

**EFICIÊNCIA DOS PROVEDORES DE SERVIÇO DE NAVEGAÇÃO AÉREA
(PSNA) POR MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA): REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA**Milton Alexandre de Oliveira¹Carlos Eduardo Valle Rosa²**RESUMO**

Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre a aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) na avaliação da eficiência dos Provedores de Serviço de Navegação Aérea (PSNA) publicada entre 2013 e 2024. O objetivo foi compreender como a literatura tem discutido e analisado a eficiência dos PSNA por meio da DEA e quais os principais resultados encontrados. A metodologia empregou uma busca sistemática nas bases de dados *Web of Science* e SCOPUS. A revisão identificou estudos que aplicaram a DEA, com predomínio em PSNA europeus, motivados pela iniciativa do Céu Único Europeu e pela existência de relatórios de dados europeus. Os modelos DEA mais utilizados foram os de Retornos Variáveis de Escala (VRS) e, frequentemente, os de Retornos Constantes de Escala (CRS). As variáveis de *inputs* (como controladores de tráfego aéreo) e de *outputs* (como horas de voo controladas) variaram entre os estudos. A complexidade do tráfego foi um dos fatores identificados que frequentemente afeta a eficiência. O estudo também destacou o uso de técnicas complementares à DEA, como *bootstrapping* e análises de regressão. As limitações dos estudos revisados incluíram questões relacionadas à disponibilidade, escassez e heterogeneidade dos dados. A conclusão principal é que a DEA é uma ferramenta valiosa para analisar o desempenho dos PSNA. O artigo sugere futuras pesquisas para adaptar esses modelos ao contexto dos PSNA brasileiros, possibilitando *benchmarking* comparativo.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados; Eficiência; Provedores de Serviço de Navegação Aérea; Gerenciamento de Tráfego Aéreo.

¹ Mestrando em Ciências Aeroespaciais no Programa de Pós-Graduação em Ciências Aeroespaciais da UNIFA, com ênfase em Defesa/Poder Aeroespacial. Oficial da ativa da Força Aérea Brasileira (FAB) na atividade de Gerenciamento de Tráfego Aéreo (2015). Graduado em Tecnólogo em Gerenciamento de Tráfego Aéreo pelo Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica (CIAAR) por meio do Curso de Formação de Oficiais Especialistas - CFOE na especialidade de Controle de Tráfego Aéreo (2015). Licenciado em Letras - Português/Inglês (2008). Pós-graduado em Gerenciamento de Projetos (2020). UNIFA/FAB/CINDACTA 2. E-mail: maomilton@gmail.com

²Doutor em Geografia, na área de Geopolítica (UFRN). Mestrado em Ciências Aeroespaciais, com ênfase em Defesa/Poder Aeroespacial pela Universidade da Força Aérea (UNIFA). Bacharelado e Licenciado em História pela UFRN e Bacharelado em Ciências Aeronáuticas pela Academia da Força Aérea. É professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Aeroespaciais da UNIFA. Coronel da Reserva da Força Aérea Brasileira (FAB). UNIFA/FAB. E-mail: eduvale80@hotmail.com

EFFICIENCY OF AIR NAVIGATION SERVICE PROVIDERS (PSNA) THROUGH DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA): A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE

ABSTRACT

This article presents a systematic literature review on the application of Data Envelopment Analysis (DEA) in evaluating the efficiency of Air Navigation Service Providers (ANSPs) published between 2013 and 2024. The objective was to understand how the literature has discussed and analyzed the efficiency of ANSPs through DEA and the main findings. The methodology involved a systematic search in the Web of Science and SCOPUS databases. The review identified studies that applied DEA, with a predominance of European ANSPs, driven by the Single European Sky initiative and the availability of European data reports. The most commonly used DEA models were Variable Returns to Scale (VRS) and, frequently, Constant Returns to Scale (CRS). Input variables (such as air traffic controllers) and output variables (such as controlled flight hours) varied among the studies. Traffic complexity was one of the factors identified as frequently affecting efficiency. The study also highlighted the use of complementary techniques to DEA, such as bootstrapping and regression analyses. The limitations of the reviewed studies included issues related to data availability, scarcity, and heterogeneity. The main conclusion is that DEA is a valuable tool for analyzing ANSP performance. The article suggests future research to adapt these models to the context of Brazilian ANSPs, enabling comparative benchmarking.

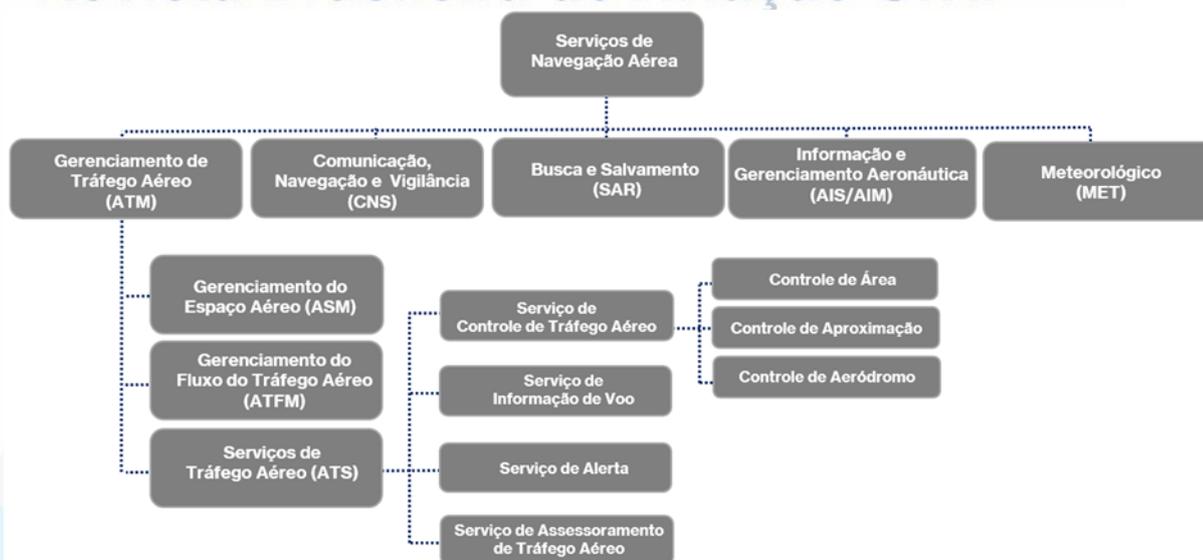
Keywords: *Data Envelopment Analysis; Efficiency; Air Navigation Service Providers; Air Traffic Management.*

1 INTRODUÇÃO

Os serviços de navegação aérea tiveram a sua origem em 1944, com a Convenção de Chicago. A partir dessa Convenção, em 1947, criou-se a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) e definiu-se que cada Estado-membro, dentre eles o Brasil, seria responsável pela prestação dos serviços de navegação aérea em seu território e no espaço aéreo de sua jurisdição (International Civil Aviation Organization, 2016). Portanto, os Estados tornaram-se soberanos para controlar o espaço aéreo sobre suas terras, águas e territórios (Neiva, 2015, p. 28).

Os serviços de navegação aérea incluem o gerenciamento de tráfego aéreo (ATM); os de comunicação, navegação e vigilância (CNS); o de busca e salvamento (SAR); o de informação aeronáutica e o de gerenciamento dessa informação (AIS/AIM); e o meteorológico (MET), conforme Figura 1.

