

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS MULTICRITÉRIO NA ENGENHARIA AERONÁUTICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Thales Gabriel Lopes da Cruz

Faculdade de Engenharia de São João da Boa Vista
Av. Profª Isette Corrêa Fontão, 505 - Jardim das Flores - São João da Boa Vista/SP
CEP 13876-750
thales.cruz@unesp.br

Denilson Paulo Souza dos Santos

Faculdade de Engenharia de São João da Boa Vista
Av. Profª Isette Corrêa Fontão, 505 - Jardim das Flores - São João da Boa Vista/SP
CEP 13876-750
denilson.santos@unesp.br

Lucas Daniel Del Rosso Calache

Faculdade de Engenharia de São João da Boa Vista
Av. Profª Isette Corrêa Fontão, 505 - Jardim das Flores - São João da Boa Vista/SP
CEP 13876-750
lucas.calache@unesp.br

RESUMO

Na indústria aeronáutica, o processo de tomada de decisão é essencial para garantir a eficiência e a segurança das operações. Devido à complexidade desse setor, é crucial adotar abordagens estruturadas que avaliem alternativas e selecionem soluções considerando múltiplos critérios e objetivos simultaneamente. Nesse sentido, as técnicas multicritério de apoio à decisão destacam-se como ferramentas valiosas. No entanto, não foram encontrados estudos que apresentem o estado da arte sobre o tema. Portanto, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura para explorar a aplicação dessas técnicas nos processos de tomada de decisão na engenharia aeronáutica. Espera-se que a revisão forneça uma visão detalhada e atualizada sobre o uso de métodos multicritério neste campo, contribuindo para a melhoria contínua das práticas de tomada de decisão na indústria aeronáutica e para a identificação de oportunidades de estudos futuros na área.

PALAVRAS-CHAVE. Tomada de decisão. Técnicas multicritério. Engenharia aeronáutica, Indústria aeronáutica. Revisão Sistemática.

Tópicos: Suporte a Decisão Multicritério.

ABSTRACT

In the aircraft industry, the decision-making process is essential to ensure the efficiency and safety of operations. Due to the complexity of this sector, it is crucial to apply structured approaches that assess alternatives and select solutions considering multiple criteria and objectives simultaneously. In this context, multi-criteria decision support techniques stand out as valuable tools. However, no studies have been found that present the state of the art on the subject. Therefore, this study aims to carry out a systematic literature review to explore the application of these techniques in decision-making processes in aeronautical engineering. It is expected that the review will provide a detailed and up-to-date overview of the use of multi-criteria methods in this field, contributing to the continuous improvement of decision-making practices in the aeronautical industry and to the identification of opportunities for future studies in the area.

KEY WORDS. Decision-making. Multi-criteria techniques. Aeronautical engineering, Aircraft industry. systematic review.

Topics: Multicriteria Decision Suporte.

1. Introdução

Avanços tecnológicos, como a Internet das Coisas (IoT) e o uso de inteligências artificiais, estão transformando as indústrias e a academia. Simultaneamente, incertezas globais, como conflitos e impasses socioeconômicos, ressaltam desafios significativos, incluindo a transformação digital, a sustentabilidade e a responsabilidade social. Diante desse cenário complexo, é crucial adotar técnicas sistemáticas para lidar com a vasta quantidade de informações e incertezas, visando tomar decisões conscientes e estratégicas [de Paula Vidal et al. 2022].

O processo de tomada de decisão é uma atividade comum, na qual técnicas podem ser utilizadas para subsidiar problemas de seleção, avaliação, ordenação e categorização das alternativas disponíveis [Zhang et al. 2016]. Dentro desse contexto, a indústria aeronáutica é um dos setores mais complexos e dinâmicos da engenharia, onde a tomada de decisões desempenha um papel crucial na determinação do sucesso e da segurança das operações aéreas [Kaempf e Klein 2017]. Desde o projeto de aeronaves até a gestão de operações de companhias aéreas e aeroportos, as decisões tomadas nesta área são desafiadoras devido ao grande número de variáveis e parâmetros inter-relacionados que devem ser considerados [Seamster e Redding 2017]. Para enfrentar esses desafios, diversas técnicas multicritério vem sendo aplicadas para subsidiar os processos de tomada de decisões [Ardil 2023; Dožić 2019]. Ao combinar abordagens quantitativas, análise de dados e julgamento humano, essas técnicas oferecem uma estrutura estratégica para lidar com questões complexas e alcançar decisões embasadas.

A literatura sobre técnicas multicritério aplicadas na engenharia aeronáutica é relativamente recente, e muitos estudos nesse campo propõem uma variedade de abordagens, incluindo o desenvolvimento de modelos de apoio à tomada de decisão específicos para resolver problemas complexos, como a combinação de diferentes técnicas multicritério para a seleção de aeronaves [Sanchez-Lozano et al. 2015]. No entanto, é notável a escassez de artigos que abordem a aplicação dessas técnicas de forma abrangente na engenharia aeronáutica brasileira, apesar da maturidade da indústria aeronáutica no país. Além disso, não foram identificados estudos que ofereçam uma visão detalhada do estado da arte sobre o tema. Diante dessa lacuna, torna-se evidente a necessidade de um artigo que conduza uma revisão sistemática e atualizada, fornecendo insights valiosos para pesquisadores e profissionais do setor.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo apresentar o estado da arte sobre a aplicação de técnicas multicritério para problemas da engenharia aeronáutica. Após a introdução, este artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta uma síntese sobre os métodos multicritério. A metodologia aplicada na revisão sistemática é detalhada na Seção 3. Os resultados obtidos nesse levantamento são apresentados e discutidos na Seção 4. Por fim, a Seção 5 traz a conclusão do estudo e as oportunidades de estudos futuros.

