIABILIDADE E A IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO DE ROTAS DIRETAS (FRA) PARA A OTIMIZAÇÃO DO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO.

Aluno Esp CTA Gabriel Sedycias Queiroz<sup>1,2</sup>, Aluno Esp CTA José Ney Rocha de Lima Júnior<sup>1,2</sup>, Aluno Esp CTA Raphael Luiz Pellanda<sup>1,2</sup>, Cap Esp CTA Rui Nunes da Costa<sup>1,3</sup>, 2º Ten QOCON MRS Thaís Borba Ribeiro<sup>1,2</sup>

1 – Localidade de atuação dos autores conforme padrão abaixo:

2 – Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica (CIAAR), Lagoa Santa - MG, Brasil

3 – Terceiro Centro Integrado e Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA III), Recife – PE

## RESUMO

As rotas diretas (FRA) constituem uma dimensão específica do espaço aéreo que permite aos usuários planejar uma rota definida entre pontos de entrada e saída com a finalidade de otimizar o voo. Este artigo analisa, por meio de uma revisão sistemática, a utilização desse conceito na esfera mundial com o objetivo de analisar a viabilidade e a implementação dele no Brasil. Para isso, foram selecionados artigos que expunham métodos e resultados pertinentes ao tema desta pesquisa, os quais forneceram subsídios para a elaboração de uma discussão sobre os benefícios e desafios encontrados na utilização das rotas diretas no Espaço Aéreo Brasileiro. Algumas experiências apresentaram dificuldades na implementação, como, por exemplo, na Europa, que, em virtude de alguns países membros apresentarem uma pequena área geográfica e o espaço aéreo ser limitado por essas fronteiras, resultou em um óbice na utilização das FRA, visto que esse conceito é plenamente funcional quando existe benefício em executar um voo direto, com uma distância significativa entre a rota convencional e a direta, executada ponto a ponto. Logo, no Brasil, país de dimensões continentais, as rotas diretas poderão resultar em benefícios significativos tanto para os usuários da aviação como para o Sistema de Controle do Espaço Aéreo. A conclusão apresenta inúmeros benefícios acerca da utilização das rotas diretas, diminuição na emissão de poluentes na atmosfera, economia de combustíveis, maior eficiência do espaço aéreo, diminuição da carga de trabalho do controlador e otimização da rota planejada.

**Palavras-chave:** Controle de Tráfego Aéreo. Rotas Aéreas Diretas. Fluidez. Segurança. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

FRA (free route airspace) constitute a specific volume of airspace that allows users to plan a defined route between entry and exit points in order to optimize the flight. This article analyzes, through a systematic review, the use of this concept worldwide. For this, articles that exposed methods and results relevant to the theme of this research were selected, which provided subsidies for the

elaboration of a discussion on the benefits and challenges found in the use of FRA with a view to its implementation in the Brazilian Airspace. However, some experiences presented difficulties in implementation, for example, in Europe, which due to the fact that some member countries have a small geographic area and their airspace is limited by these frontiers resulted in an obstacle in the use of FRAs, since this concept is fully functional when there is a benefit in performing a direct flight, with a significant distance between the conventional route and the direct one, executed point-to-point. Therefore, in Brazil, a country of continental dimensions, the FRA could result in significant benefits both for aviation users and for the Airspace Control System. The conclusion presents numerous benefits regarding the use of FRA, such as, for instance, a reduction in the emission of pollutants into the atmosphere, fuel savings, greater airspace efficiency, reduced controller workload and optimization of the planned route.

**Keywords:** Air Traffic Control. Free Route Airspace. Fluidity. Safety. Sustainability.

## INTRODUÇÃO

O espaço aéreo brasileiro é dividido em áreas de responsabilidade que se estendem além da fronteira do território nacional, pois, conforme DECEA (2021) “O espaço aéreo sob responsabilidade do País estende-se além de suas fronteiras. Ultrapassa a área sobre seu território e alcança significativa parte do Oceano Atlântico, perfazendo um total de 22 milhões de km<sup>2</sup>”. O Controle de Tráfego Aéreo brasileiro tem como dever conduzir o tráfego aéreo com fluidez e segurança por meio dos órgãos de controle de tráfego aéreo distribuídos estrategicamente sob subdivisões de espaço aéreo, denominadas Regiões de Informação de Voo (FIR *Flight Information Region*), com vistas a controlar, defender e integrar a nação. No Brasil, o controle de tráfego aéreo assume proporções gigantescas, o que o torna uma atribuição estratégica e de segurança nacional, confiada por força da lei a uma das Forças Armadas (DECEA, 2021).

O DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) é a autoridade aeronáutica brasileira nos assuntos concernentes ao tráfego

aéreo e sua estrutura normativa, é uma organização do Comando da Aeronáutica responsável pelo controle da área sob responsabilidade do Brasil. Congrega recursos humanos, equipamentos, meios acessórios e infraestrutura com a missão de prover a segurança e a fluidez dos voos da região (DECEA, 2021). Outro aspecto essencial no tráfego aéreo é o gerenciamento da fluidez no espaço aéreo, que no Brasil é realizado pelo CGNA (Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea). Esse órgão é responsável por assegurar o equilíbrio entre capacidade e demanda de tráfego aéreo nos aeródromos e setores de controle do espaço aéreo brasileiro, conforme DECEA (2016): “O CGNA é uma espécie de gestor operacional dos fluxos de voo do País, onde todos os movimentos aéreos são monitorados 24 horas por dia, de modo a viabilizar a circulação aérea, garantindo a eficácia e a segurança operacional do transporte aéreo.”

O Sistema de Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo visa a gerenciar o número de aeronaves que requisitam os serviços do sistema ATM (Gerenciamento de Tráfego Aéreo) em um

dado tempo, denominada demanda de tráfego aéreo, em oposição à capacidade, a qual divide-se em: capacidade aeroportuária, sistema de pistas dos aeroportos e capacidade de setor ATC (controle de tráfego aéreo) declarada, esta última se refere ao número de aeronaves que possam afetar a carga de trabalho de um controlador de tráfego aéreo, conforme (ICA 100-22, 2018).

Existem diversos fatores que influenciam o gerenciamento do fluxo de tráfego aéreo, como, por exemplo: a carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo, as condições meteorológicas no cenário, a precisão da navegação da aeronave e a estrutura de rotas, conforme (ICA 100-22, 2018). Para otimização dessas variáveis, os gerentes de fluxo de tráfego aéreo aplicam ações restritivas, tais como espera em solo, espera no ar, redução da velocidade, rotas alternativas, indicação de atrasos em voos e pouso ou espera em aeroportos intermediários (ARRUDA JÚNIOR, 2010). A espera no solo é uma medida ATFM (Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo) que mantém as aeronaves no solo, tendo suas partidas condicionadas à redução ou ao fim do evento causador do impacto.

O espaço aéreo, apesar de ser vasto, é um recurso finito, bem como os recursos naturais do planeta. Logo, é primordial que os governantes das nações se voltem para uma política sustentável na gestão do espaço aéreo, tendo em vista que, por exemplo, a emissão de poluentes pela aviação influencia no efeito estufa.

[...] Apesar de o transporte aéreo ser o setor que contribui com um dos menores índices de emissões de CO<sub>2</sub>, essas são mais prejudiciais

se comparadas a outras fontes. De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 1999), isso de fato ocorre porque os poluentes lançados pelas aeronaves potencializam os efeitos do dióxido de carbono, por conta das grandes altitudes em que são emitidos (alta troposfera e baixa estratosfera), incidindo diretamente sobre a concentração de gases de efeito estufa e, portanto, intensificando o fenômeno do aquecimento global (BETIOLO; ROCHA; MACHADO, 2009, p. 6).