Figura 1- Categorias de Serviços de Navegação Aérea



Fonte: os autores (2025).

Tais serviços são providos ao tráfego aéreo em todas as fases – aproximação, decolagem e em rota (International Civil Aviation Organization, 2013)

e são prestados pelos Provedores de Serviços de Navegação Aérea (PSNA). Uma característica básica do PSNA é que ele pode não ser realizado por uma única entidade. Qualquer entidade que forneça serviços ATM, conforme elencados na Figura 1, e/ou outros serviços de navegação aérea, é conhecida como provedor de serviço de navegação aérea (ICAO, 2013).

É por meio desses serviços que os países proporcionam a conexão entre dois elementos constitutivos do sistema de transporte aéreo — companhia aérea e aeroportos, tornando real o conceito ATM, que é o gerenciamento integrado e dinâmico do tráfego aéreo e do espaço aéreo (International Civil Aviation Organization, 2005).

Para garantir a sustentabilidade e a continuidade da prestação, esses serviços fornecidos precisam ser seguros, econômicos e eficientes (Santos *et al.*, 2017). Sob o escopo da eficiência, entidades que prestam os serviços de controle de tráfego aéreo são comparadas. As comparações entre diferentes provedores de serviços são uma ferramenta poderosa para fomentar melhorias e promover as melhores práticas (International Civil Aviation Organization, 2013).

O fenômeno eficiência motivou diversos estudiosos ao longo da história, porque está diretamente ligada à otimização de recursos, ao progresso e ao sucesso em diversas áreas do conhecimento (Cooper, Lovell, 2011; Liu, *et al.*, 2013). Um dos meios de mensurá-la é a Análise Envoltória de Dados (DEA), metodologia criada em 1978 (Charnes, Cooper, Rhodes, 1978), por meio da qual se mede a eficiência relativa de um conjunto de unidades homogêneas, em diversas áreas de aplicação (Ratner *et al.*, 2023).

Visto que a busca pela eficiência ocorre em diversas áreas, inclusive nas áreas relacionadas ao controle de tráfego aéreo, é mister compreender a eficiência no cenário dos PSNA em termos de sua mensuração por ser uma integrante essencial para manter a continuidade dos serviços prestados no sistema de controle de tráfego aéreo, contribuindo para o sistema de transporte aéreo.

Portanto, procura-se entender por meio de investigação da literatura como a DEA tem sido aplicada no escopo dos PSNA. De modo a compreender os estudos, buscou-se responder como a literatura tem discutido e analisado a

eficiência dos PSNA e quais foram os principais resultados encontrados.

Para responder a essa questão, realizou-se uma revisão sistemática da literatura baseada nos procedimentos metodológicos de Tranfield *et al.*, (2003), ao aplicar métodos explícitos e sistematizados de busca (Donato; Donato, 2019). O objetivo da revisão foi comparar os estudos de aplicação da DEA em PSNA por meio de resultados alcançados, dados de *inputs* e *outputs* e fatores que afetam a eficiência. O estudo contribui ao permitir a compilação da literatura relacionada à mensuração da eficiência por meio da DEA em PSNA, além de evidenciar que não há ainda estudo similar de aplicação dessa metodologia em PSNA brasileiros. Finalmente, sugere-se que tal metodologia é muito útil para melhorias nos níveis de qualidade de prestação dos serviços de controle de tráfego aéreo, além de ser possível aplicá-la no cenário dos PSNA brasileiros.

Este artigo é estruturado do seguinte modo: depois da introdução, apresenta-se pontos importantes relacionados à eficiência, metodologia de análise envoltória de dados e provedores de serviço de navegação aérea com a finalidade de ambientar o leitor ao contexto do estudo. Em seguida, é apresentado o método de seleção da literatura. Depois, é analisada e discutida a literatura selecionada que promove a conexão entre essa metodologia e os PSNA e, por fim, são apresentadas as considerações finais e sugestões para pesquisas futuras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EFICIÊNCIA

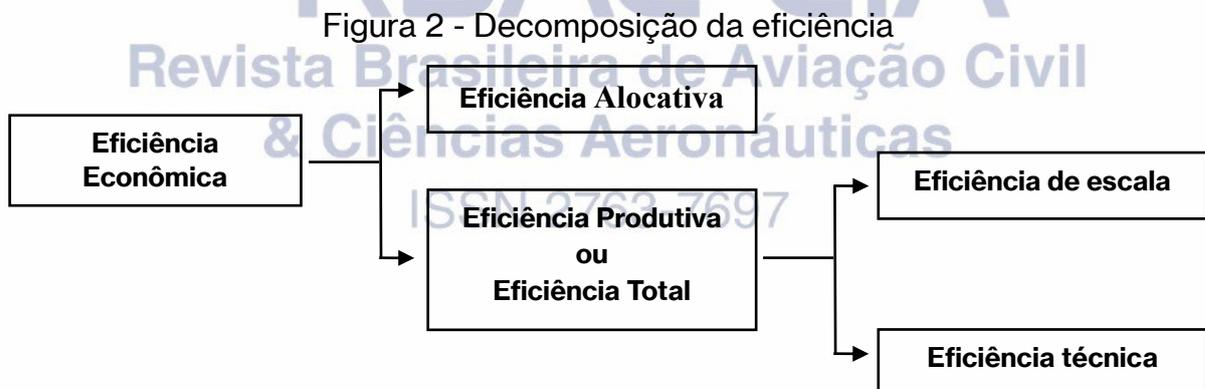
A eficiência surge no final do século XIX e início do século XX, por meio da Revolução Industrial, que introduz um novo modo de produzir com foco na racionalização do trabalho. Nesse período, há o surgimento das primeiras teorias da Administração, como a Teoria Científica de Frederick W. Taylor (1856-1915), a qual se fundamenta em estudos de tempos e movimentos para melhorar a eficiência do trabalhador (Matos; Pires, 2006).

“O conceito de eficiência está atrelado aos recursos que serão utilizados por uma organização para alcançar seus resultados” (Chiavenato, 2014, p. 161). A eficiência pode ser determinada pela capacidade de evitar desperdício de

recursos e tempo para produzir um resultado determinado. “Sob a ótica da Matemática, eficiência trata-se da mensuração da relação das saídas ou *outputs* pelas entradas ou *inputs*” (Barbosa; Fuchigami, 2018, p. 2). A eficiência de uma empresa está relacionada a seu grau de sucesso em gerar uma determinada quantidade de produtos a partir de um conjunto de insumos (Farrel, 1957).

Logo, a eficiência está intrinsecamente relacionada aos meios e métodos que são utilizados. O foco da eficiência será na relação entre *inputs-outputs*, ou seja, na otimização da aplicação de recursos em relação aos resultados alcançados, isto é, buscar produzir mais com menos recursos.

Em diversos sistemas produtivos, tais como o de transporte aéreo e de controle de tráfego aéreo, a eficiência, em uma visão ampla, é conceituada como eficiência econômica. Essa eficiência se refere à capacidade de produzir o máximo de resultados com o mínimo de recursos, energia e tempo (Sander, 1995), sendo visto sob o escopo comportamental da unidade de produção (Mariano, 2008). Tal eficiência pode ser decomposta em outros componentes, conforme Figura 2.