2. Síntese da bibliografia fundamental

Em inúmeras situações da vida cotidiana, surge a necessidade de avaliar um conjunto de alternativas com base em múltiplos critérios. Os métodos de decisão que levam em consideração o uso de mais de um critério para avaliar uma ou mais alternativas são classificados como métodos de decisão multicritério, frequentemente abreviados como MCDM (*Multicriteria Decision Making*) [Almeida 2013]. Esses métodos constituem um conjunto significativo de ferramentas que se revelam essenciais para abordar decisões complexas em organizações, uma vez que oferecem suporte valioso a gestores diante de cenários caracterizados pela incerteza, complexidade e objetivos frequentemente conflitantes [Lima Junior e Carpinetti 2015]. Além disso, tais métodos desempenham um papel fundamental na promoção da eficiência no processo decisório, uma vez que proporcionam justificativas sólidas para as escolhas realizadas e permitem a automatização e agilização do processamento de dados, aprimorando, assim, a capacidade de tomada de decisão [De Boer et al. 1998].

Existem várias classificações para os métodos de Tomada de Decisão Multicritério (MCDM). Em princípio, essas técnicas podem ser classificadas em duas abordagens distintas: a escola europeia e a escola norte-americana [Vincke 1992]. Na abordagem da escola europeia, os

métodos se baseiam na noção de dominância, buscando identificar um conjunto de alternativas que apresenta desempenho superior ou, no mínimo, equivalente em relação a todas as alternativas, considerando todos os critérios. Por outro lado, na abordagem norte-americana, os métodos MCDM se apoiam na utilização de funções de utilidade, que expressam o nível de satisfação do tomador de decisão em relação a cada alternativa considerada.

Uma outra forma de classificação para os métodos de Tomada de Decisão Multicritério (MCDM) segmenta-os em duas categorias distintas: métodos de múltiplos atributos (Multiple Attribute Decision Making - MADM) e métodos de múltiplos objetivos (Multiple Objective Decision Making - MODM). Os MADM são empregados para abordar situações em que as alternativas já estão definidas e podem ser descritas por meio de diversos atributos inter-relacionados. Enquanto isso, os MODM operam em um espaço contínuo de soluções viáveis, permitindo uma gama mais ampla de escolhas [Figueira et al. 2005].

As técnicas multicritério também podem ser classificadas entre técnicas compensatórias e não compensatórias [Galo et al. 2018]. As técnicas compensatórias permitem a compensação entre critérios, ou seja, um desempenho fraco em um critério pode ser compensado por um desempenho forte em outro critério, por meio da ponderação dos critérios. Em contrapartida, as abordagens não compensatórias tratam cada critério de forma independente, sem permitir a compensação entre eles. A escolha entre essas abordagens depende das preferências do tomador de decisão e da natureza da decisão, sendo que as abordagens compensatórias são mais flexíveis, enquanto as abordagens não compensatórias são mais rígidas e adequadas para cenários em que não há espaço para *trade-offs* entre critérios [Banihabib et al. 2017].

Dentro desse contexto, várias técnicas multicritério têm sido empregadas para enfrentar diversos desafios na indústria aeronáutica. Por exemplo, aplicação de técnicas multicritério na seleção de fornecedores para a indústria aeroespacial [Rasmussen et al. 2023]; combinação de técnicas multicritério com lógica fuzzy para avaliar o desempenho de aeronaves [Sánchez-Lozano, et al. 2022]; incorporação de técnicas MCDM para desenvolvimento de aeronaves [Sun 2014]. Essas pesquisas ressaltam a importância de adotar abordagens criteriosas para subsidiar o processo de decisão na indústria aeronáutica, com potencial para aprimorar a competitividade e a produtividade organizacional.

3. Método para levantamento bibliográfico

Para apresentar o estado da arte sobre a aplicação de técnicas multicritério em problemas de engenharia aeronáutica, conduziu-se uma revisão sistemática. As revisões sistemáticas representam uma abordagem metodológica robusta, diferenciando-se das análises narrativas e exploratórias ao adotarem um processo replicável, científico e transparente [Tranfield et al. 2003]. A seguir, é descrito cada etapa desse processo, desde a formulação da pergunta de pesquisa até a síntese e análise dos resultados sobre o tema [Calache et al. 2020].

- Pergunta científica analisada: no presente trabalho, buscou-se verificar como as técnicas multicritério vêm sendo aplicadas na engenharia aeronáutica, bem como entender o estado da arte e verificar possibilidades de avanços no tema;
- Definição das bases de dados e palavras chave: foram utilizadas as bases de dados *Web of Science* (apps.webofknowledge.com), *SCOPUS* (www.scopus.com), devido aos seus vastos acervos relacionados à gestão de operações. Os seguintes conjuntos de palavras foram aplicados ("aircraft" AND "multicriteria" AND "decision making" AND "engineering") OR ("aircraft" AND "multi criteria" AND "decision making" AND "engineering") OR ("airplane" AND "multicriteria" AND "decision making" AND "engineering") OR ("airplane" AND "multi criteria" AND "decision making" AND "engineering"). Como resultado, foram obtidos um total de 48 documentos na base *Web of Science* e 18 artigos na *SCOPUS*. Na base de dados *Web of Science*, a pesquisa foi realizada em todos os campos dos documentos. Já na *SCOPUS*, foi necessário limitar a pesquisa para os títulos, resumos e palavras-chave, para a obtenção de artigos dentro do escopo.

- Estratégia de pesquisa: Inicialmente os documentos retornados foram filtrados, selecionando apenas artigos em inglês e português publicados até o final do ano de 2023. Em seguida, as duplicidades foram eliminadas resultando em um total de 39 artigos. A estratégia de busca foi ler inicialmente o resumo e palavras chaves, e em caso de dúvidas, as seções seguintes dos artigos eram lidas para avaliação do seu escopo. Os artigos excluídos não tratavam de problemas diretamente relacionados à engenharia aeronáutica.
- Seleção e classificação dos artigos relevantes: foram selecionados 35 artigos que estavam relacionados diretamente com a aplicação ou desenvolvimento da abordagem multicritério para o contexto de engenharia aeronáutica. Esses artigos foram lidos e classificados de acordo com o ano de publicação, país de origem da universidade do primeiro autor, problema abordado, técnicas multicritério utilizadas, tipo de representação de informação, e critérios utilizados no processo de tomada de decisão.

