



## Influência e benefícios do uso da inteligência artificial (IA) no monitoramento de saúde estrutural (MSE) do setor aéreo comercial

*Influence and benefits of using artificial intelligence (AI) in structural health monitoring (SHM) in the commercial airline sector*

*Influencia y beneficios del uso de la inteligencia artificial (IA) en monitoreo de la salud estructural (MSE) en el sector de las aerolíneas comerciales*

Edson Costa <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estácio de Sá

<sup>1</sup> eng.edsoncosta@hotmail.com

### ARTIGO INFO.

Recebido: 20.03.2025

Aprovado: 23.05.2025

Disponibilizado: 28.10.2025

**PALAVRAS-CHAVE:** Aviação Comercial; Inteligência Artificial; Monitoramento de Saúde Estrutural

**Keywords:** Commercial Aviation; Artificial Intelligence; Structural Health Monitoring

**PALABRAS CLAVE:** Aviación Comercial; Inteligencia Artificial; Monitoreo de la Salud Estructural

\*Autor Correspondente: Costa, E.

### RESUMO

O Monitoramento de Saúde Estrutural (MSE) vem atraindo a comunidade de pesquisa nas últimas décadas para permitir o projeto de aeronaves mais leves, seguras e até mesmo mais limpas. Portanto, considerando que o MSE se trata de um aspecto crítico da manutenção e segurança da infraestrutura de uma aeronave, este presente estudo buscou explorar a crescente influência da Inteligência Artificial (IA) no MSE do setor aéreo comercial, mostrando os principais benefícios do uso da IA neste segmento. A metodologia aplicada para o desenvolvimento do presente estudo foi a revisão bibliográfica. A pesquisa feita teve um aspecto de exploratória-descritiva, de caráter qualitativo. Concluiu-se que, com o avanço da digitalização, o volume de dados processados pelas empresas de produção e manutenção está crescendo e, consequentemente, a demanda por IA para a manipulação desses dados também está crescendo. A manutenção preditiva fundamentada na IA pode auxiliar na otimização dos planos de manutenção, na previsão da vida útil restante dos componentes e, por conseguinte, na prevenção de danos.

### ABSTRACT

Structural Health Monitoring (SHM) has been attracting the research community in recent decades to enable the design of lighter, safer, and even cleaner aircraft. Therefore, considering that SHM is a critical aspect of the maintenance and safety of an aircraft's infrastructure, this study sought to explore the growing influence of Artificial Intelligence (AI) on SHM in the commercial aviation sector, showing the main benefits of using AI in this segment. The methodology applied to develop this study was a literature review. The research carried out had an exploratory-descriptive aspect, of a qualitative nature. It was concluded that, with the advancement of digitalization, the volume of data processed by production and maintenance companies is growing and, consequently, the demand for AI to manipulate this data is also growing. AI-based predictive maintenance can help optimize maintenance plans, predict the remaining useful life of components and, consequently, prevent damage.

### RESUMEN

El Monitoreo de la Salud Estructural (MSE) ha atraído a la comunidad investigadora en las últimas décadas para permitir el diseño de aeronaves más livianas, seguras e incluso más limpias. Por lo tanto, considerando que el MSE es un aspecto crítico del mantenimiento y la seguridad de la infraestructura de una aeronave, este estudio buscó explorar la creciente influencia de la Inteligencia Artificial (IA) en el MSE en el sector de la aviación comercial, mostrando los principales beneficios del uso de IA en este segmento. La metodología aplicada para desarrollar este estudio fue una revisión bibliográfica. La investigación realizada tuvo un aspecto exploratorio-descriptivo, de carácter cualitativo. Se concluyó que, con el avance de la digitalización, el volumen de datos procesados por las empresas de producción y mantenimiento está creciendo y, en consecuencia, también está creciendo la demanda de IA para manipular estos datos. El mantenimiento predictivo basado en IA puede ayudar a optimizar los planes de mantenimiento, predecir la vida útil restante de los componentes y, por lo tanto, prevenir daños.



## INTRODUÇÃO

Inicialmente, compete dizer que a manutenção representa uma parte significativa dos gastos do ciclo de vida de uma aeronave. Em operação, a estrutura da aeronave sofre uma série de tipos de deterioração. Para exemplificar, existem trincas devido à fadiga, corrosão, danos causados por impacto e delaminação em estruturas de compósitos.