Fonte: os autores (2025).

Na prática, a eficiência econômica, a mais ampla de todas, faz uso de indicadores de custos, receitas e lucros, todos observados em relação a padrões ótimos (Azambuja, 2002). Com a sua decomposição, surgem a eficiência alocativa e produtiva.

Quanto à eficiência alocativa, ela demonstra a habilidade de uma organização em utilizar os recursos da melhor maneira do ponto de vista

econômico. Ou seja, ela se refere à capacidade de distribuir os recursos econômicos disponíveis de forma otimizada, garantindo seu melhor aproveitamento no processo produtivo (Mariano, 2008).

A eficiência produtiva (ou total) pode ser subdividida em: eficiência técnica e de escala. A eficiência técnica é uma porção da eficiência produtiva que demonstra o quanto dessa eficiência pode estar relacionada a fatores técnicos e de engenharia e refere-se à habilidade gerencial da administração (Banker; Charnes; Cooper, 1984). Já a eficiência de escala é a habilidade de uma organização operar ou não em uma escala ótima de produção, sendo obtida por meio da relação entre a eficiência produtiva e a eficiência técnica, conforme pode se inferir da equação a seguir (Mariano, 2008).

$$\text{Eficiência Produtiva} = \text{Eficiência Técnica} \times \text{Eficiência de Escala}$$

Portanto, uma organização somente conseguirá ter eficiência econômica se, ao mesmo tempo, produzir sem desperdícios (em suma ser produtivamente eficiente) e conseguir alocar seus recursos com o mínimo custo e/ou o máximo de lucro (em suma, ser alocativamente eficiente) (Mariano, 2008). A eficiência produtiva pode ser mensurada por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA).

2.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Com o objetivo de calcular a eficiência técnica, em 1978, Charnes *et al.* (1978) avaliaram o desempenho do “*Program Follow Through*” (programa educacional para estudantes carentes — principalmente negros ou de origem latino-americana — realizado em escolas públicas americanas com apoio do governo federal). Essa avaliação foi obtida por meio da comparação entre um grupo de alunos carentes de escolas públicas americanas que aderiram a um programa de ensino e outro que não aderiu a esse programa (Charnes; Cooper; Rhodes, 1978). Por meio dessa avaliação, foi possível mensurar a eficiência técnica relativa de escolas públicas americanas, com base em múltiplos insumos e produtos, resultando na técnica DEA, intitulada por Modelo CCR, abreviatura dos

sobrenomes de seus autores – Charnes, Cooper e Rhodes.

Já em 1984, foi criado por Banker, Charnes e Cooper o Modelo BCC da técnica de DEA, também nomeado pelas iniciais de seus autores. O Modelo BCC consegue dissociar a eficiência de escala da eficiência técnica (Banker; Charnes; Cooper, 1984). Diferente do Modelo CCR que estima a eficiência produtiva bruta da unidade em estudo. Portanto, o Modelo BCC surgiu a partir da decomposição do Modelo CCR nos componentes de eficiência técnica e de escala (Barbosa; Fuchigami, 2018).

A DEA é, portanto, uma técnica de mensuração da eficiência relativa entre as unidades escolhidas e/ou selecionadas, chamadas de Unidades de Tomada de Decisão (DMU). Essa eficiência é visualizada por meio da criação de uma fronteira de produção, chamada de fronteira de eficiência. Essa fronteira tem enfoque não paramétrico, uma vez que não recorre a parâmetros externos ao sistema e, desta forma, não se pode obter inferências que se apliquem à toda uma população, pois mede a eficiência comparativa entre as unidades escolhidas e/ou selecionadas.

Tal técnica tem se apresentado muito versátil e popularmente encontrada na literatura em diversas áreas do conhecimento (Ratner; Shaposhnikov; Lychev, 2023). Dentre elas, na mensuração da eficiência de componentes dos sistemas de controle de tráfego aéreo, conforme evidenciado nas pesquisas analisadas a seguir.

ISSN 2763-7697

2.3 PROVEDORES DE SERVIÇOS DE NAVEGAÇÃO AÉREA

A estrutura organizacional dos PSNA compete a cada país, bem como de sua organização do espaço aéreo e de sua política governamental (International Civil Aviation Organization, 2013). Em suma, os provedores existentes no cenário mundial podem ser configurados de três modos: autônomo, como uma entidade essencialmente independente; privado; e governamental, sendo este último o formato organizacional histórico (International Civil Aviation Organization, 2013). Dessa forma, não existe uma estrutura organizacional única que seja ideal para todos os PSNA. A escolha do modelo mais adequado de PSNA deve considerar diversos fatores específicos, tais como: estruturais, legais, econômicos,

financeiros, operacionais e técnicos (International Civil Aviation Organization, 2013).

Sob o escopo mundial, são encontradas as três configurações de organização de PSNA, sendo empregada a estrutura governamental no Brasil. Os PSNA brasileiros, a maioria deles atrelados à estrutura militar, prestam os serviços de navegação área, dentre eles, o gerenciamento de tráfego aéreo, onde estão incluídos os serviços de controle de tráfego aéreo.

Esses PSNA compõem, como elos, o Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), cujo órgão central é o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Por meio de um relacionamento sistêmico, esse órgão central, em conjunto com os elos PSNA, tem como um de seus objetivos garantir a máxima eficiência das operações aéreas (Brasil, 2024).

3 MÉTODO

No presente estudo, realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), um método rigoroso e transparente de síntese de pesquisas sobre um tema específico, com o objetivo de reduzir vieses e fortalecer a confiabilidade das conclusões obtidas (Tranfield, 2003). A escolha da RSL justifica-se por envolver um escopo estreito de estudo, sendo mais adequada para uma área específica de pesquisa ou nicho (Donthu *et al.*, 2021).

Por meio de uma abordagem quantitativa, buscou-se avaliar os estudos existentes sobre o emprego da DEA em PSNA. A síntese desses estudos é de natureza descritiva, uma vez que é um resumo textual das características e da informação relevante encontradas nas evidências científicas (De-La-Torre-Ugarte-Guanilo; Takahashi; Bertolozzi, 2011).

A pesquisa utiliza as diretrizes do protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses* (PRISMA), utilizado em diversas áreas como estrutura para a análise da literatura (Olayode *et al.*, 2023). Tal abordagem estruturada é empregada para minimizar vieses e aumentar a confiabilidade dos resultados. Com base na metodologia PRISMA, construiu-se um protocolo por

meio do qual é especificada a questão a ser investigada e os métodos utilizados para a revisão com objetivos claros (Donato; Donato, 2019). O planejamento do protocolo contemplou: (a) base de dados; (b) termos de pesquisa; (c) critérios de inclusão e exclusão.

A coleta de dados, acerca das evidências científicas existentes, foi realizada em dezembro de 2024, por meio de consulta a duas bases de dados, a saber, *Web of Science* (WoS) e Scopus. Essas bases foram escolhidas por serem multidisciplinares e por conterem artigos relevantes na comunidade acadêmica. A WoS indexa somente os periódicos mais citados em suas respectivas áreas, sendo um índice de citações, informando, para cada artigo, os documentos por ele citados e os documentos que o citaram. Além disso, possui hoje mais de 9.000 periódicos indexados (Web of Science, 2024). Já o Scopus é um banco de dados de resumos e citações que abrange mais de 28.300 títulos de mais de 7.000 editoras, incluindo periódicos revisados por pares, publicações comerciais, séries de livros e atas de conferências (Scopus, 2024).