4. Resultados

No levantamento realizado, foram identificados 6 tipos de problemas distintos que vêm sendo tratados com diferentes técnicas multicritério de apoio à tomada de decisão. Os problemas abordados são:

- Seleção de aeronaves: é uma questão de tomada de decisão enfrentada por companhias aéreas, operadores de aeronaves e outras partes interessadas no setor de aviação. Envolve a escolha da aeronave mais adequada para atender a determinadas necessidades operacionais, financeiras e estratégicas.
- Seleção de equipamentos/ produtos: é uma questão de tomada de decisão que envolve escolher os melhores componentes, sistemas ou produtos para serem instalados em aeronaves. Este problema é complexo e multidimensional, pois deve considerar diversos critérios técnicos, econômicos e operacionais para garantir que os equipamentos selecionados atendam às exigências de desempenho, segurança, custo-efetividade e regulamentação.
- Seleção de projetos de aeronaves: envolve a escolha do melhor projeto entre várias opções, considerando uma série de critérios técnicos, econômicos e operacionais. Este é um desafio complexo e multifacetado que é crítico para fabricantes de aeronaves, companhias aéreas, e outras partes interessadas no setor de aviação. A seleção adequada do projeto de aeronave pode determinar o sucesso comercial, a segurança e a eficiência operacional de novas aeronaves.
- Avaliação de atividades de operações aéreas: envolvem a análise e a avaliação de diversos aspectos das operações de voo e das atividades relacionadas, com o objetivo de melhorar a eficiência, a segurança, a pontualidade, e a sustentabilidade das operações. Estes problemas são multifacetados e podem abranger uma ampla gama de atividades, incluindo a gestão de voos, a alocação de recursos, a manutenção de aeronaves, a gestão de tripulações, entre outros.
- Avaliação da linha de montagem: são questões que envolvem a identificação, análise e resolução de desafios específicos encontrados no processo de montagem de aeronaves. Isso inclui questões relacionadas à eficiência operacional, qualidade dos produtos, controle de custos, conformidade regulatória, segurança no local de trabalho, integração de sistemas, gestão de recursos, entre outros.

É relevante destacar que a literatura tem dedicado especial atenção ao problema de seleção de aeronaves, o qual representa cerca de 67% dos problemas tratados com técnicas multicritério. A Tabela 1 apresenta os artigos encontrados e classificados de acordo com as categorias de problemas identificadas.

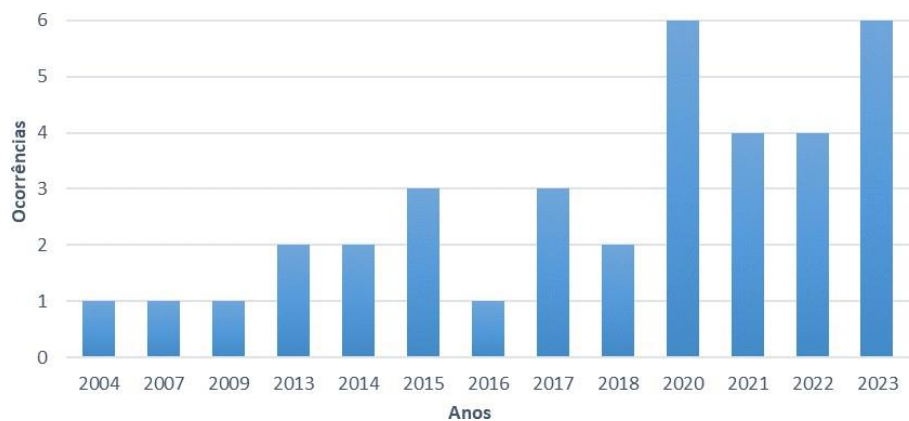
Tabela 1. Desafios na indústria aeronáutica: Problemas abordados com aplicações de técnicas multicritério na tomada de decisões.

Problema abordado	Artigos Relacionados
Seleção de aeronaves	[Karamaşa et al. 2021]; [Durmaz e Gencer 2020]; Sun et al. [2014]; Sánchez-Lozano et al. [2015]; Eren. [2020]; Durmaz, Gencer [2020]; Yeh, Chang. [2008]; Kadziński et al. [2017]; Zhu et al. [2017]; Ma [2022]; Bakır et al[2021]; Sánchez-Lozano et al [2022]; Rezvani, Jahan [2015].
Seleção de equipamentos/ produtos/componentes/ materiais	Sells, Crossley [2023]; Boyaci, Tüzemen [2022]; Barnes et al. [2004]; Çalışkan et al. [2013]; Markatos et al [2023]; Yazgan, Yilmaz [2017]; Senol [2019]; Ul Haq et al. [2023]; Grzybowski, Szpakowska-Peas [2020]; Varatharajulua et al. [2021].
Seleção de projeto de aeronave	Narayan, Meyer, Campbell [(2013]; Markatos, Pantelakis [2023]; Markatos,Pantelakis (2022); Dhara et al [2023]; Gómez et al [2016].
Avaliação de atividades de operações aéreas	Shmelova, Sikirda [(2021)]; Sun et al. [(2015)]; Skorupski [2014].
Avaliação da linha de montagem	Zha et al. [2020]; Bouzarour-Amokranea et al[2015].