A estrutura de rotas do espaço aéreo brasileiro influencia diretamente no emprego dos recursos da aviação. Dessa forma, as rotas utilizadas na atual conjuntura do Espaço Aéreo Brasileiro, de um modo geral, não apresentam perfis diretos, o que resulta no aumento do tempo de voo e do consumo de combustível e emissão de poluentes pelas aeronaves, alterando, dessa maneira, o custo da passagem aérea e o gasto operacional das empresas aéreas.

Diante dos aspectos: emissão de poluentes, economia de combustível, redução de tempo de voo e fluidez do tráfego aéreo, é essencial que sejam criadas soluções para a otimização do espaço aéreo, pois, a infraestrutura associada e os sistemas operacionais, como os aeroportos e o controle do tráfego aéreo, influenciam nos impactos causados ao meio ambiente (BETIOLO, 2009).

Nesse contexto, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de implementar tecnologias para aperfeiçoar a estrutura existente do espaço aéreo, conforme preconizado no Plano de Implementação ATM Nacional, que trata da otimização do espaço aéreo e de seus recursos. Além disso, o DECEA tem como premissa em seu

planejamento a orientação de tecnologias, o desenvolvimento de soluções e a aplicação de procedimentos que permitam a evolução dos serviços de navegação aérea em todo o espaço aéreo sob responsabilidade do Brasil.

Dessa forma, o PCA 351-3 (Plano de Implementação ATM Nacional) consolida a visão da Concepção Operacional ATM Nacional, que representa a prospectiva para a evolução do Sistema ATM Nacional, em um plano de ação baseado em performance, que permite definir juntamente com a Comunidade ATM (Conjunto de organizações, agências ou entidades que podem participar, colaborar e cooperar no planejamento, desenvolvimento, uso, regulação, operação e manutenção do Sistema ATM), os empreendimentos que deverão ser priorizados para possibilitar: o uso racional do espaço aéreo; a melhor eficiência do Gerenciamento do Tráfego Aéreo; a redução da emissão de gases na atmosfera; a redução da carga de trabalho para controladores e pilotos e a redução dos custos na provisão dos serviços de navegação aérea. Esse Plano de Implementação ATM Nacional está inserido em um programa chamado SIRIUS, que representa, no âmbito do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), os projetos e atividades requeridos para a implementação do Conceito Operacional ATM no Brasil. Sendo assim, é notória a necessidade de implementação de novas tecnologias para atender as demandas previstas. Para isso, dentro do Plano de Implementação ATM Nacional inclui-se a Otimização da Estrutura das Regiões de Informação de Voo (FIR) e de Rotas ATS.

[...] A atual rede de rotas foi projetada para ser apoiada, principalmente, por uma rede de auxílios à navegação baseados em terra. Atualmente, com a disponibilidade de informações de navegação do GNSS e o desenvolvimento da capacidade navegação das aeronaves, é possível que as redes de rotas possam ser reprojatadas para atender às expectativas dos usuários de efetuarem seus voos no perfil ideal. Todavia, tal reestruturação impactará no dimensionamento dos diversos setores dos Centros de Controle de Área. Esse Objetivo de Performance tem como foco principal o aumento da eficiência das operações aéreas mantendo, ao mesmo tempo, os níveis de segurança requeridos.(PCA 351-3, 2012, p. 48).

As rotas diretas, que constituem um volume específico do espaço aéreo, são implantadas com o intuito de modernizar o tráfego aéreo e melhorar a eficiência dos voos com rotas executadas ponto a ponto. É uma parte específica do espaço aéreo onde os usuários podem planejar livremente uma rota entre um ponto de entrada e saída definidos, sem a referência de rotas aéreas, porém os usuários estão sujeitos a disponibilidade do espaço aéreo e ao controle de tráfego aéreo (REZO, 2019).

Nesse cenário, as rotas diretas permitem a flexibilidade do espaço aéreo e aumentam a eficiência do voo planejado, uma vez que o caminho percorrido seria menor, conseqüentemente reduz custos e diminui a emissão de gases poluentes na atmosfera. No entanto, a implementação de tal conceito exige uma análise minuciosa da configuração da área onde será implantada, tendo em vista que as trajetórias diretas, em tese, aumentariam a aleatoriedade dos conflitos e, por conseguinte, a

carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo. Sendo assim, o foco dessa revisão sistemática visa a analisar a utilização das rotas diretas no mundo com vistas à sua implementação no espaço aéreo brasileiro.

## MÉTODOS

Foi realizada uma revisão sistemática de publicações científicas, referentes à aplicação das rotas diretas, elencando os principais resultados obtidos com a sua implementação. Foram efetuadas pesquisas nas seguintes bases de dados de publicações científicas no Brasil a respeito do tema quanto à existência de artigos nacionais ou publicados em português: scielo, biblioteca digital de teses e dissertações e periódico Capes, o resultado foi nulo.

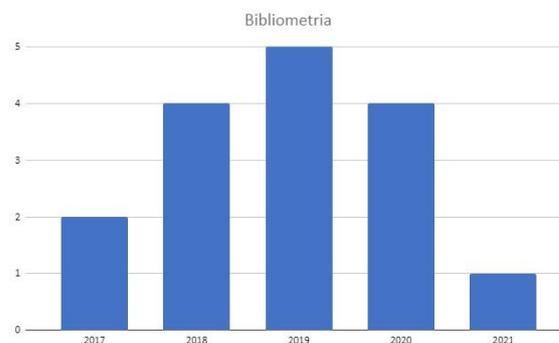
As bases de dados selecionadas para nova pesquisa foram: *Google Academic*, *Semantic Scholar* e *ProQuest*, elas foram escolhidas por apresentarem grande quantidade de artigos sobre o tema pesquisado e, principalmente, em razão da qualidade dos dados obtidos, pois os artigos demonstraram com pesquisas realizadas *in loco* a implementação das rotas diretas e de como se deu a sua utilização, seus benefícios e desafios durante o início das operações.

Foram efetuadas pesquisas em outras bases de dados, algumas não apresentaram publicações sobre o tema, pois as rotas diretas são um conceito novo e muito específico. Em outras bases de dados, foi constatado que haviam artigos repetidos que foram previamente selecionados nas bases escolhidas para a revisão sistemática, as bases pesquisadas foram: *Worldwide Science*, *IIEE Explore*, *LILACS*, *ERIC*,

*Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações*. Algumas bases apresentaram instabilidades na pesquisa como, por exemplo, o *WorldWide Science* que foi pré-selecionado como banco de dados. Essa base apresentou inicialmente dez artigos sobre o tema, sendo que somente cinco puderam ser extraídos integralmente. No entanto, dez dias após a primeira pesquisa foi efetuada uma checagem no referido banco, com os mesmos critérios, e o resultado apresentado foi distinto do primeiro, portanto, o banco e os artigos foram excluídos por apresentarem resultados distintos em um intervalo de tempo curto.

Como critério para seleção dos artigos científicos, no que tange ao período de pesquisa, considerou-se as publicações do ano de 2017 ao ano de 2021, pois este intervalo temporal corresponde ao cenário atual das rotas diretas e as novas tecnologias vinculadas à sua implementação. O Gráfico 1 apresenta a bibliometria dos artigos científicos em relação ao período de publicação.

Gráfico 1 – Ano de publicação de periódicos



Fonte: dados da pesquisa

O idioma empregado para a busca foi a língua inglesa, por apresentar maior número de publicações científicas, ressaltando que não

foram encontradas publicações em português sobre o tema. Tal escassez determinou a adoção deste outra estratégia de pesquisa. A definição dos critérios para a análise sistemática foi estabelecida conforme Sampaio e Mancini (2007).