A busca nas bases de dados mencionadas foi limitada ao período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2024. Embora a DEA tenha surgido em 1978, a busca preliminar indicou que a primeira evidência científica da aplicação dessa metodologia em PSNA ocorreu em 2013 (Button; Neiva, 2013).

Os termos indexadores, suas combinações e os conectores utilizados em ambas as bases de dados para a busca dos estudos foram: “*data envelopment analysis*” AND “*air navigation service providers*” OR “*air navigation services*”. Tais palavras-chaves foram escolhidas por se relacionarem diretamente com a questão-problema desta pesquisa, além de viabilizar uma estratégia sistemática e reprodutível referente à seleção das evidências científicas.

Com o objetivo de ampliar ao máximo as fontes de busca, em ambas as bases não foi realizada nenhuma exclusão face ao tipo de material a ser buscado nem ao idioma da publicação. Ademais, em relação à definição de preferência de localização desses indexadores no conteúdo da literatura, na WoS, foi realizada a busca em todos os campos e, na Scopus, os campos selecionados foram título, resumo e palavras-chaves.

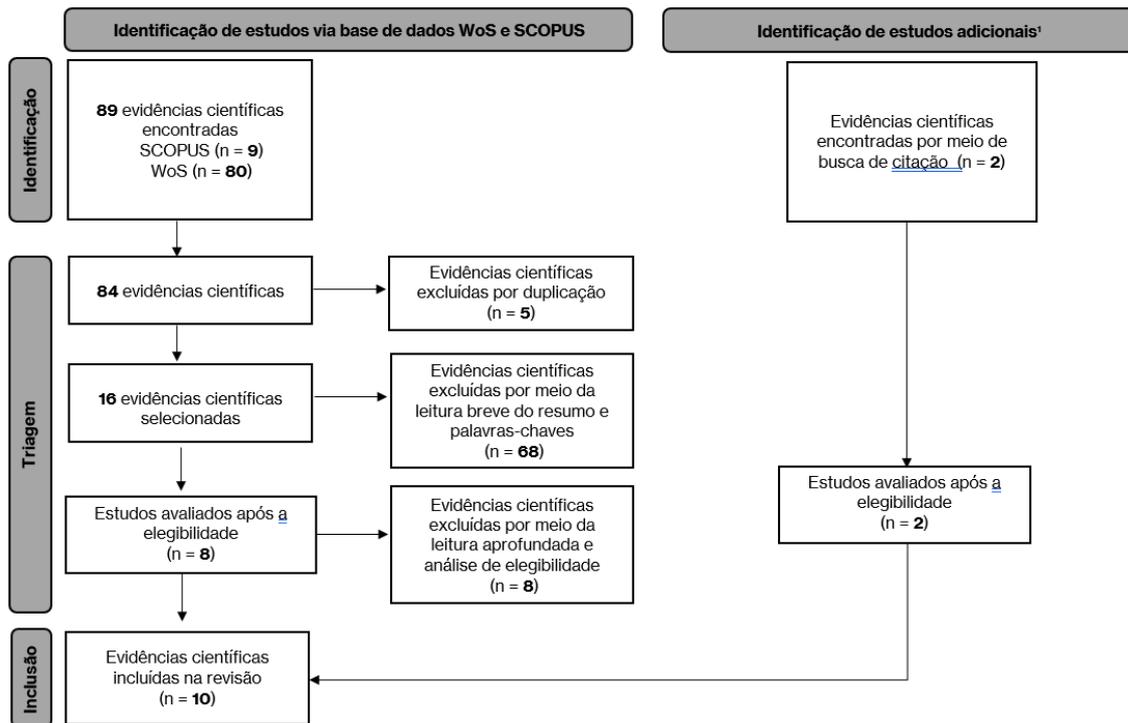
O resultado inicial da busca resultou em 89 evidências científicas, sendo 80 delas encontradas na base WoS e as demais na Scopus. Esses documentos foram analisados sob o escopo de duplicidade e dos critérios de inclusão e exclusão.

Inicialmente foram eliminadas as evidências científicas duplicadas em ambas as bases de dados consultadas, total de cinco duplicatas. Depois, como critério de exclusão, foram eliminados os documentos oriundos de entradas incorretas. Tais documentos foram excluídos, por meio da leitura breve do resumo e das palavras-chaves, ou por não serem pertinentes à DEA, ou se relacionavam à eficiência, porém não direcionavam para aplicação em PSNA. Aplicando esse critério, reduziu-se de 84 para 17 evidências científicas.

Com a leitura aprofundada da evidência científica e análise da elegibilidade a fim de avaliar a relevância para esta pesquisa, resultaram em oito evidências científicas encontradas como pertinentes para a revisão sistemática da literatura e, portanto, relacionadas ao escopo desta pesquisa. Por meio da análise de elegibilidade, foram eliminados estudos com abordagem superficial da eficiência em PSNA; direcionados para a avaliação do desempenho por meio de indicadores de performance; com a visão de modelo de negócios para os PSNA e, por fim, com foco na eficiência do ATCO e de setorização do PSNA. Com a leitura dessas oito pesquisas, foram descobertas duas evidências referenciadas no corpo do estudo, não detectadas no processo de identificação e de triagem prévios. Após a análise de elegibilidade dessas evidências, elas foram inseridas nesta revisão. Ao final, foram incluídas dez evidências para compor a revisão sistemática da literatura, conforme esquematizado na Figura 3.



Figura 3 - Fluxograma PRISMA



Fonte: Page MJ *et al.* (2021).

¹ Os estudos adicionais foram descobertos quando avaliadas as evidências já encontradas nas base de dados (fase final da triagem).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Essa revisão sistemática da literatura analisou estudos sobre o emprego da Análise Envoltória de Dados (DEA) em Provedores de Serviço de Navegação Aérea (PSNA) publicados entre 2013 e 2024. A partir da triagem inicial, foram selecionados dez artigos diretamente relacionados a esta pesquisa para análise detalhada com base em critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos.

Os principais achados desta revisão são analisados e discutidos a seguir e estão compilados nos quadros 1, 2 e 3 de síntese das evidências científicas. Nas evidências encontradas na literatura, o foco predominante da aplicação desta análise foi observado em PSNA europeus, devido à iniciativa europeia de superar a fragmentação do espaço aéreo por meio da busca por um Céu Único Europeu (SES) e mais eficiente (Cujic *et al.*, 2015), com a implementação de Blocos de

Espaço Aéreo Funcionais (FABs) (Button; Neiva, 2013) (Standfuss; Schultz, 2017). Esse foco também pode estar relacionado à disponibilidade e à padronização de dados, realizados pela EUROCONTROL com a *Performance Review Commission* (PRC) and *Unit* (PRU), que desempenha papel crucial no monitoramento e na revisão do desempenho do sistema de navegação aérea europeu, coletando dados anualmente e de modo padronizado (Button; Neiva, 2013; 2014) (Cujic *et al.*, 2015) (Bilotkach *et al.*, 2015) (Standfuss *et al.*, 2019) (Standfuss *et al.*, 2024). Vários artigos mencionam a utilização dessa fonte de dados.