Fonte: Própria autoria

A Figura 1 apresenta o número de artigos publicados ao longo os anos. Fica evidente o crescimento no número de estudos relacionados ao tema de pesquisa. Os estudos mais antigos estão mais focados na aplicação das técnicas individuais. Já os estudos mais recentes, estão focados no desenvolvimento de modelos de apoio à tomada de decisão que busquem integrar diferentes tipos de técnicas multicritério para cobrir várias etapas e considerar diferentes necessidades dos problemas.

Figura 1: Número de artigos publicados em cada ano.

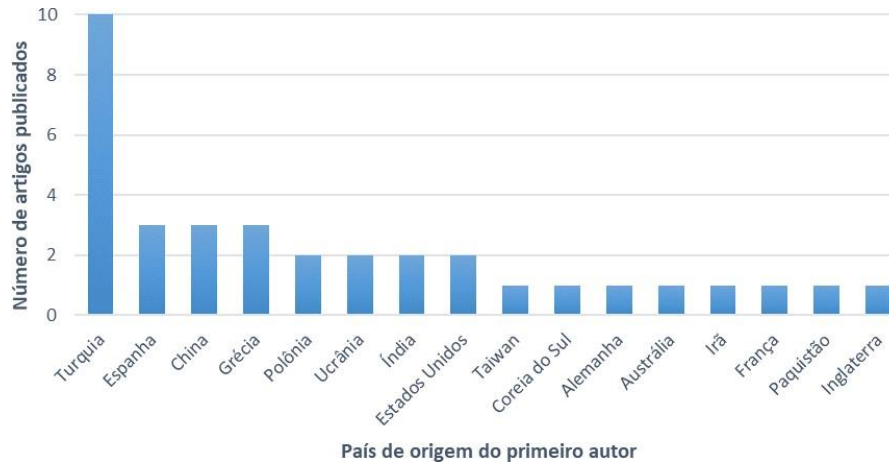


Fonte: Própria autoria

Apesar do crescimento no número de publicações relacionadas ao tema, de acordo com a Figura 2, é possível verificar que o tema ainda está concentrado em poucos países. A Turquia é o país que mais publica artigos sobre aplicação de técnicas multicritério na engenharia aeronáutica, com 10 artigos no total (cerca de 29 % do total). Em seguida destacamos a Espanha, China e Grécia com 3 artigos cada. Não foi encontrado nenhum país do continente americano que tenha estudos

relacionados com o tema. A identificação desses países é importante para levantar possíveis parcerias de colaborações internacionais.

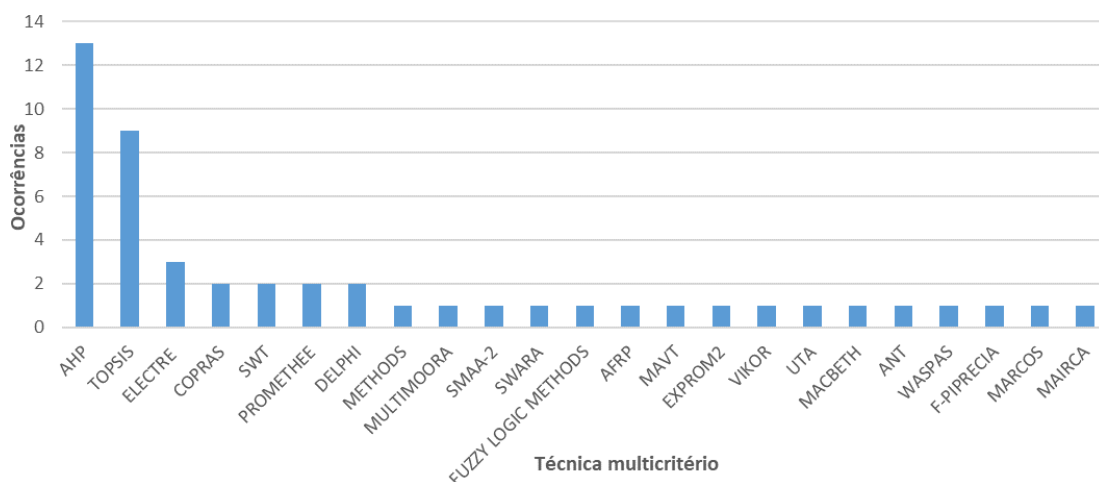
Figura 2: Número de artigos publicados por país de origem da universidade do primeiro autor.



Fonte: Própria autoria

Na maioria dos estudos levantados (54,28%) são utilizados mais de uma técnica multicritério para compor o modelo de apoio à tomada de decisão. A Figura 4 apresenta as técnicas utilizadas nos artigos e as respectivas frequências. Fica evidente que a técnica AHP (*Analytic hierarchy process*) baseada em comparação pareada é a mais aplicada, presente em cerca de 37 % dos estudos. Esta técnica é comumente aplicada na etapa de ponderação dos critérios de tomada de decisão. Outra técnica em evidência é o TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), muito utilizada como técnica compensatória para a avaliação de desempenho das alternativas em relação aos critérios para criar um ranqueamento entre as alternativas. O TOPSIS é baseado na premissa de que a melhor alternativa deve ter a menor distância possível da solução ideal positiva, e a maior distância da solução ideal negativa. Não foram identificados estudos que aplicam técnicas não compensatórias para classificação, tais como o TOPSIS CLASS e o ELECTRE TRI.

Figura 3: Técnicas multicritérios utilizadas na engenharia aeronáutica.