Algumas palavras-chave foram testadas e foi constatado que o seguinte conjunto traria o resultado esperado (em quantidade e qualidade): *free route airspace, FRA, air traffic control, safety, implementation, separation*. Foram utilizadas aspas em cada conjunto de palavras, com a finalidade de excluir publicações que não tratassem do tema pesquisado, pois a busca dos dados com palavras isoladas inviabilizaria a pesquisa, devido a grande quantidade de dados que resultaria. Por exemplo, o conjunto de palavras *air traffic control* se inserido na busca de um banco de dados sem aspas, resulta em uma gama gigante de dados, em virtude das palavras serem buscadas separadamente, logo, foi essencial a inserção das aspas como recurso no momento da pesquisa. Outro recurso utilizado que determina mais um critério de pesquisa foi a exclusão das palavras *simulator* (simulador) e *simulation* (simulação) por meio da inserção do hífen antes das palavras no momento da busca, visto que este estudo trata da aplicação em cenário real e não em uma simulação, tendo em vista que artigos que empregaram cenários simulados poderiam não apresentar dados reais.

A busca nos bancos de dados *Google Academic, Semantic Scholar* e *ProQuest* foi conduzida por três examinadores independentes, com o emprego dos mesmos critérios, no período de 2 a 6 de agosto de 2021. No *Google Academic* a pesquisa resultou em trinta e um artigos

selecionados, sendo que em três destes não foi possível efetuar a extração das publicações na íntegra, logo, foram descartados, portanto, essas bases de dados proveram um total de vinte e nove artigos adquiridos na sua integralidade, tendo sido utilizado o conjunto total de palavras-chave mencionado.

Por outro lado, no *Semantic Scholar* o grupo de palavras resultou em nenhum artigo. Para resolver o problema, foi aplicada pelos examinadores uma tentativa de excluir algumas das palavras selecionadas para conferir se decorreria em uma solução eficaz. A solução foi positiva, pois resultou em sete artigos escolhidos, e todos foram extraídos integralmente. Portanto, as palavras-chave empregadas no *Semantic Scholar* foram: *free route airspace, FRA, Air Traffic Control, safety*.

A busca no *ProQuest* foi semelhante à efetuada no *Semantic Scholar*. Isso porque o resultado, também, não decorreu em uma apuração satisfatória de publicações. Sendo assim, foi realizada a mesma estratégia de excluir algumas palavras (*implementation, separation*) para verificar se a solução seria mais eficiente. Dessa maneira, gerou um total de onze artigos, tendo sido todos extraídos na íntegra. O grupo de palavras utilizado foi: *free route airspace, FRA, Air Traffic Control e safety*.

Após efetivadas as buscas nos três bancos de dados, foi efetuada uma revisão conjunta para checar possíveis discrepâncias. Não foi observada nenhuma inconsistência, de forma que o estudo realizado pelos pesquisadores gerou a mesma quantidade de artigos com as mesmas estratégias de exclusão de palavras.

O total de artigos encontrados nos três

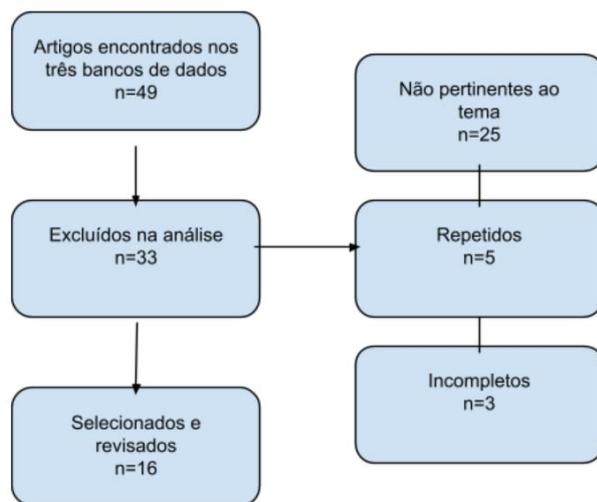


bancos de dados foi quarenta e nove. Durante a análise da qualidade dos dados foi aplicado o critério de pertinência ao escopo do estudo, que é a implementação e emprego das rotas diretas, seus benefícios e desafios, e o resultado que essa ferramenta gerou no sistema de controle de tráfego aéreo dos países envolvidos. Foram excluídos vinte e cinco artigos por não estarem relacionados com o tema em questão, pois, apesar de mencioná-lo, não foram pertinentes a esse estudo. Eis alguns assuntos de artigos excluídos durante a análise: simulação em cenário fictício, implementação de uma aplicação para incrementar as rotas diretas, gerenciamento de tráfego aéreo, estudo sobre espaço aéreo asiático, interferência em sistema de localização aeronáutica, redução na emissão de CO<sub>2</sub>, setorização do espaço aéreo europeu, dentre outros assuntos que não tratam da utilização das rotas diretas. A Figura 1 descreve a estratégia de busca e como se deu o cômputo final dos artigos selecionados.

Após a seleção dos dezesseis artigos, foi realizada a extração dos dados, quando foi realizado um estudo das publicações e coleta dos principais resultados e conclusões relacionados ao tema. Para uma organização metodológica mais eficaz, foi construído um quadro expositivo, com as caracterizações dos dezesseis textos selecionados e revisados para compor a discussão, em ordem de extração das bases de dados, respectivamente, *Google Academic*, *Semantic Scholar* e *ProQuest* e contendo tipo de estudo, ano de publicação, nome dos periódicos publicados, nome dos autores e o título do artigo.

Na sequência, no Quadro 2, são apresentados os métodos utilizados e os principais resultados obtidos pelos estudos acerca da utilização das rotas diretas, utilizando o mesmo critério de ordenação do Quadro 1.

Figura 1 – Estratégias de busca



Fonte: dados da pesquisa

Quadro 1 – Organização dos dados

N.º	Tipo de estudo	Ano	Periódico de publicação	Autoria	Título
1	Estudo de caso	2019	Single European Sky ATM Research	Pejovic, T., Lazarovski, A. & Pavlovic, G.	Impact of Free Route Airspace Implementation on Safety Performance
2	Estudo de caso	2020	Engineering Power	Antlov-Fantulin, B., Juričić, B., Radišić, J.	Free Route Airspace for Efficient Air Traffic Management
3	Estudo de caso	2017	Nanyang Technological University, Singapore	Xie, Z., Aneeka, S., Lee, Y. X. & Zhong, Z. W.	Study on building efficient airspace through implementation of free route concept in the Manila FIR
4	Estudo de caso	2021	Faculty of Transport, Warsaw University of Technology	Dudek, E., Piotrowska, K. K.	Does Free Airspace Implementation Influence Air Traffic Management System? Case in Poland
5	Estudo de caso	2020	Research Gate	Crnogorac, D., Netjasov, F., Pejovic, T.	Influence of FRA implementation on Traffic, Safety, Complexity and Workload in MUAC Airspace
6	Estudo de caso	2019	Research Gate	Crnogorac, D., Netjasov, F., Pejovic, T.	Analysis of Relationship between Air Traffic demand, safety and complexity in FABEC Airspace
7	Estudo de caso	2020	Barcelona Tech	Alonso, A. J.	Free Routing Airspace Implementation in Spain
8	Estudo de caso	2020	Universidade de Sevilla	Ayerbe, M. J. R.	Optimisation of Airspace Sectorisation
9	Estudo de caso	2019	Journal of advanced transportation	Cecen, R. K., Cetec, C	A Two-Step Approach for Airborne Delay Minimization Using Pretactical Conflict Resolution in Free-Route Airspace
10	Estudo de caso	2018	Aviation technologies	Dudoit, A., Stankunas, J.	Flight Trajectories Comparison in The Baltic FAB
11	Estudo de caso	2017	American Institute of Aeronautics and Astronautics	Rosenow, J. , Fricke, H., Lushcova, T., Schultz, M.	Impact of Optimized Trajectories on Air Traffic Flow Management
12	Estudo de caso	2017	BarcelonaTech	Nava-Gaxiola, C., Barrado, C.	Free route airspace and the need of new air traffic control tools

13	Tese PHD	2019	BarcelonaTech	Nava-Gaxiola, C.	The Future of Free Route in the European Airspace: A study quantifying the cost-benefits and safety-cost of its implementation
14	Estudo de caso	2018	Magazine of Aviation Development	Vagner, J., Ferencová, M.	The Implementation of Free Route Airspace (FRA) in Slovakia
15	Estudo de caso	2018	Scientific Letters of Rzeszow University of Technology	Drupka, G., Majka, A. Rogalski, T.	An airspace model applicable for automatic flight route planning inside free route airspace
16	Estudo de Caso	2018	Técnico Lisboa	Araújo, Catarina V.	Free Route Airspace Benefits for Business Aviation in Europe

Fonte: dados da pesquisa.