Os estudos selecionados analisaram dados do período de 2002 a 2018. Alguns estudos mencionam que tais dados apresentam problemas (Button; Neiva, 2014) ou foram coletados ou calculados de maneiras distintas por alguns PSNA (Standfuss; Schultz, 2017), sendo que a partir de 2008, a qualidade dos dados foi aprimorada, basicamente devido a melhorias em relação ao processo de coleta, especialmente nos indicadores escolhidos (Standfuss; Schultz, 2017).

Já em relação ao modelo empregado na DEA, os estudos selecionados tenderam para o modelo de Retornos Variáveis de Escala (VRS) (Button; Neiva, 2013; 2014) ou utilizaram esse modelo em conjunto com o de Retornos Constantes de Escala (CRS) (Arnaldo *et al.*, 2014) (Bilotkach *et al.*, 2015) (Standfuss; Schultz 2017; 2018) (Standfuss *et al.*, 2019; 2024). Cabe salientar que alguns estudos não descreveram o modelo adotado (Grigorov; Mark, 2014) (Cujic *et al.*, 2015). A tendência pela aplicação do modelo VRS justifica-se por esse modelo possibilitar a distinção entre as eficiências técnica e de escala (Bilotkach *et al.*, 2015) (Standfuss; Schultz 2018). Além disso, o modelo VRS permite uma modelagem mais realista da fronteira de produção, ao considerar que as DMU operam em diferentes escalas de produção (Standfuss; Schultz, 2018) (Standfuss *et al.*, 2024). E os estudos que apresentam o emprego conjunto dos dois modelos (Arnaldo *et al.*, 2014) (Bilotkach *et al.*, 2015) (Standfuss; Schultz, 2017, 2018) (Standfuss *et al.*, 2019, 2024) — CRS e VRS — permitem a comparação de resultados de ambos os modelos, nos quais é possível identificar se a economia de escala é crescente ou decrescente (Standfuss; Schultz 2018).

Essa variação na economia de escala indica que a relação entre o tamanho

operacional de um PSNA e sua eficiência não é linear e pode mudar à medida que o tamanho aumenta. O tamanho operacional de um PSNA é uma característica multifacetada que engloba, por exemplo, volume de tráfego, dimensão do espaço aéreo, número de controladores de tráfego aéreo, horas de voo, complexidade de tráfego e infraestrutura operacional. Compreender o tamanho operacional dos PSNA é crucial para avaliar a eficiência.

Por exemplo, um PSNA está sujeito a economias de escala crescentes quando um aumento na quantidade de seus *inputs* (recursos utilizados) leva a um aumento proporcionalmente maior em seus *outputs* (serviços ou produtos gerados). Standfuss e Schultz (2017) mencionam que PSNA com um pequeno tamanho operacional poderiam alcançar melhorias de eficiência por meio da estrutura dos FABs, sugerindo operação sob retornos crescentes de escala. Por outro lado, esses autores relatam que o PSNA está sujeito a economias de escala decrescentes quando um aumento na quantidade de seus *inputs* leva a um aumento proporcionalmente menor em seus *outputs*, ou seja, à medida que o PSNA cresce, ele pode se tornar menos eficiente em termos relativos. Standfuss e Schultz (2017) sugerem que o modelo revela retornos decrescentes de escala para os PSNA maiores.

A orientação da análise está relacionada à perspectiva de avaliação da eficiência do PSNA e dependerá dos objetivos dessa análise. No contexto dos PSNA, uma análise orientada para *inputs* pode questionar qual a menor quantidade de recursos (por exemplo, custos operacionais e com pessoal) necessária para manter o nível atual de serviços de navegação aérea (por exemplo, voos controlados e horas de voo) (Standfuss *et al.*, 2019). Esses autores sugerem que como a saída dos PSNA pode ser vista como determinada pela demanda das companhias aéreas, uma DEA orientada para *inputs* pode ser mais apropriada. Para PSNA, uma orientação a *outputs* também poderia ser aplicada, por exemplo, para investigar qual o aumento máximo dos serviços de navegação aérea (*outputs*) que poderia ser alcançado com os recursos empregados (*inputs*). Uma aplicação de ambas as orientações pode ser utilizada para verificar a robustez do resultado, como os realizados por Bilotkach *et al.*, (2015), Standfuss e Schultz (2017; 2018) e

Standfuss *et al.*, (2019; 2024).

Tal emprego conjunto de orientações corresponde a 50% do total de trabalhos analisados. Portanto, é importante que a escolha da orientação esteja justificada e considere as características das DMU, bem como os objetivos da análise.

A DEA permite o emprego de técnicas complementares para corrigir limitações estatísticas ou permitir *insights* aprofundados (Standfuss; Schultz, 2018). Uma dessas técnicas é chamada de *bootstrapping*, que permite realizar inferências estatísticas sobre os resultados da DEA, como a correção do viés nas pontuações de eficiência e a obtenção de intervalos de confiança. Tal técnica foi observada nos estudos de Button e Neiva (2013; 2014), Bilotkach *et al.*, (2015) e Standfuss *et al.*, (2024).

Outras técnicas adicionais foram observadas, tais como: análises de regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) (Button; Neiva, 2013; 2014) (Grigorov; Mark, 2014) e pelo Modelo Tobit (Standfuss *et al.*, 2019). De modo geral, as análises de regressão permitem entender “como” as variáveis independentes, ou seja, aquelas que podem impactar a eficiência, se relacionam com as variáveis dependentes, que são a medida da eficiência dos PSNA, obtida por meio da DEA e que variam de 0 a 1. Enquanto a análise por OLS não considera os limites de valores da variável dependente, o Modelo Tobit respeita esse limite ao manter os resultados dentro dele. Constatou-se também, como técnica complementar, coeficientes de correlação para identificar as variáveis que seriam consideradas (Arnaldo *et al.*, 2014), e, com isso, evitar a escolha de variáveis que refletissem o mesmo efeito. Pode-se dizer que o emprego de coeficiente de correlação é uma etapa preparatória para a aplicação da DEA, enquanto as análises de regressão são realizadas a partir dos resultados encontrados na DEA, mas não são etapas compulsórias por não estarem presentes em todas as fontes encontradas (CUJIC *et al.*, 2015) (Bilotkach *et al.*, 2015) (Standfuss; Schultz, 2017; 2018) (Standfuss *et al.*, 2024).

A técnica de medidas baseadas em *slacks* (folgas) (CUJIC *et al.*, 2015) (Standfuss *et al.*, 2024) e de emprego da Super-eficiência DEA (Standfuss *et al.*,

2024) também foram observadas. A primeira é abordada nos estudos como uma forma de refinar a análise de eficiência na DEA, especialmente quando se considera a presença de *outputs* indesejáveis. Em termos numéricos, um PSNA analisado será considerado eficiente somente se todos os valores de *slack* forem iguais a zero, indicando que não há necessidade de melhoria em *inputs* ou *outputs* (CUJIC *et al.*, 2015). Essa metodologia se revela especialmente relevante na análise de *outputs* indesejáveis, pois possibilita a quantificação da redução necessária desses *outputs* para a otimização da eficiência. Contudo, a aplicação prática da Análise Envoltória de Dados (DEA) baseada em *slacks* em um dos estudos resultou em valores instáveis, suscitando questionamentos quanto à sua adequação a determinados contextos de avaliação de PSNA (Standfuss *et al.*, 2024), visto que os provedores têm pouca influência sobre o *output*.