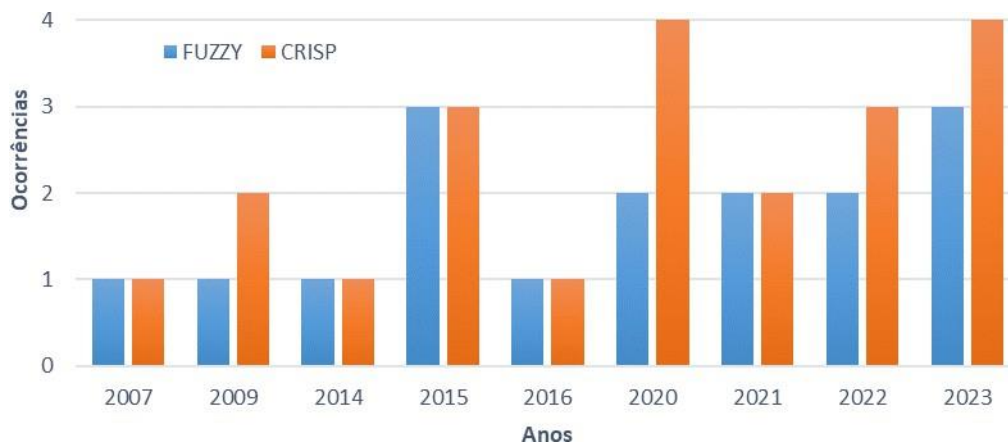


Fonte: Própria autoria

Para lidar com os julgamentos subjetivos dos tomadores de decisão, uma parcela crescente dos estudos tem utilizado representações *fuzzy* de informação. No entanto, a maioria dos estudos

ainda emprega números "*crisp*" para representar os dados analisados, conforme ilustrado no gráfico da Figura 4. Entre os artigos selecionados, nenhum utiliza representações capazes de lidar com imprecisões decorrentes da hesitação dos tomadores de decisão, como *Hesitant Fuzzy*, *Dual Hesitant Fuzzy* e *Double Hierarchy Hesitant Fuzzy*. Assim, uma oportunidade identificada para estudos futuros é a utilização dessas novas representações de informação, que oferecem uma maior capacidade de lidar com julgamentos subjetivos.

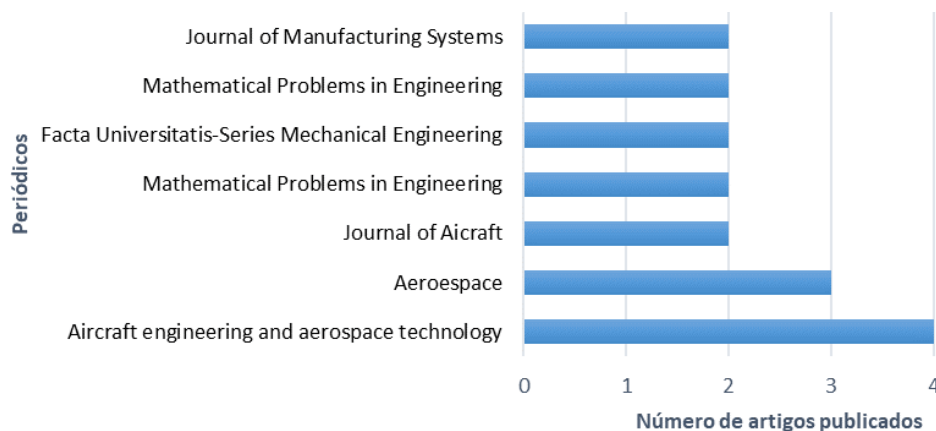
Figura 4: Modos de Representação de dados ao longo dos anos.



Fonte: Própria autoria

Devido à flexibilidade de aplicação e à variedade de técnicas multicritério existentes, foram encontrados artigos em 23 periódicos diferentes neste levantamento. No entanto, a maioria desses periódicos possui apenas um artigo publicado sobre o tema (69,6%). Os periódicos que publicaram mais de um artigo estão mais focados na resolução de problemas de engenharia aeronáutica. Os demais periódicos têm um escopo mais direcionado para o desenvolvimento de modelos de apoio à tomada de decisão e gestão de desempenho. A Figura 5 apresenta os periódicos que publicaram mais de um artigo sobre a aplicação de técnicas multicritério na engenharia aeronáutica. Este levantamento pode contribuir para os autores identificarem os periódicos mais complacentes com o tema abordado, e assim direcionarem suas submissões de artigos.

Figura 5: Número de artigos publicados por periódicos.

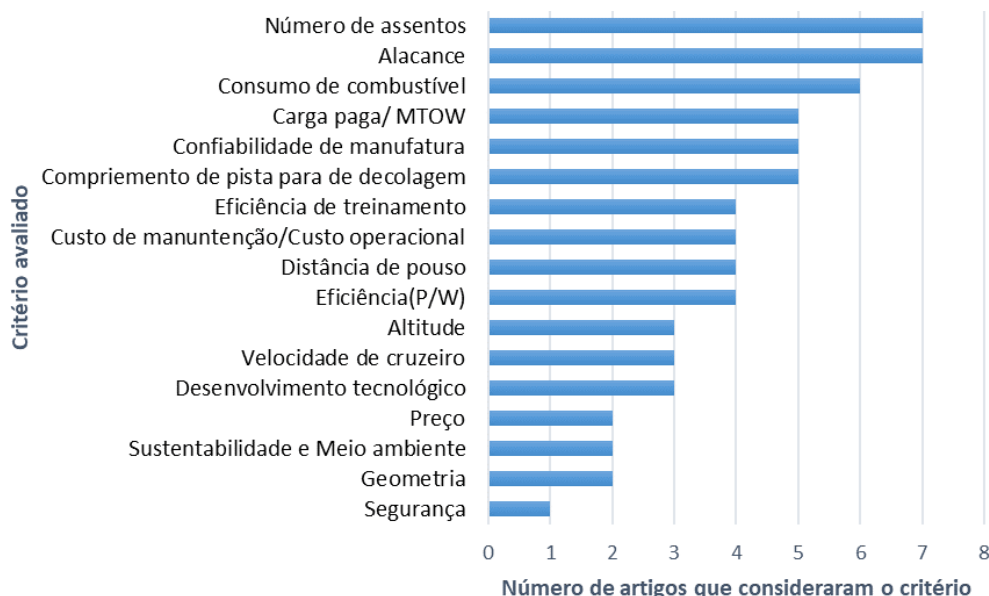


Fonte: Própria autoria

Em seguida, foram levantados os critérios utilizados em cada categoria de problemas identificados. A Figura 6 apresenta um gráfico com os critérios analisados para a seleção de

aeronaves e a quantidade de vezes que cada critério foi utilizado em um estudo. Ressalta-se que, para este tipo de problema, o principal foco está em características essenciais para empresas de transporte aéreo. Estudos mais recentes têm buscado um maior equilíbrio entre os critérios de desempenho e os critérios de desenvolvimento sustentável.