Quadro 2 – Relação dos métodos utilizados e resultados

N.º	MÉTODOS UTILIZADOS	RESULTADOS
1	Uma das maiores rotas diretas da Europa foi selecionada (NEFRA- Northern Europe Free Route Airspace) para serem analisados dados pós implementação como: número de eventos relacionados à redução na separação de tráfego, dados de tráfego e trajetórias de voo.	Foi demonstrado que a implementação das rotas diretas teve um impacto positivo no desempenho de segurança no espaço aéreo estudado, levando a uma redução significativa no número de potenciais perdas de separação entre as aeronaves (35%). Além disso, houve uma mudança nas características do tráfego que levou a uma diminuição do índice de exposição ao risco em quase 70%.
2	Este estudo apresenta os conceitos básicos das rotas diretas e fornece uma visão geral dos trabalhos e pesquisas mais importantes sobre a implementação das rotas diretas.	As evidências disponíveis sugerem que às rotas diretas devem aumentar o fluxo e a capacidade do tráfego, o que é importante para atender ao aumento da demanda. Estudos também apontam à necessidade de passar da setorização estática para a dinâmica do espaço aéreo, a fim de responder à dinâmica do tráfego fluxos nas rotas diretas. Os pontos de interseção e as interações das aeronaves em rotas diretas são variáveis, dinâmicas e difíceis de prever. Pesquisas futuras são, portanto, necessárias para compreender como as rotas diretas afetam a complexidade do tráfego e a carga de trabalho aérea controladores de tráfego.

3	<p>Nesse trabalho, os autores utilizaram o Software SAAM (System for air traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level), desenvolvido pelo Eurocontrol, para simular um espaço aéreo de rotas diretas e comparar com a estrutura de rotas original da FIR Manila.</p>	<p>Ao implementar as rotas diretas, houve um aumento da capacidade, uma vez que os pilotos podiam planejar o voo livremente entre os pontos de entrada e saída, ademais, houve diminuição na carga de trabalho para ATCOs. Além disso, as vantagens de mudar a atual estrutura de rotas para estrutura de rotas diretas inclui menor tempo de voo e menor consumo de combustível. As rotas diretas podem contribuir significativamente para conter o impacto da mudança climática e contribuir para mitigar o efeito estufa, reduzindo as emissões de gases poluentes pelas aeronaves.</p>
4	<p>Criação de modelos matemáticos e um conceito chamado RNP (Risk Priority Number) para quantificar o risco e identificar incompatibilidades da implantação das rotas diretas na atual conjuntura do espaço aéreo polonês.</p>	<p>Os resultados do artigo mostram que a implantação das rotas diretas influenciou negativamente os critérios de segurança estabelecidos pelo modelo matemático criado, no entanto, os valores encontrados não diferem muito da implantação de outros tipos de ferramenta ou sistema e justifica os benefícios adquiridos. Mais testes foram propostos no final do estudo.</p>
5	<p>O estudo é um acompanhamento, focado em um espaço aéreo menor com a medição de carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo como o escopo da análise. Analisa as interdependências entre a demanda de tráfego, segurança, complexidade e carga de trabalho ATCo. O espaço aéreo MUAC (Maastricht Upper Area Control Centre) foi selecionado e a análise focada especificamente nos relacionamentos em torno da implementação das rotas diretas: 1) análise de desempenho de segurança ampliando as mudanças no número de perdas potenciais de Separação (pLoS) e risco de conflito, 2) análise de pLoS características, 3) análise de complexidade e carga de trabalho, 4) análise de complexidade e segurança com mudança de nível de voo, e 5) análises de correlação entre tráfego, complexidade, segurança indicadores e carga de trabalho.</p>	<p>A implantação progressiva das rotas diretas não proporcionou grandes mudanças na geometria das interseções dos fluxos. Por essa razão, a complexidade parece não foi muito comprometida (variação geral -0,3%). A carga de trabalho ATCo diminuiu, o que pode ser explicado pelo número menor de voos atendidos, porém uma diminuição maior não foi possível devido ao aumento no número de pLoS.</p>

6	<p>A abordagem apresentada nesse estudo é baseada na pesquisa Complexity Metrics for ANSP Benchmarking Analysis. EURO-CONTROL, Brussels, Belgium, 2006, com exclusão do fator carga de trabalho da consideração explícita. A abordagem é feita com uma visão macroscópica, e está considerando quatro componentes de complexidade: densidade ajustada, potencial vertical interações, potenciais interações horizontais e potenciais interações de velocidade.</p>	<p>Tanto a complexidade quanto o risco de conflito podem mudar com o nível de voo. Os maiores valores médios de complexidade e número de PLoS estão em altitudes mais elevadas (FL350 a FL380) que correspondem ao nível de cruzeiro usado em rota. O Aumento no número de PLoS (Potential Loss of Separation) nessas altitudes é maior, em relação a aumento da complexidade, durante o verão. Isso pode estar relacionado ao fato de que o tráfego de verão é menos previsível (devido à existência de aumento do número de voos charter no verão).</p>
7	<p>Revisão dos números atuais dos movimentos aéreos, tráfego previsto, capacidade do espaço aéreo e complexidade, além de pontuações sobre a eficiência das rotas na Europa, com foco nas informações que são relevantes para a implantação das rotas diretas no espaço aéreo europeu.</p>	<p>Os resultados obtidos retratam um cenário bastante otimista para a implementação das rotas diretas em todas as FIRs da Espanha, onde os indicadores sobre segurança e eficiência melhoraram no cenário de rotas diretas. A implementação das rotas diretas gerou menos conflitos de separação nas FIRs mencionadas com a única desvantagem que sua localização geográfica apresenta um padrão mais aleatório que na navegação aérea atual por rotas aéreas convencionais. Além disso, as rotas diretas demonstraram redução das distâncias voadas em até 25%.</p>
8	<p>Uma ferramenta computacional para auxílio na configuração de setores foi criada. Utilizando dados reais de tráfego e seus conflitos, assim como uma série de exemplos reais. Criou-se então diversas opções de setorização e diferentes critérios de otimização do espaço aéreo para implantação das rotas diretas, mais especificamente na região sul da Espanha. Os principais objetivos da ferramenta eram a distribuição uniforme dos conflitos entre os setores e a minimização do número de transferências de aeronaves.</p>	<p>O modelo pode ser aplicado em um cenário das rotas diretas, pois nesse caso não há rotas fixas, e o espaço aéreo é redefinido e adaptado ao fluxo de tráfego aéreo que pode ser livremente modificado, sendo o ponto de entrada e saída os únicos pontos fixos da trajetória. Se a geometria das bordas principais forem corretamente ajustadas para receber novos fluxos de tráfego, essa ferramenta pode ser aplicada diretamente.</p>