Já o emprego da Super-eficiência DEA, diferentemente dos resultados da DEA padrão, permite resultados de eficiência acima de 100%. É utilizado com dois propósitos: ranquear unidades eficientes, permitindo distinguir e ordenar as unidades que foram consideradas igualmente eficientes na análise DEA padrão; e identificar *outliers* (valores atípicos) e anomalias, existentes em PSNA que consistentemente apresentam pontuações de super-eficiência significativamente mais altas do que as demais.

A variabilidade das variáveis empregadas como *inputs* e *outputs* nos estudos sobre a eficiência dos PSNA europeus refletem a complexidade da produção de serviços de gestão de tráfego aéreo. A seleção dessas variáveis é crucial para a validade e interpretação das análises de eficiência realizadas.

As variáveis de *outputs* buscam quantificar os serviços ou resultados gerados pelos PSNA. As mais frequentemente utilizadas incluem medidas de total de horas de voo controladas e o número de movimentos de aeronaves IFR (*Instrument Flight Rules*) controlado nos aeroportos. Essas variáveis representam os principais serviços operacionais fornecidos pelos PSNA, abrangendo tanto o controle em rota quanto o controle terminal. Alguns estudos também empregam uma variável composta, *composite flight hours* (CFH), que agrega horas de voo e movimentos aeroportuários utilizando um fator de ponderação baseado nos

custos médios (Standfuss *et al.*, 2024). A escolha entre *outputs* individuais (horas de voo e movimentos) ou uma medida composta (CFH) é um ponto de discussão, com alguns autores argumentando que o uso de CFH pode introduzir vieses (Bilotkach *et al.*, 2015).

Em relação aos *inputs*, o pessoal é um *input* fundamental, frequentemente representado pelo número de controladores de tráfego aéreo (ATCOs) ou pelas horas trabalhadas pelos ATCOs. É importante notar que alguns estudos também consideram o pessoal não-ATCO como um *input* (Bilotkach *et al.*, 2015) (Standfuss; Schultz, 2017). A seleção de *inputs* busca capturar os principais fatores que impulsionam a produção de serviços de navegação aérea, equilibrando a inclusão de todos os recursos relevantes com a limitação do número de variáveis para manter a robustez do modelo DEA.

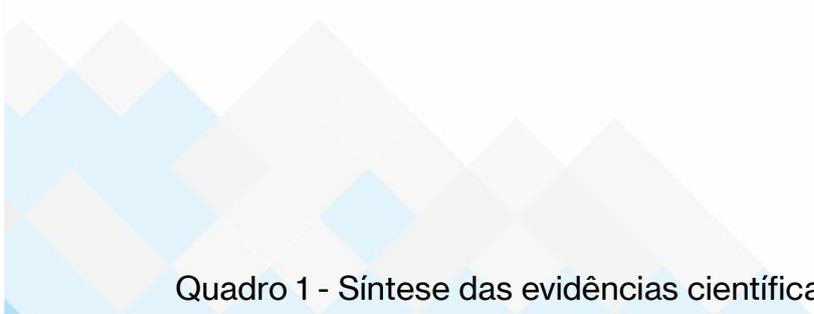
Standfuss *et al.* (2017; 2019) relatam que a DEA tende a identificar um número elevado de unidades eficientes quando há um número limitado de entidades (PSNA) combinado com um elevado número de *inputs* e *outputs*. Logo, esses estudos apontam para a importância de limitar o número de variáveis (*inputs* e *outputs*) nos modelos DEA aplicados à avaliação da eficiência dos PSNA europeus, a fim de evitar um número excessivo de unidades consideradas eficientes. Tal preocupação com o número de variáveis vai ao encontro da regra de ouro empírica e estatística existente na DEA. Essa regra relaciona o número de unidades de tomada de decisão (DMUs) com o número de *inputs* e *outputs*. A regra sugere que, se o número de *inputs* e *outputs* for alto em comparação ao número de DMUs, uma grande porcentagem das unidades será determinada como eficiente. Em termos numéricos, sugere-se que o número de DMUs deve ser pelo menos tão grande quanto o maior valor entre o triplo da soma do número de *inputs* e *outputs*, e o produto do número de *inputs* e *outputs* (Cooper; Seiford; Tone, 2007, p. 284) (Toloo; Tichy, 2015).

Ademais, os fatores que afetam a eficiência dos PSNA europeus abrangem uma variedade de aspectos operacionais e de custos, assim como de recursos humanos e organizacionais, sendo que a complexidade de tráfego é o fator mais mencionado nos estudos analisados. Ter conhecimento dos fatores permite

compreender as causas de ineficiência e possibilita a implementação de melhorias no gerenciamento de tráfego aéreo.

Apesar das contribuições significativas desta revisão, algumas limitações devem ser destacadas. A maioria dos estudos revisados apresentou limitações inerentes à natureza dos dados, que incluem disponibilidade e falta de uniformidade na coleta (Standfuss; Schultz, 2018) (Standfuss *et al.*, 2024) e até escassez de dados (Grigorov; Mark, 2014), e, por último, a utilização de dados financeiros foi particularmente questionada devido às heterogeneidades nos níveis de preços e salários entre os países europeus (Standfuss *et al.*, 2024).

Diante do exposto, a revisão sistemática aponta que a metodologia DEA oferece *insights* valiosos sobre o desempenho do sistema ATM, à nível de PSNA. Desafios ainda persistem ao se deparar com a heterogeneidade entre os PSNA, a implementação efetiva dos FABs e os dados utilizados. As particularidades operacionais, regulatórias e de disponibilidade de dados podem variar significativamente entre a Europa e outros países. Pesquisas futuras poderiam concentrar-se na adaptação dos modelos DEA utilizados nos estudos europeus, incluindo a seleção de *inputs* e *outputs* relevantes e a consideração de fatores contextuais específicos do sistema de navegação aérea brasileiro. Ao aplicar a metodologia DEA a PSNA brasileiros, seria possível realizar *benchmarking* comparativo com os resultados obtidos para os PSNA europeus e de outras regiões.