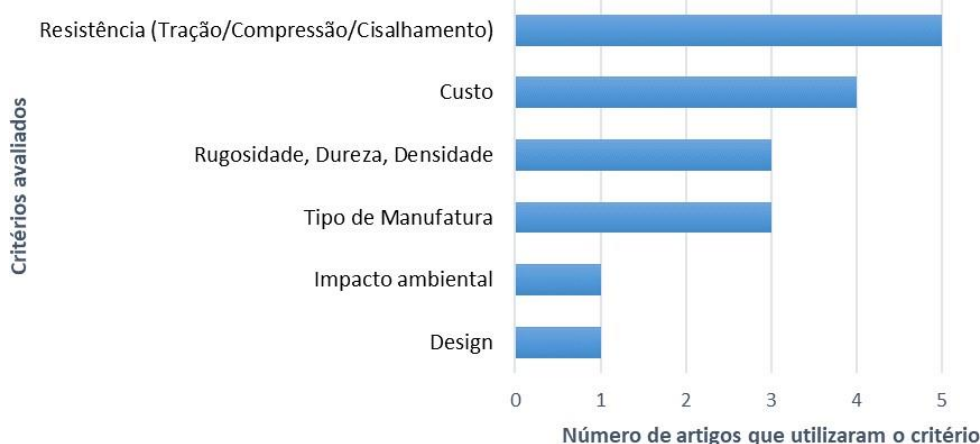
Figura 6: Critérios utilizados nos problemas de seleção de aeronaves.



Fonte: Própria Autoria

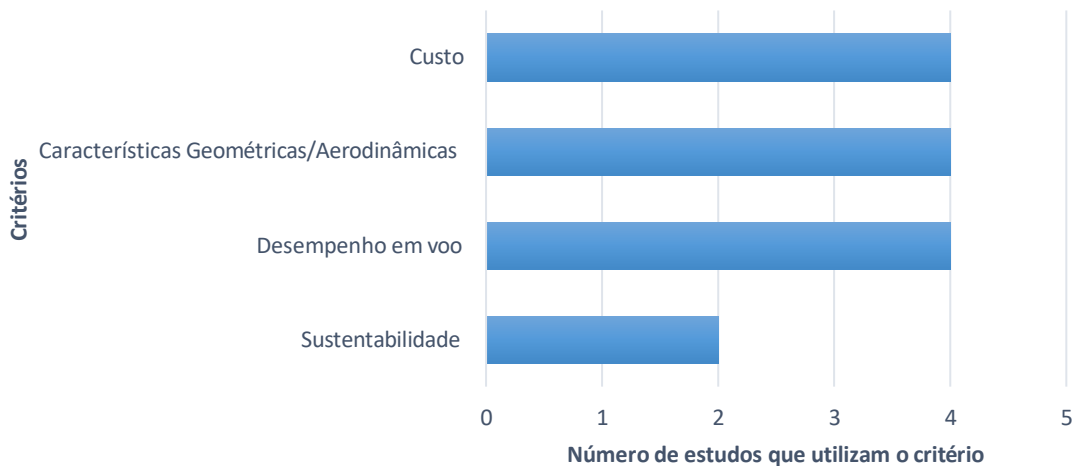
Os critérios utilizados para a seleção de equipamentos estão detalhados na Figura 7. Já os critérios utilizados na seleção de projetos aeronáuticos estão representados na Figura 8. Esses critérios são especialmente direcionados para a indústria de fabricação de aeronaves, onde há um enfoque significativo nas características técnicas dos produtos. A análise desses critérios revela uma preocupação predominante com aspectos como a eficácia e eficiência operacional, a durabilidade, a facilidade de manutenção e a compatibilidade tecnológica dos equipamentos. Além disso, há uma tendência crescente de considerar fatores relacionados à sustentabilidade e ao impacto ambiental, refletindo a importância de práticas mais verdes na indústria aeronáutica.

Figura 7: Critérios utilizados nos problemas de seleção de equipamentos e materiais.



Fonte: Própria Autoria.

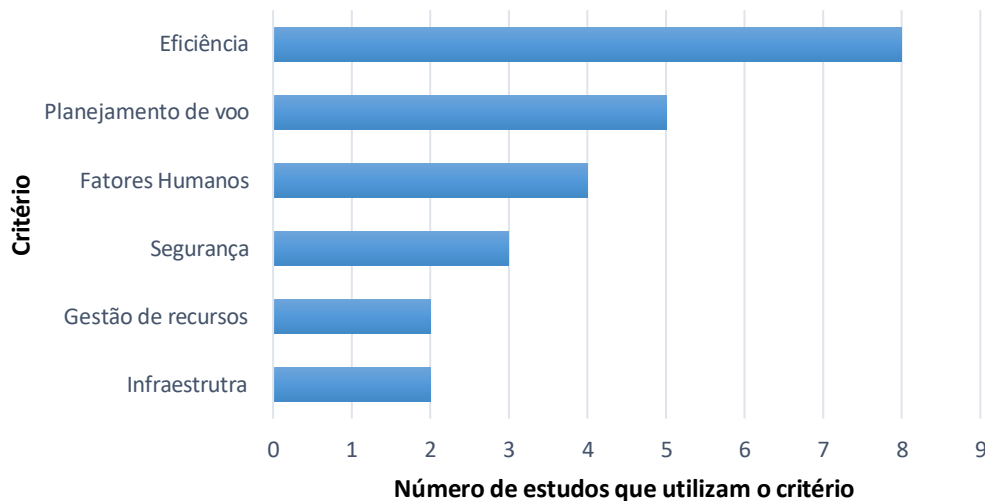
Figura 8: Principais critérios utilizados na seleção de projetos.