9	<p>Esse estudo propõe uma solução em dois passos para abordar a resolução de conflitos e o consumo de combustível nas rotas diretas. O primeiro passo apresenta pontos alternativos de entrada e saída em ambos os lados do setor existente para minimizar os atrasos e direcionar as aeronaves aos pontos de entrada mais convenientes. O segundo passo sugere vetores ideais para minimizar o consumo extra de combustível causado pela resolução de conflitos.</p>	<p>Através da definição de pontos alternativos de entrada/saída e vetores recomendados, a carga de trabalho do ATC foi reduzida dramaticamente. A capacidade do espaço aéreo foi aumentada e houve redução dos atrasos nas decolagens. O impacto econômico e ambiental das operações de voo pela redução no consumo de combustível também foi reduzido consideravelmente.</p>
10	<p>O foco deste artigo é mostrar as diferenças entre rotas fixas e trajetórias diretas no Báltico em termos de distância de voo, consumo de combustível e emissão de gases.</p>	<p>Comparações entre os sistemas ATM funcionando em diferentes regiões do mundo mostram que quanto menos fragmentação houver, mais eficientes serão os voos.</p>
11	<p>Neste estudo, o impacto de trajetórias de rota livre otimizadas no sistema ATFM é analisado em detalhes e em comparação com um cenário de referência que consiste em 8.800 trajetórias voadas fornecidas pelos arquivos de plano de voo do EUROCONTROL para reproduzir corretamente a situação atual durante uma hora no espaço aéreo superior europeu em 17 de maio de 2017.</p>	<p>Queima de combustível, carga de trabalho ATC e o impacto ambiental das trajetórias da aeronave podem ser reduzidos, quando as trajetórias foram otimizadas como rotas 4D e das rotas diretas. Até mesmo o número de tarefas do controlador podem ser reduzidas, através de restrições rescindidas dadas por waypoints no cenário de referência. No entanto, embora o número de conflitos seja reduzido, os conflitos restantes são muito mais complexos e difíceis de resolver.</p>
12	<p>Realização de questionário com 106 controladores responsáveis por setores das rotas diretas.</p>	<p>85% das repostas classificaram a utilização das rotas diretas como benéfica, com exceção dos controladores da República Tcheca, que acreditam que não há necessidade de implementação das rotas diretas.</p>
13	<p>Esse estudo utiliza dados de espaços aéreos onde as rotas diretas já foram implementadas para simular uma implementação completa o sistema através de toda a Europa, sem fronteiras nacionais ou estruturais, explorando aspectos como o benefício para usuários do espaço aéreo e complexidade, além das dificuldades relacionadas com esse cenário.</p>	<p>Os resultados demonstraram que em um cenário de implementação completa das rotas diretas na Europa, com uma previsão de tráfego até 2024 de 32.000 voos por dia, a redução de milhas voadas poderiam chegar a 547.000 milhas náuticas por dia. Além disso, seriam economizados aproximadamente 85 toneladas de combustível por dia, resultando em uma redução na emissão de CO<sub>2</sub> em 266 toneladas e 67 toneladas de Nox.</p>

14	Análise do avanço das rotas diretas na Europa e na Eslováquia, detalhando os principais desafios de sua implementação.	A Eslováquia é um exemplo de país onde, devido sua posição geográfica, somente se beneficiará das rotas diretas se a implementação for em conjunto com outros países vizinhos, incorporando a SEEN, composta pela Hungria, Romênia e Bulgária.
15	Este artigo propõe um modelo de espaço aéreo aplicado à seleção de rotas de forma automática para facilitar o planejamento de voo, em contrapartida com a seleção manual realizada atualmente.	Devido à complexidade do espaço aéreo europeu, há uma grande probabilidade de que o planejamento de um voo baseado em rotas diretas não seja aceito ou voado em sua plenitude. O advento de um sistema automático de criação de rotas pode aprimorar esse planejamento e aumentar a eficiência e a capacidade.
16	Os cenários consistem em dados de tráfego atribuídos a diferentes configurações de rede em todo o espaço aéreo europeu, usando a configuração de rede atual como uma linha de base e desenvolvendo futuros cenários de acordo com os projetos de melhoria de curto, médio e longo prazo planejados. Foi feita uma análise de diferentes parâmetros como tempo, distância, consumo de combustível e emissões para estimar o impacto das novas rotas diretas em cada um deles.	Os resultados obtidos neste estudo correspondem a uma diminuição média anual de 1,788 milhões de NM, mais de 253 mil minutos de tempo de voo reduzido, economia de combustível de aproximadamente 6,238 milhões de kg e, conseqüentemente, mais de 19,719 milhões de kg de CO <sub>2</sub> e 107 mil kg de NO <sub>x</sub> para aviação executiva somente.

Fonte: dados da pesquisa

## DISCUSSÃO

Considerando os métodos e resultados expostos no Quadro 2, é possível apontar benefícios e desafios da implementação das rotas diretas.

Durante a coleta dos dados foram sintetizadas informações referentes aos seguintes aspectos: capacidade, segurança, complexidade, carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo e emissão de poluentes.

No que se refere à capacidade, é pertinente citar que uma limitação na capacidade do espaço aéreo representa uma medida de segurança

aplicada em nível estratégico e é primordialmente determinada pela carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo, pois, apesar dos sofisticados sistemas de bordo das aeronaves, seres humanos ainda constituem o centro do sistema de gerenciamento de tráfego (GAXIOLA, 2019, p.51).

Na sequência, o gráfico 2 mostra que dentre os sete artigos que abordaram a capacidade, foi unânime entre os artigos pesquisados, que houve aumento nesse aspecto com a implementação das rotas diretas. Os outros nove artigos selecionados não abordaram esse assunto.

Gráfico 2 – Capacidade



Fonte: dados da pesquisa

Quanto à complexidade, dois artigos demonstraram que houve redução; outros oito que houve aumento; e seis não trataram sobre o assunto. É importante ressaltar que um aumento na complexidade não significa necessariamente redução na segurança, pois a mudança das trajetórias pode resultar na dispersão dos conflitos.

Gráfico 3 – Complexidade



Fonte: dados da pesquisa

A implementação das Rotas Diretas apresentou menos conflitos de separação de aeronaves com a única desvantagem de que a localização geográfica dos conflitos apresentaram um padrão mais aleatório em relação as rotas aéreas convencionais (ALONSO, 2020, p.84).

Essa redução da previsibilidade na interseção das trajetórias de voo foi o que levou 28,6% dos artigos selecionados a indicarem um aumento da carga de trabalho, conforme o gráfico 4, pois tornou a solução e a detecção dos

conflitos mais complexas para o controlador de tráfego aéreo, dificultando seu planejamento.

Em relação à carga de trabalho, dois artigos relataram aumento na carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo; cinco demonstraram diminuição; e nove não trataram sobre o tema.

Gráfico 4 – Carga de trabalho



Fonte: dados da pesquisa

Essa redução é um reflexo do aumento da capacidade do setor ATC, resultante da implementação das FRA. Além disso, a redução da carga de trabalho é decorrente da diminuição das solicitações do piloto ao órgão de controle, tendo em vista que ele já está em uma rota direta.

No que tange à segurança, oito artigos relataram aumento, três demonstraram redução e cinco não trataram sobre o tema. Os autores pesquisados consideram esse aspecto em termos de exposição ao risco e potenciais eventos relacionados à segurança, tais como dispersão do tráfego, perda de separação, redução na capacidade e aumento da carga de trabalho dos controladores.

Gráfico 5 – Segurança



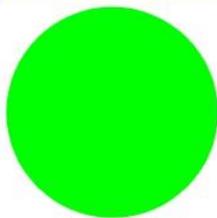
Fonte: dados da pesquisa

Pejovic (2019, p.2) selecionou como objeto de estudo a segurança no espaço aéreo NEFRA (Rotas Aéreas Diretas do Norte da Europa), maior FRA da Europa. A metodologia proposta demonstrou que a implementação das FRA teve um impacto positivo, o que levou a uma redução significativa dos PLOS (Perda Potencial de Separação), que é uma projeção de conflito entre duas trajetórias, em 35%.