De tal modo, cerca de 80% das verificações realizadas se dão de forma visuais e são realizadas de diversas maneiras, desde uma simples e concisa verificação de pré-voo, até verificações para as quais a aeronave necessita ser retirada de serviço e deixada inoperante (Silva et al., 2014).

No entanto, devido à complexidade das estruturas de um avião, muitas áreas vitais não são facilmente acessíveis para inspeção, exigindo assim que haja um extenso processo de desmontagem e montagem para a realização da inspeção. Portanto, uma grande quantidade de trabalho e despesas é requerida.

Certamente, as trincas causadas pela fadiga em componentes metálicos representam o evento mais significativo, tanto em termos de quantidade quanto de relevância, em aviões com anos de operação. A estimativa da vida útil em fadiga se mostra parcialmente baseada na análise estrutural e eventos passados.

Pode-se dizer que muitas estratégias de projeto e métodos de inspeção, particularmente no que diz respeito à fadiga estrutural, são fundamentadas em "lições aprendidas". As lições aprendidas são acontecimentos inesperados que resultam em um entendimento mais aprofundado de como a estrutura funciona.

O Monitoramento de Saúde Estrutural (MSE) vem atraindo a comunidade de pesquisa nas últimas décadas para permitir o projeto de aeronaves mais leves, seguras e até mesmo mais limpas. Em princípio, espera-se que o MSE evite ou reduza acomodações típicas empregadas durante o projeto (por exemplo, fatores de redução de segurança) e gerenciamento de vida útil (inspeção programada rigorosa), induzindo uma manutenção econômica. No entanto, tem-se que a implantação industrial em tal campo ainda é limitada, principalmente devido às preocupações sobre a avaliação de confiabilidade e o benefício real alcançável na aviação.

A primeira questão é inerente à técnica específica adotada para estimar a condição real da fuselagem e é tratada por meio de uma estreita colaboração entre especialistas no domínio do MSE e confiabilidade. Por outro lado, a última questão requer uma análise multidisciplinar que leve em conta os efeitos induzidos pela integração do MSE no nível da aeronave e inclua um roteiro para sua implementação eficiente.

Portanto, considerando que o MSE se trata de um aspecto crítico da manutenção e segurança da infraestrutura de uma aeronave, este presente estudo buscou explorar a crescente influência da Inteligência Artificial (IA) no MSE do setor aéreo comercial, mostrando os principais benefícios do uso da IA neste segmento.

O estudo se justifica pelo fato de a aviação comercial agora possuir uma infraestrutura resiliente e adaptável, onde a IA permite que os sistemas respondam dinamicamente a condições de mudança. O tema aqui tratado se mostra relevante pela oportunidade de abordar as considerações éticas e os impactos sociais da IA em MSE, como privacidade de dados, equidade e transparência.

## METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o desenvolvimento do presente estudo foi a revisão bibliográfica, com caráter exploratório-descritivo e abordagem qualitativa. Foram coletadas e analisadas 27 publicações entre 2015 e 2025, provenientes de bases como Google Acadêmico e SciELO. Os critérios de inclusão abrangeram estudos relacionados à aplicação de Inteligência Artificial no Monitoramento de Saúde Estrutural (MSE) na aviação comercial, publicados em periódicos revisados por pares. Foram excluídos trabalhos duplicados ou que não abordavam diretamente a temática. Os dados foram organizados por tipo de tecnologia, benefícios e limitações, sendo analisados com base em categorias temáticas emergentes que permitiram uma compreensão crítica do panorama atual.

Posteriormente a etapa de levantamento bibliográfico, foi então feita uma triagem e seleção do material que aborda em característico a temática estudada. Os descritores utilizados na busca eletrônica foram os seguintes: Aviação Comercial; Inteligência Artificial; Monitoramento de Saúde Estrutural. A pesquisa feita teve um aspecto de exploratória-descritiva.