Fonte: Própria Autoria.

Os critérios utilizados para a avaliação de desempenho das operações aéreas são apresentados na Figura 9. Eles buscam analisar aspectos relacionados à eficiência operacional, segurança, pontualidade e gestão de recursos. A eficiência operacional inclui fatores como a otimização do consumo de combustível, a utilização eficiente da frota, e a gestão de rotas e horários. A segurança é avaliada com base em indicadores como a taxa de incidentes e acidentes, a conformidade com regulamentos de segurança, e os programas de manutenção preventiva. A pontualidade para alocação de rotas é medida pela frequência de atrasos e cancelamentos, além da aderência aos horários programados.

Figura 9: Principais critérios utilizados na avaliação de operações aéreas.

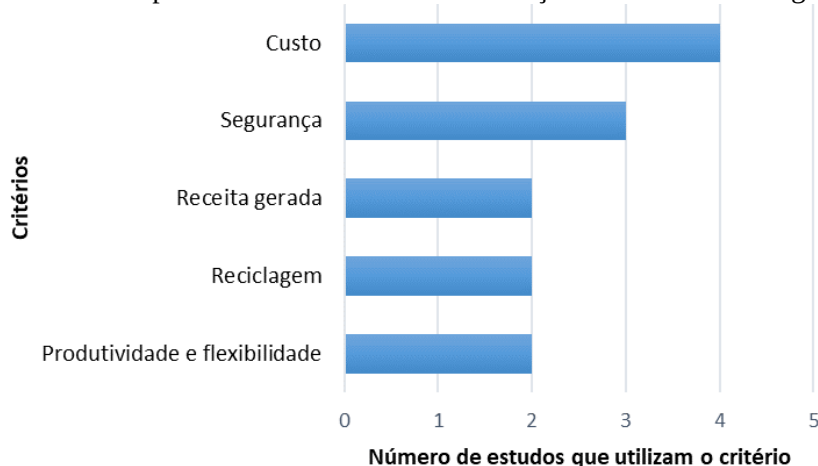


Fonte: Própria Autoria

A Figura 10 apresenta os principais critérios utilizados na avaliação da linha de montagem de aeronaves, abrangendo custo, segurança, receita, reciclagem e produtividade. Esses critérios constituem pilares fundamentais para garantir tanto a eficiência operacional quanto a sustentabilidade ambiental da linha de montagem. O custo refere-se não apenas aos gastos diretos envolvidos na produção, mas também à otimização dos recursos para maximizar a rentabilidade.

A segurança, por sua vez, é um aspecto crucial para proteger tanto os trabalhadores quanto os futuros usuários das aeronaves, exigindo padrões rigorosos de qualidade e procedimentos de segurança eficazes. A receita está relacionada à capacidade da linha de montagem de gerar lucro e retorno sobre o investimento, enquanto a reciclagem aborda a responsabilidade ambiental da indústria aeronáutica, garantindo a minimização do desperdício e a maximização da reutilização de materiais. Por fim, a produtividade é essencial para garantir que a linha de montagem opere de forma eficiente e cumpra prazos de entrega, mantendo-se competitiva no mercado global. Ao considerar esses critérios de maneira abrangente, as empresas podem garantir uma produção sustentável, econômica e de alta qualidade.

Figura 10: Principais critérios utilizados na avaliação da linha de montagem.



Fonte: Própria Autoria

5. Conclusão

A revisão sistemática da literatura sobre a aplicação de técnicas multicritério na engenharia aeronáutica revelou um cenário vasto e diversificado de investigação. Em cada etapa do ciclo de vida das aeronaves, desde a concepção até a operação e manutenção, as técnicas multicritério demonstraram ser ferramentas valiosas para enfrentar os desafios complexos inerentes a esta indústria exigente.

No âmbito da seleção de aeronaves e equipamentos, as técnicas multicritério oferecem uma estrutura analítica para avaliar e comparar uma variedade de aspectos cruciais, como desempenho técnico, custo, segurança e sustentabilidade. Esta abordagem holística permite às empresas aeronáuticas tomarem decisões mais informadas e ponderadas, levando em conta uma ampla gama de fatores e objetivos conflitantes. Ao considerar o desempenho operacional das companhias aéreas, as técnicas multicritério permitem uma avaliação abrangente que vai além dos indicadores tradicionais, como pontualidade e eficiência, incorporando também aspectos de segurança, receita e sustentabilidade ambiental. Isso proporciona uma visão mais completa do desempenho da empresa, permitindo identificar áreas de melhoria e implementar estratégias para otimização contínua. Além disso, a aplicação de técnicas multicritério na avaliação da linha de montagem de aeronaves oferece oportunidades para melhorar a eficiência operacional, garantir a qualidade do produto e promover práticas de produção mais sustentáveis. Critérios como custo, segurança, reciclagem e produtividade são cuidadosamente ponderados para garantir que a linha de montagem opere de forma eficiente, econômica e ecologicamente responsável.

Embora esta revisão sistemática tenha destacado os benefícios e as aplicações das técnicas multicritério na engenharia aeronáutica, é importante reconhecer que ainda existem desafios e oportunidades para futuras pesquisas. À medida que a indústria continua a evoluir e enfrentar novos desafios, é essencial continuar desenvolvendo e refinando abordagens analíticas e

metodológicas para lidar com a crescente complexidade e incerteza dos problemas enfrentados pela engenharia aeronáutica. A aplicação eficaz de técnicas multicritério desempenha um papel crucial na promoção da inovação, eficiência e sustentabilidade em uma das indústrias mais dinâmicas e desafiadoras do mundo.