Quadro 1 - Síntese das evidências científicas: Escopo geral

N	Autor(es)	Período dos dados	Modelo de DEA	Uso de técnica adicional	Orientação	Foco do estudo
1	Button e Neiva (2013)	2002-2010	VRS	<i>Bootstrapping</i> e Regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (OLS)	<i>inputs</i>	Eficiência relativa dos FABs
2	Button e Neiva (2014)	2002-2009	VRS	<i>Bootstrapping</i> e Regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (OLS)	<i>inputs</i>	Eficiência relativa dos PSNA europeus
3	Grigorov e Mark (2014)	2003	n.a.	Regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (OLS)	<i>outputs</i>	Construção de Modelo de Produtividade do Serviço ATC (MASP) para mensuração da sustentabilidade de uma organização com foco na eficiência e eficácia
4	Arnaldo <i>et al.</i> (2014)	2001-2011	CRS/VRS	Análise de correlação	<i>inputs e outputs</i>	Eficiência relativa e a produtividade dos PSNA europeus
5	Cujic <i>et al.</i> (2015)	2009-2011	n.a.	Medidas Baseadas em <i>Slacks</i> (SBM)	<i>inputs e outputs</i>	Eficiência relativa dos PSNA europeus
6	Bilotkach <i>et al.</i> (2015)	2002-2011	CRS/VRS	<i>Bootstrapping</i> e Índice Malmquist	<i>outputs</i>	Eficiência relativa dos PSNA europeus
7	Standfuss e Schultz (2017)	2014	CRS/VRS	n.a.	<i>inputs</i>	Investigação de ganhos de eficiência por meio da implementação da estrutura dos FABs em PSNAs europeus
8	Standfuss e Schultz (2018)	2003-2016	CRS/VRS	Índice Malmquist	<i>inputs</i>	Avaliação do desempenho dos PSNAs europeus através de <i>benchmarking</i>
9	Standfuss <i>et al.</i> (2019)	2014 e 2016	CRS/VRS	Análise de regressão (incluindo o Modelo Tobit)	<i>inputs</i>	Análise da relação entre a fragmentação e a eficiência dos PSNA europeus
10	Standfuss <i>et al.</i> (2024)	2008-2018	CRS/VRS	<i>Bootstrapping</i> , DEA Super Eficiência e Medidas Baseadas em <i>Slacks</i> (SBM)	<i>inputs</i>	Investigação da influência da fragmentação do espaço aéreo na eficiência do ATM europeu

Fonte: os autores (2025).

Quadro 2 - Síntese das evidências científicas: Relação de *inputs* e *outputs*

N	Autor(es)	Inputs										Outputs										
		Custos de provisão de gestão de tráfego aéreo/comunicações, navegação e vigilância (ATM/CNS) gate-to-gate	Outros custos gate-to-gate de serviços não relacionados ao controle (custos meteorológicos aeronáuticos, custos da EUROCONTROL, pagamentos por serviços regulatórios e de supervisão e pagamentos a autoridades governamentais)	Razão de voos diários/tempo de trânsito	Nº de ACC	Custos operacionais exceto custos com ATCO	Custos com ATCO	Unidade de Infraestrutura Composta (CIU)	Custos operacionais diretos	Horas de serviço dos ATCO	Nº ATCOs	Pessoal e horas de trabalho (exceto ATCOs)	Horas de voo controladas por regras de voo por instrumentos (IFR) pelo ANSP	Movimentos aeroportuários IFR controlados pelo ANSP	1/[Minutos de atrasos na gestão de fluxo de tráfego aéreo (ATFM) superiores a 15 minutos	Razão de horas de voo/tempo de trânsito	Horas de voo controladas	Nº ATCOs em OPS	Horas de serviço dos ATCOs	Número de setores	Número de horas de voo composto controladas (CFH)	Horas/setor e soma das horas- setor
1	Button e Neiva (2013)	X	X								X	X	X									
2	Button e Neiva (2014)	X	X								X	X	X									
3	Grigorov e Mark (2014)			X											X							
4	Arnaldo <i>et al.</i> (2014)	X	X			X	X			X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
5	Cujic <i>et al.</i> (2015)	X	X			X	X						X							X		X
6	Bilotkach <i>et al.</i> (2015)	X				X	X				X	X										
7	Standfuss e Schultz (2017)					X	X	X		X	X	X										X
8	Standfuss e Schultz (2018)					X	X	X	X	X	X	X										X
9	Standfuss <i>et al.</i> (2019)					X	X	X		X	X	X										X
10	Standfuss <i>et al.</i> (2024)							X	X	X	X	X										X

Fonte: os autores (2025).

& Ciências Aeronáuticas

ISSN 2763-7697



Quadro 3 - Síntese das evidências científicas: Fatores que afetam a eficiência

N	Autor(es)	Fatores que afetam a eficiência															
		Fragmentação do espaço aéreo	Estrutura institucional dos PSNAs	Complexidade do tráfego (densidade do tráfego e complexidade estruturada)	No de setores	Estrutura e Cultura Organizacionais	Tecnologia e Equipamentos	Habilidades especializadas/treinamentos	Condições meteorológicas	Tamanho e o volume do espaço aéreo	Atrasos de tráfego	Variabilidade temporal do tráfego aéreo	Crises econômicas/políticas	Heterogeneidade dos serviços prestados	Incertezas na previsão do tráfego	Esforços de coordenação	Flexibilidade do espaço aéreo
1	Button e Neiva (2013)	X	X	X	X												
2	Button e Neiva (2014)		X	X	X												
3	Grigorov e Mark (2014)			X		X	X	X									
4	Arnaldo <i>et al.</i> (2014)			X									X				
5	Cujic <i>et al.</i> (2015)	X								X	X						
6	Bilotkach <i>et al.</i> (2015)	X	X														
7	Standfuss e Schultz (2017)	X				X										X	X
8	Standfuss e Schultz (2018)			X					X		X	X	X	X			
9	Standfuss <i>et al.</i> (2019)	X		X		X	X		X								
10	Standfuss <i>et al.</i> (2024)	X		X										X			

Fonte: os autores (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, esta revisão sistemática da literatura investigou a aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) na avaliação da eficiência dos Provedores de Serviço de Navegação Aérea (PSNA) no período de 2013 a 2024. A análise revelou um predomínio de estudos focados em PSNA europeus, impulsionado pela iniciativa do Céu Único Europeu (SES) e pela disponibilidade de dados padronizados da EUROCONTROL. Os estudos analisados empregaram principalmente os modelos DEA com Retornos Variáveis de Escala (VRS) e, frequentemente, com Retornos Constantes de Escala (CRS), visando distinguir

entre eficiências técnica e de escala e modelar a fronteira de produção de forma mais realista.

A seleção de *inputs* e *outputs* variou entre os estudos, refletindo a complexidade da produção de serviços de gestão de tráfego aéreo. As variáveis de *output* mais comuns incluíram horas de voo controladas e movimentos IFR, enquanto o número de controladores de tráfego aéreo foi um *input* fundamental em muitas análises. A revisão também identificou a complexidade do tráfego como um dos fatores mais relevantes a afetar a eficiência dos PSNA.

A metodologia DEA foi frequentemente complementada por técnicas adicionais como *bootstrapping* para inferências estatísticas; análises de regressão (OLS e Modelo Tobit) para entender os impactos de variáveis externas; coeficientes de correlação para seleção de variáveis e, por fim, medidas baseadas em *slacks* e Super-eficiência DEA para refinar a análise e identificar *outliers*.

Apesar das valiosas contribuições, a revisão apontou limitações importantes relacionadas à disponibilidade, uniformidade, escassez e heterogeneidade dos dados, especialmente em relação a dados financeiros.

Em conclusão, a metodologia DEA demonstra ser uma ferramenta valiosa para gerar *insights* sobre o desempenho do sistema ATM no nível dos PSNA. No entanto, é crucial considerar a heterogeneidade entre os PSNA, os desafios na implementação de blocos de espaço aéreo funcionais (FABs) e as limitações dos dados disponíveis.

Pesquisas futuras poderiam se concentrar na adaptação dos modelos DEA utilizados em estudos europeus para o contexto específico do sistema de navegação aérea brasileiro, incluindo a seleção de *inputs* e *outputs* relevantes e a consideração de fatores contextuais singulares. A aplicação da DEA em PSNA brasileiros permitiria realizar *benchmarking* comparativo com os resultados obtidos para PSNA europeus e de outras regiões, oferecendo subsídios para melhorias na eficiência e qualidade dos serviços de controle de tráfego aéreo no Brasil.