Quanto à emissão de poluentes, conforme mostra o Gráfico 6, é consenso entre os autores consultados que a implementação das FRA gerou diminuição desse fator, que é uma consequência da economia de combustível e da redução do tempo de voo. No entanto, é importante destacar que três dos dezesseis artigos não abordaram esse assunto.

Gráfico 6 – Redução nas emissões de poluentes

Redução nas emissões de CO<sub>2</sub>



Fonte: dados da pesquisa

Em face aos desafios advindos da crescente demanda de tráfego aéreo, a agência europeia

ANSP (*Air Navigation Service Providers*) buscou aprimorar a eficiência do espaço aéreo para incluir estruturas mais flexíveis e mais ligadas às necessidades dos usuários, como parte do programa SESAR (*Single European Sky ATM Research Program*). O SESAR é um programa que objetiva aprimorar a performance do gerenciamento de tráfego aéreo, modernizando e harmonizando os sistemas ATM por meio da definição, desenvolvimento, validação e divulgação de tecnologias inovadoras e soluções operacionais.

É possível perceber similaridades entre os programas SESAR, na Europa, e SIRIUS, no Brasil, tendo em vista a busca pelo constante aperfeiçoamento do controle do espaço aéreo em ambos.

Atualmente, o espaço aéreo europeu ainda é estruturado ao longo de fronteiras internacionais, variando entre países que implantaram as FRA e outros que ainda estão em processo de implantação ou aceitação. Dessa forma, a maioria dos voos ainda ficam restritos a estrutura antiga de rotas ou não conseguem utilizar as FRA na sua plenitude. Os custos estimados dessa fragmentação foram de 4 bilhões de euros por ano (GAXIOLA, 2019, p.19).

Uma solução para esse problema foi a criação das FAB (*Flexible Air Block*), que são uma área específica onde as rotas e as estruturas do espaço aéreo deixam de ser definidas conforme fronteiras nacionais e passam a ser otimizadas de acordo com as necessidades operacionais de tráfego aéreo.

De acordo com (*Eurocontrol, Complexity Metrics for ANSP Benchmarking Analysis*, 2006), 11% da ineficiência dos voos em rota é atribuída à

fragmentação das aerovias entre países dentro de cada FAB, enquanto um adicional de 25% é atribuído a fragmentação entre FAB.

Conforme o programa SESAR, os atuais 67 blocos de espaço aéreo (todos baseados em fronteiras nacionais) serão reorganizados em somente nove FAB (GAXIOLA, 2019, p. 19). A tabela 1 resume os países integrantes de cada uma das nove FAB que futuramente integrarão o espaço aéreo europeu:

Tabela 1 - European FAB

FUNCTIONAL AIRSPACE BLOCK
UK-Ireland FAB
Danish-Swedish FAB
Baltic FAB (Lithuania, Poland)
BLUE MED FAB (Cyprus, Greece, Italy and Malta)
Danube FAB (Bulgaria, Romania)
FAB CE (Austria, Bosnia & Herzegovina, Croatia, Czech Republic, Hungary, Slovak Republic, Slovenia)
FABEC (Belgium, France, Germany, Luxembourg, the Netherlands and Switzerland)
North European FAB (Estonia, Finland, Latvia, and Norway)
South West FAB (Portugal, Spain)

Fonte: GAXIOLA (2019).

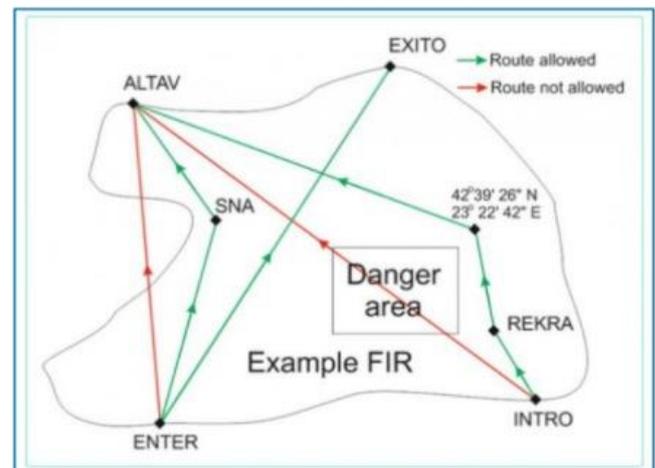
Nesse contexto, o objetivo do SESAR é aprimorar tanto a capacidade quanto a segurança do voo em rota. A implementação das FRA dentro das FAB pode ser considerada um passo importante para alcançar um espaço aéreo europeu eficiente, flexível e ligado ao usuário.

No entanto, determinar essas melhorias tem sido um desafio para a comunidade de pesquisa ATM, já que depende da análise de diferentes *stakeholders* (empresas aéreas, PSNA, indústria aeronáutica, militares, etc.).

O conceito de FRA foi inicialmente proposto em 2008 pelo *Eurocontrol* em cooperação com especialistas civis e militares em *design* do espaço aéreo, estados membros, usuários e

organizações internacionais. Conforme a figura 2 abaixo, o conceito sugere pontos de entrada e saída, além de pontos intermediários, se necessários, para evitar zonas proibidas ou para adequar o voo a regras específicas da região.

Figura 2 – Conceito FRA



Fonte: SkyBrary (2017).

Ao analisarmos o conteúdo dos artigos selecionados, verificou-se o fato de que a utilização das rotas diretas trouxe consigo o aumento da capacidade de setor ATC, no entanto, as dificuldades encontradas para a sua implantação variam de acordo com as características da região alvo. De acordo com Vagner e Farencová (2018, p. 26) a implementação das FRA na Eslováquia, por exemplo, somente se beneficiaria totalmente se outros países próximos, como a República Checa, implementassem as rotas diretas no futuro.

Além disso, o aumento da liberdade para se criar rotas aéreas também gerou a incerteza se o plano de voo será aceito, tendo em vista que a utilização de uma rota aérea direta aumenta a aleatoriedade dos conflitos e está sujeita a

aceitação do controle de tráfego aéreo. Uma alternativa para solucionar esse problema foi a criação de um modelo matemático para calcular as melhores trajetórias com a finalidade de mitigar os erros gerados pela falta de previsibilidade nos planos de voo que pretendem voar através das rotas diretas (DRUPKA; MAGKA; ROGALSKI, 2018, p. 08).

A automação na criação e planejamento de rotas diretas pode beneficiar os usuários desse sistema e otimizar a utilização do conceito das rotas diretas, tendo em vista que o problema da aleatoriedade nos cruzamentos das trajetórias seria mitigado.

A opinião dos controladores de tráfego aéreo sobre a implementação das rotas diretas também foi majoritariamente positiva, apesar de intimamente ligada à região de operação. Conforme Barrado e Gaxiola (2017, p. 7) em um questionário realizado com 106 controladores, com tempo de experiência variando entre 13 e 21 anos, houve 100% de aceitação nas rotas diretas do norte da Europa e Hungria, por exemplo. Os controladores da República Checa, em contrapartida, protagonizaram a maior parte dos *feedbacks* negativos, alegando que só conseguiam ativar as rotas diretas durante à noite e em períodos específicos do dia e, mesmo assim, o número de restrições de tráfego registradas pelo seu sistema computacional aumentava consideravelmente nesse período.

Tal questionário também avaliou as entidades que se beneficiariam com a implementação das rotas diretas consoante com a opinião dos profissionais, no quesito *stakeholders* e indicadores de eficiência. Segundo os controladores de tráfego aéreo, os

*stakeholders* que mais se beneficiariam com a implementação das rotas diretas seriam as empresas aéreas (94%), seguidos pelos passageiros (74%) e os pilotos (49%). Somente 8% dos controladores consideraram que eles ganhariam algum tipo de benefício com a implementação das rotas diretas.