Referências

- ALIFARSI, M. (2023). RBM-MCDM framework for optimization of maintenance and inspection intervals of small unmanned aircrafts. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(3), 569-588.
- ALMEIDA, A. T. (2013). *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo: Atlas.
- ARDIL, C. (2023). Using the PARIS Method for Multiple Criteria Decision Making in Unmanned Combat Aircraft Evaluation and Selection. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, 17(3), 93-103.
- ARDIL, C., PASHAEV, A., SADIQOV, R., ABDULLAYEV, P. (2019). Multiple criteria decision making analysis for selecting and evaluating fighter aircraft. *International Journal of Transport and Vehicle Engineering*, 13(11), 683-694.
- BANIHABIB, M. E., HASHEMI-MADANI, F., & FORGHANI, A. (2017). Comparison of compensatory and non-compensatory multi criteria decision making models in water resources strategic management. *Water Resources Management*, 31, 3745-3759.
- BAKIR, M., AKAN, Ş., & ÖZDEMİR, E. (2021). Regional aircraft selection with fuzzy PIPRECIA and fuzzy MARCOS: A case study of the Turkish airline industry. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 19(3), 423-445.
- BARNES, J.W., et al. (2004). Solving the aerial fleet refueling problem using group theoretic tabu search. *Mathematical and computer modelling*, 39(6-8), 617-640.
- BOUZAROUR-AMOKRANE, Y., TCHANGANI, A., & PÉRÈS, F. (2015). Decision evaluation process in end-of-life systems management. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 715-728.
- BOYACI, A., & TÜZEMEN, M. (2022). Multi-criteria decision-making approaches for aircraft-material selection problem. *International Journal of Materials and Product Technology*, 64(1), 45-68.
- CALACHE, L. D. D. R., OSIRO, L. E CARPINETTI, L. C. R. (2020). Dual Hesitant Fuzzy: Uma Revisão da Literatura. In *Anais do LII SBPO*, João Pessoa. SOBRAPO.
- ÇALIŞKAN, H., et al. (2013). Material selection for the tool holder working under hard milling conditions using different multi criteria decision making methods. *Materials & Design*, 45, 473-479.
- DHARA, A., et al. (2023). Modelling and Design Optimization of a Novel Wide-Body Transport Aircraft to Improve the Structural Integrity. *Mathematical Problems in Engineering*, 2023, 1-9.
- DE BOER, L., WEGEN, L. V. D., & TELGEN, J. (1998). Outranking methods in support of supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 4(2-3), 109-118.
- DE PAULA VIDAL, G. H., CAIADO, R. G. G., SCAVARDA, L. F., IVSON, P., & GARZA-REYES, J. A. (2022). Decision support framework for inventory management combining fuzzy multicriteria methods, genetic algorithm, and artificial neural network. *Computers & Industrial Engineering*, 108777.
- DOUMPOS, M., & GRIGOROUDIS, E. (2013). *Multicriteria decision aid and artificial intelligence: links, theory and applications*. John Wiley & Sons.

- DOŽIĆ, S. (2019). Multi-criteria decision making methods: Application in the aviation industry. *Journal of Air Transport Management*, 79, 101683.
- DURMAZ, K., & GENCER, C. (2020). A new plugin based on JSMAA: SWARA-JSMAA and aerobatic aircraft selection. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35, 1-10.
- FIGUEIRA, J., GRECO, S., & EHRGOTT, M. (2005). *Criteria decision analysis*. New York: Springer.
- GALO, N. R., CALACHE, L. D. D. R., & CARPINETTI, L. C. R. (2018). A group decision approach for supplier categorization based on hesitant fuzzy and ELECTRE TRI. *International Journal of Production Economics*, 202, 182-196.
- GRZYBOWSKI, P., & SZPAKOWSKA-PEAS, E. (2020). Flight reconfiguration system—an emergency system of the future. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 92(9), 1393-1399.
- HAQ, R.S.U., et al. (2023). An interval-valued neutrosophic based MAIRCA method for sustainable material selection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 123, 106177.
- HAO, Q., NAZIR, S., GAO, X., MA, L., & ILYAS, M. (2021). A review on multicriteria decision support system and industrial internet of things for source code transformation. *Scientific Programming*, 2021, 1-9.
- KAEMPF, G. L., & KLEIN, G. (2017). *Aeronautical Decision Making: The next generation*. Aviation psychology in practice. Routledge.
- KARAMAŞA, C., et al. (2021). An extended single-valued neutrosophic AHP and MULTIMOORA method to evaluate the optimal training aircraft for flight training organizations. *FACTA UNIVERSITATIS-SERIES MECHANICAL ENGINEERING*, 19(3), 1-12.
- KHARCHENKO, V., VASYLIEV, D., & VASYLIEV, V. (2017). Synthesis of conflict-free aircraft flight trajectories using multi-criteria dynamic programming. *Aviation*, 21(2), 35-41.
- LIMA JUNIOR, F. R., & CARPINETTI, L. C. R. (2015). Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores
- ZHANG., J, HEGDE., G. G, SHANG, J, & QI, X. (2016). Evaluating emergency response solutions for sustainable community development by using fuzzy multi-criteria group decision making approaches: IVDHF-TOPSIS and IVDHF-VIKOR. *Sustainability*, 8(4), 291.
- SEAMSTER, T. L., & REDDING, R. E. (2017). *Applied cognitive task analysis in aviation*. Routledge.
- RASMUSSEN, A., SABIC, H., SAHA, S., & NIELSEN, I. E. (2023). Supplier selection for aerospace & defense industry through MCDM methods. *Cleaner Engineering and Technology*, 12, 100590.
- SUN, X. (2014). Incorporating multicriteria decision analysis techniques in aircraft conceptual design process. *Journal of Aircraft*, 51(3), 861-869.
- TRANFIELD, D., DENYER, D., & SMART, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222.