REFERÊNCIAS

- AZAMBUJA, A. M. V. **Análise de eficiência na gestão do transporte urbano por ônibus em municípios brasileiros**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2002.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, set. 1984.
- BARBOSA, F. C.; FUCHIGAMI, H. Y. **Análise envoltória de dados: teoria e aplicações práticas**. 1. ed. Itumbiara: ULBRA, 2018.
- BILOTKACH, V.; GITTO, S.; JOVANOVIĆ, R.; MUELLER, J.; PELS, E. Cost-efficiency benchmarking of European air navigation service providers. **Transportation Research Part A**, v. 77, p. 50-60, 2015. DOI:10.1016/j.tra.2015.04.007
- BUTTON, K.; NEIVA, R. Single European Sky and the Functional Airspace Blocks: Will they improve economic efficiency? **Journal of Air Transport Management**, v. 33, p. 73-80, 2013. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2013.06.012.
- BUTTON, K.; NEIVA, R. Economic Efficiency of European Air Traffic Control Systems. **Journal of Transport Economics and Policy**, v. 48, n. 1, p. 65-80, jan. 2014.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.
- CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; TONE, Kaoru. **Data Envelopment Analysis: a comprehensive text with models, applications, references and dea-solver software**. 2. ed. Nova York: Springer, 2007. 490 p.
- COOPER, W. W.; LOVELL, C. A. K. History lessons. **Journal of Productivity Analysis**, v. 36, p. 193-200, 2011. DOI: 10.1007/s11123-011-0224-4.
- ĆUJIĆ, M.; JOVANOVIĆ, M.; SAVIĆ, G.; LEVI JAKŠIĆ, M. Measuring the efficiency of air navigation services system by using DEA method. **International Journal for Traffic and Transport Engineering (IJTTE)**, v. 5, n. 1, 2015. DOI: 10.7708/ijtte.2015.5(1).05.

DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, M. C.; TAKAHASHI, R. F.; BERTOLOZZI, M. R. Revisão sistemática: noções gerais/Systematic Review: General Notions. **Rev. Esc. Enferm. USP**, v. 45, n. 5, p. 1260-1266, 2011.

DONATO, H.; DONATO, M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática/Stages for Undertaking a Systematic Review. **Acta Médica Portuguesa**, v. 32, n. 3, p. 227-235, mar. 2019. DOI: 10.20344/amp.11923.

DONTHU, N.; KUMAR, S.; MUKHERJEE, D.; PANDEY, N.; LIM, W. M. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285-296, 2021. DOI: 10.1016/j.jbusres.2021.04.070.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**. Series A (General), v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

GRIGOROV, Vladimir; MARK, Paula Rachel. Measuring the Sustainability of Air Navigation Services. In: EMROUZNEJAD, Ali; CABANDA, Emilyn (ed.). **Managing Service Productivity: using frontier efficiency methodologies and multicriteria decision making for improving service performance**. New York: Springer, 2014. p. 1-394. (ISSN 0884-8289)

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Global Air Navigation Plan (GANP) 2016–2030**. 5. ed. Montreal: ICAO, 2016. (Doc 9750-AN/963).

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Global Air Traffic Management Operational Concept**. 1. ed. Montreal: ICAO, 2005. (Doc 9854 AN/458).

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Manual on Air Navigation Services Economics**. 5. ed. Montreal: ICAO, 2013. (Doc 9161).

LIU, J. S.; LU, L. Y. Y.; LU, W. M.; LIN, B. J. Y. Data envelopment analysis 1978–2010: A citation-based literature survey. **Omega**, v. 41, p. 3-15, 2013. DOI: 10.1016/j.omega.2010.12.006.

MARIANO, E. B. **Sistematização e comparação de técnicas, modelos e perspectivas não-paramétricas de análise de eficiência produtiva**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2008.

MATOS, E.; PIRES, D. Teorias administrativas e organização do trabalho: de Taylor aos dias atuais, influências no setor saúde e na enfermagem. **Texto Contexto Enferm.**, Florianópolis, v. 15, n. 3, p. 508-514, jul.-set. 2006.

NEIVA, Rui. Air navigation services. In: NEIVA, Rui. **Institutional Reform of Air Navigation Service Providers**: a historical and economic perspective. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2015. Cap. 3. p. 1-171. DOI 10.4337/9781784712082.

OLAYODE, I. O. *et al.* Systematic review on the evaluation of the effects of ride-hailing services on public road transportation. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, v. 22, p. 100943, 2023. DOI:10.1016/j.trip.2023.100943.

PAGE M.J.; MCKENZIE, J.E.; BOSSUYT, P.M.; BOUTRON, I; HOFFMANN, T.C.; MULROW, C.D.; *et al.* **The PRISMA 2020 statement**: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71. Disponível em: <https://www.prisma-statement.org/prisma-2020-flow-diagram>.

RATNER, S. V.; SHAPOSHNIKOV, A. M.; LYCHEV, A. V. Network DEA and its applications (2017–2022): A systematic literature review. **Mathematics**, v. 11, n. 9, 2141, 2023. DOI: 10.3390/math11092141.

SANDER, B. **Gestão da educação na América Latina**: construção e reconstrução do conhecimento. Campinas, SP: Autores Associados, 1995.

SANTOS, P. L. C. T.; MONTEIRO, P. A. A.; STUDIC, M.; MAJUMDAR, A. A methodology used for the development of an Air Traffic Management functional system architecture. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 165, p. 445-457, 2017. DOI: 10.1016/j.ress.2017.05.022.

STANDFUSS, Thomas; SCHULTZ, Michael; FICHERT, Frank. Efficiency gains through Functional Airspace Blocks?: an analysis of economies of scale in european air traffic management. In: ITEA ANNUAL CONFERENCE AND SCHOOL ON TRANSPORTATION ECONOMICS, 1., 2017, Barcelona. **Paper**. [S.L.]: Itea Barcelona, 2017. p. 1-9. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320797652_Efficiency_gains_through_Functional_Airspace_Blocks_An_analysis_of_Economies_of_Scale_in_European_Air_Traffic_Management. Acesso em: 10 dez. 2024.

STANDFUSS, T.; FICHERT, F.; SCHULTZ, M.; STRATIS, P. Efficiency losses through fragmentation? Scale effects in European ANS provision. **Competition and Regulation in Network Industries**, v. 20, n. 4, p. 275-289, 2019. DOI: 10.1177/1783591719848859.

STANDFUSS, T.; HIRTE, G.; SCHULTZ, M.; FRICKE, H. Efficiency assessment in European air traffic management – A fundamental analysis of data, models, and methods. **Journal of Air Transport Management**, v. 115, p. 102523, 2024. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2023.102523.

STANDFUSS, T.; SCHULTZ, M. Performance Assessment of European Air Navigation Service Providers. *In: IEEE/AIAA DIGITAL AVIONICS SYSTEMS CONFERENCE (DASC), Anais...*, 37., 2018, London: IEEE, 2018. p. 1-10. DOI: 10.1109/DASC.2018.8569839.

TOLOO, Mehdi; TICHÝ, Tomáš. Two alternative approaches for selecting performance measures in data envelopment analysis. **Measurement**, [S.L.], v. 65, p. 29-40, abr. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2014.12.043>.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207-222, 2003.