No quesito indicador de eficiência, 91% acredita que a redução na distância voada seria o melhor benefício trazido, seguido pela redução na dificuldade de planejamento de rotas antes do voo (50%). Redução no tempo de voo e no consumo de combustível também foi considerado por 35% dos controladores.

Para Barrado e Gaxiola (2017, p.8), o número de PLOS (*Potential Loss of Separation*), foi menor em um cenário FRA do que em um cenário de rotas convencionais. Na verdade, a percepção desses conflitos potenciais é menos visível em uma estrutura de rotas diretas, além disso, os pontos de confronto deixam de ser baseados numa estrutura fixa, tornando a detecção menos apurada. A criação de novas ferramentas ATC para auxiliar a constatação de conflitos de tráfego aéreo nesse cenário é uma peça chave para aumentar a segurança e a confiabilidade das rotas diretas.

Nesse contexto, Ayerbe (2017, p. 12) propôs em seu estudo um modelo computacional em que a setorização do espaço aéreo poderia ser modificada dinamicamente com o objetivo de reduzir os conflitos. Se a geometria das bordas principais for corretamente adaptada para receber novos fluxos de tráfego, essa ferramenta pode ser aplicada diretamente. As providências adotadas podem neutralizar as limitações, contorná-las ou estimar sua influência nos

resultados.

[...] Para ser capaz de fazer a transição para um conceito de FRA, a setorização precisa ser reestruturada para integrar os novos fluxos de tráfego. Em vez de ter fluxos fixos de tráfego aéreo cruzando em certos pontos, o novo tráfego será espalhado por todo o espaço aéreo e os pontos de conflito mudariam. A setorização precisa ser mais flexível e garantir uma boa coordenação entre os setores.” (Ayerbe, 2017 p. 16)

Além disso, para garantir esse nível de flexibilidade, esse tipo de setorização deve acontecer de forma irrestrita nas FIR/UIR e em fronteiras internacionais, levando em consideração aspectos militares, orientação principal dos voos, pontos de conflito e espaços aéreos restritos (AYERBE, 2017 p. 16).

No contexto da flexibilidade, Cecen (2019) propôs em seu estudo pontos de entrada e saída alternativos com vistas a aumentar a flexibilidade da estrutura de rotas e diminuir consideravelmente o número de conflitos potenciais, abandonando o conceito inicial de rotas diretas que propõe a Figura 3 e adotando a estrutura na figura 4:

Figura 3 – Conceito simples de FRA

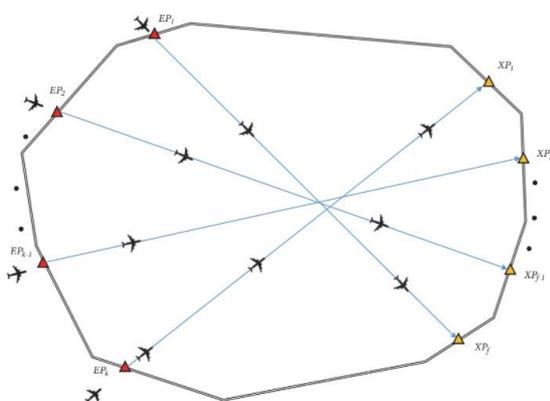
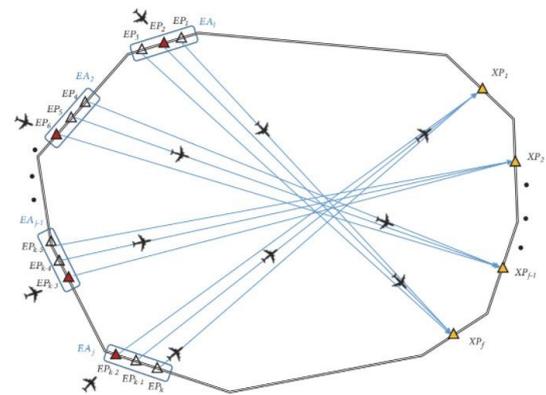


Figura 4 – FRA com entradas flexíveis



Fonte: Cecen, R. K. Cetec (2019).

Para viabilizar a setorização proposta na figura 4, é necessário um sistema computacional robusto, com acesso a dados, como, por exemplo, posição das aeronaves e espaços aéreos restritos, dentre outros, para que o sistema proponha as rotas ótimas e seguras.

As tecnologias de detecção de conflitos, também, incluem-se como outra necessidade para utilização das rotas diretas e tem como objetivo aumentar a consciência situacional do Controlador de Tráfego Aéreo. Na Europa, a MTCD (*Medium Term Conflict Detection*), ferramenta de planejamento desenvolvida para monitorar todas as aeronaves em um espaço aéreo específico, é um *software* empregado nas rotas diretas que examina pares de trajetórias e a convergência dentro de limites de separação predefinidos. Um alerta é acionado para o controlador no caso de risco. O sistema busca por conflitos entre aeronaves e previne o ingresso em áreas não permitidas.

[...] O horizonte de tempo no qual o MTCD compara trajetórias é de 20 minutos, ele notifica o controlador das interações que ocorrem em médio prazo. Essa ferramenta auxilia os

controladores na tomada de decisão e pertencem a categoria do DST (*Decision Support Tools*). Provê informações de: tráfegos envolvidos; conflitos potenciais em um horizonte temporal; estimado para o momento do conflito; filtros utilizados para priorizar problemas; análise, “e se” (*what if*), sobre um possível conflito no caso de uma autorização do controlador ser emitida (NOSKIEVIČ, 2017, p. 7).

Conforme entrevista com controladores de ACC (Centro de Controle de Área) na Europa realizado por Gaxiola (2017, p.7), a aceitação do MTCB teve bons resultados, com 62% considerando a ferramenta muito boa e 25% como boa.

Se levarmos em consideração um dos maiores Blocos Flexíveis de Espaço Aéreo da Europa, o FABEC (Bélgica, França, Alemanha, Luxemburgo, Suíça e Holanda), que é responsável por mais da metade do tráfego anual europeu, torna-se evidente que há benefícios na implantação das rotas diretas mesmo em regiões cujo movimento de tráfego é um dos mais complexos do mundo.

Crnogorac, Netjasov, Pejovic (2019, p. 08) afirmam em seu estudo que uma implementação gradual das rotas diretas, além da constante correlação da demanda de tráfego, complexidade e indicadores de segurança podem ser benéficas à implantação. Além disso, um mapeamento sazonal da complexidade de tráfego, no aumento dos PLOS, e da severidade dos conflitos são essenciais para definir o comportamento do fluxo nesse cenário. No espaço aéreo FABEC, por exemplo, o nível de complexidade aumenta consideravelmente no verão, quando o tráfego é maior e com mais voos do tipo *charter*, voo fretado, principalmente dos níveis de voo 350 ao

380, que correspondem aos principais níveis de cruzeiro da região.

Apesar das dificuldades de implementação das rotas diretas em todo o espaço aéreo europeu, Gaxiola, em sua tese de PHD publicada em 2017, utilizou dados de espaços aéreos em que as rotas diretas já foram implementadas para simular como seria uma utilização completa através de todo o continente até 2024, com uma previsão de 32.000 voos por dia, sem fronteiras nacionais ou estruturais, explorando aspectos como o benefício para usuários do espaço aéreo e a complexidade. Os resultados demonstraram uma redução de 547.000 milhas náuticas voadas por dia, além de uma economia de 85 toneladas de combustível para os usuários diariamente. No que se refere à preservação do meio ambiente, estima-se pelo pesquisador que uma implementação completa reduziria a emissão de poluentes em 266 toneladas por dia.

Dessa forma, os resultados obtidos na extração das informações dispostas nos estudos de caso referenciados neste artigo científico evidenciam que, após ultrapassadas as dificuldades de implementação dessa nova estrutura de rotas aéreas, a implementação das rotas diretas pode trazer benefícios para toda a comunidade ATM, bem como economia e praticidade para os usuários do espaço aéreo, revertendo-se em ganho para a população e preservação do meio ambiente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notório que as rotas diretas podem ser consideradas um conceito essencial para a evolução do Gerenciamento do Controle de Tráfego Aéreo, pois, além de aumentarem a capacidade

de controle, diminuem, também, a carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo e otimizam o voo com rotas diretas. Tal implementação é capaz de gerar uma alternativa para a sustentabilidade, dado que, de acordo com os estudos aqui apresentados, resultou na diminuição na emissão de poluentes, economia de combustíveis e maior eficiência do espaço aéreo.

Além disso, apesar das dificuldades de implementação em todo o continente europeu terem diminuído os benefícios que as rotas diretas poderiam potencialmente trazer àquela região, o espaço aéreo brasileiro possui a vantagem de ter dimensões continentais sem a limitação de fronteiras estatais na sua estrutura de malha aérea.

Outro fator importante a ser mencionado é que no Brasil, há a centralização do controle de fluxo pelo CGNA, o que facilitaria o planejamento e a ativação gradual das rotas diretas em horários e porção do espaço aéreo pertinentes com a demanda e a complexidade.

Os sistemas de planos de voo e planejamento também precisam ser desenvolvidos para garantir que um plano de voo preenchido para voar rotas diretas seja reconhecido e tenha alta taxa de aceitação pelos órgãos de controle de tráfego aéreo, não sendo recusados por conta de uma demanda não prevista de tráfego.

Indicadores de desempenho devem ser cri-

ados exclusivamente nas rotas diretas, a fim de quantificar o aumento na carga de trabalho ATC, capacidade de setores e aumento dos potenciais conflitos de tráfego, tendo em vista que haverá dispersão dos pontos de cruzamento das aeronaves quando as rotas diretas estiverem ativo. Estes indicadores devem ser reavaliados sazonalmente.

Assim como nas FAB de maior complexidade, é recomendado que a implantação seja feita de forma gradual, funcionando em horários específicos e de baixa demanda, em concomitância com o treinamento dos recursos humanos envolvidos.

A criação de setores dinâmicos ou pontos de entrada e saída alternativos podem reduzir a carga de trabalho ATC e aumentar a flexibilidade na utilização das FRA.

Para futuros estudos, há de se pensar quais seriam os tipos de ferramentas, como as que aumentam a consciência situacional do controlador de tráfego aéreo, que seriam desenvolvidas ou aprimoradas para auxiliar na detecção de conflitos criados pelas novas trajetórias de voos com vistas a manter a carga de trabalho ATC em níveis aceitáveis.

Por fim, os dados obtidos indicam que a implementação das rotas diretas tem potencial de trazer benefícios para o Brasil e otimizar o espaço aéreo.

## REFERÊNCIAS

- ANTULOV-FANTULIN, B. *et al.* **Free Route Airspace for Efficient Air Traffic Management.** Engineering Power: Bulletin of the Croatian Academy of Engineering, v. 15, n. 2, p. 10-17, 2020.
- ARAÚJO, C. **Free Route Airspace Benefits for Business Aviation in Europe.** 2018.



ARRUDA JÚNIOR, A. C. A. *et al.* **Análise de impacto no controle de fluxo de tráfego aéreo** *in*: SIMPÓSIO DE TRANSPORTE AÉREO, 9., 2010, Manaus. **Anais [...]**. Manaus: UFAM, 2010. p. 354-361.

BETIOLO, C. R.; ROCHA, G. C.; MACHADO, P. R.C. **Iniciativas da aviação para redução das emissões de CO2** *in*: SIMPÓSIO DE TRANSPORTE AÉREO, 8., São Paulo, 2009, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2009. p. 1-9.

CECEN, R. K.; CETEK, C. **A two-step approach for airborne delay minimization using pretactical conflict resolution in free-route airspace**. *Journal of Advanced Transportation*, v. 2019, 2019.

COMANDO DA AERONÁUTICA. Serviços de Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo. **ICA 100-22**. DECEA, 2018.

COMANDO DA AERONÁUTICA. Plano de Implementação ATM Nacional. **PCA 351-3**. DECEA, 2012.

DECEA. **Espaço Aéreo Brasileiro**. DECEA. Disponível em: <<https://www.decea.mil.br/?i=quem-somos&p=espaco-aereo-brasileiro>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

DRUPKA, G. *et al.* **An airspace model applicable for automatic flight route planning inside free route airspace**. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika*, 2018.

DUDEK, E.; KRZYKOWSKA-PIOTROWSKA, K. **Does free route implementation influence air traffic management system? Case study in Poland**. *Sensors*, v. 21, n. 4, 2021.

DUDOIT, A.; STANKŪNAS, J. **Flight trajectories comparison in the Baltic FAB/Baltijos funkcinio oro erdvės bloko skrydžių trajektorijų palyginimas**. *Mokslas: Lietuvos Ateitis*, v. 10, 2018.

EUROPEAN ROUTE NETWORK IMPROVEMENT PLAN. **Network Manager**, [s. l.], ano 2018, n. 2, p. 1-275, dez. 2018.

JULIÀ ALONSO, A. **Free routing airspace implementation in Spain: Preliminary study**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universitat Politècnica de Catalunya.

NAVA GAXIOLA, C. A. *et al.* **The future of free route in the European airspace: a study quantifying the cost-benefits and safety-cost of its implementation**. 2019. Tese de Doutorado. Universitat Politècnica de Catalunya.

NAVA-GAXIOLA, C. A.; BARRADO, C. **Free route airspace and the need of new airtraffic control tools**. *In*: 2017 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC). IEEE, 2017. p. 1-10.

- NOSKIEVIČ, T.; KRAUS, J. Air traffic control tools assessment. **MAD-Magazine of Aviation Development**, v. 5, n. 2, p. 6-10, 2017.
- PEJOVIC, T.; CRNOGORAC, D.; NETJASOV, F. **Influence of FRA implementation on Traffic, Safety, Complexity and Workload in MUAC Airspace**. 2020.
- PEJOVIC, T.; LAZAROVSKI, A.; PAVLOVIC, G. **Impact of Free Route Airspace Implementation on Safety Performance**. 2019.
- PEJOVIC, T.; NETJASOV, F.; CRNOGORAC, D. **Analysis of Relationship between Air Traffic Demand, Safety and Complexity in FABEC Airspace**. 2019.
- RAMÍREZ AYERBE, M. J. **Optimisation of Airspace Sectorisation**. 2020.
- RENNER, P. *et al.* The Effects of the Introduction of Free Route (HUFRA, Hungarian Free Route Airspace) in the Hungarian Airspace. **8th SESAR Innovation Days**, p. 1-8, 2018.
- REZO, Z.; STEINER, S. **South East Common Sky Initiative Free Route Airspace - implementation aftermath** in: INTERNATIONAL CONGRESS ON TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND SYSTEMS IN A CHANGING WORLD, 2, 2019, Roma. **Anais [...]**. Roma: Elsevier, 2019. p. 676-683.
- ROSENOW, J. *et al.* **Impact of optimised trajectories on air traffic flow management**. The Aeronautical Journal, v. 123, n. 1260, p. 157-173, 2019.
- SAMPAIO, R. F. ; MANCINI, M. C. **Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.
- SIMÕES, A. F.; SCHAEFFER, R. Emissões de CO2 devido ao transporte aéreo no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1-9, [2002].
- VAGNER, J. ; FERENCOVA, M. **The Implementation of Free Route Airspace (FRA) in Slovakia**. **MAD-Magazine of Aviation Development**, v. 6, n. 4, p. 23-27, 2018.
- ZHONG, Zhaowei *et al.* **Study on building efficient airspace through implementation of free route concept in the Manila FIR**. 2017.