A abordagem aproveitada na presente pesquisa foi a qualitativa, a qual teve-se a coleta de informações pertinentes para em seguida serem expostas e avaliadas, além da observação de documentos, tendo-se a preocupação de coletar uma maior quantidade de elementos, visando assim um entendimento maior e mais profundo da problemática estudada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A indústria da aviação está experimentando uma mudança inédita com a implementação de IA para aprimorar operações, diminuir despesas e aquilatar a experiência dos passageiros. Dentre as principais ações globais, destacam-se a implementação de tecnologias de ponta para a gestão do tráfego aéreo, manutenção preditiva, aperfeiçoamento de rotas e operações em aeroportos. Ademais, entidades reguladoras como a Administração Federal de Aviação (*Federal Aviation Administration - FAA*), dos Estados Unidos, estão definindo normas para garantir a segurança na aplicação da IA no setor aéreo comercial (Yue & Aliabadi, 2020).

Nos últimos anos, as empresas de aviação têm feito investimentos cada vez maiores em soluções baseadas em IA para lidar com os obstáculos do mercado competitivo e as expectativas cada vez maiores dos passageiros. Um caso recente é a implementação de sistemas de IA para análise de dados em tempo real, possibilitando a customização de serviços e aprimoramento da experiência do consumidor (Khalaf & Hamam, 2024).

Adicionalmente, de acordo com Seno e Aliabadi (2022), observa-se que a implementação e utilização de IA na manutenção preditiva de aeronaves, pode diminuir em até 30% os gastos operacionais das empresas aéreas, ao prevenir interrupções não planejadas e maximizar a utilização de recursos.

Segundo um estudo da *Allied Market Research*, o mercado global de IA na aviação deve movimentar US\$ 2,22 bilhões até o ano de 2033, impulsionado pelo aumento da procura por operações mais eficazes e pela necessidade de intensificar a segurança. Essa tendência, além de evidenciar a confiança do setor na tecnologia, destaca a relevância de incorporar soluções de IA de maneira estratégica e inovadora, garantindo que as empresas aéreas mantenham sua competitividade em um mercado que está sempre em transformação (Allied Market Research, 2023).



Deste modo, pode-se dizer que a IA deixou de ser uma perspectiva futurista para se tornar uma realidade tangível que está afetando todos os aspectos da aviação comercial. Por meio de algoritmos sofisticados e aprendizado de máquina, as empresas de aviação estão aprimorando suas operações, diminuindo despesas e aumentando a satisfação dos viajantes.

Além dos avanços tecnológicos aqui trazidos, a ascensão da IA revolucionou o MSE, juntamente com vários outros campos relacionados à Engenharia Civil e Engenharia Estrutural, em particular a aeronáutica, incluindo modelagem estrutural, otimização estrutural e análise de confiabilidade estrutural (Plevris & Papazafeiopoulos, 2024).

No MSE, a IA introduz abordagens inovadoras para processamento de dados, detecção de danos e manutenção preditiva. Sua capacidade de lidar com grandes quantidades de dados, aprender com padrões e fazer previsões precisas, abriu caminho para sistemas MSE mais eficientes e automatizados (Aktan et al., 2024).

Com isto, algoritmos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo, redes neurais artificiais e outras abordagens baseadas em IA, vem demonstrando agora grande potencial na extração de *insights* significativos de dados em MSE, identificando danos ocultos e até mesmo prevendo falhas estruturais futuras. A IA melhorou a precisão e a confiabilidade dos sistemas de MSE e permitiu o desenvolvimento de sistemas de monitoramento inteligentes e autônomos capazes de funcionar com intervenção humana mínima (Gharehbeghi et al., 2021).

Neste contexto, a FAA divulgou um plano estratégico para a incorporação da IA no setor aéreo, visando garantir a segurança e a confiabilidade na implementação dessas tecnologias em operações aéreas. O texto destaca uma estratégia incremental, fundamentada na segurança e no cumprimento das regulamentações (FAA, 2024).

Dentre as orientações definidas pela FAA, merecem destaque os seguintes pontos: distinção entre IA estática e dinâmica, possibilitando que a tecnologia progrida sem prejudicar os protocolos de segurança; aplicação da IA no monitoramento constante de aeronaves, antecipando problemas operacionais e assegurando a eficácia operacional; adoção gradual, em conformidade com padrões internacionais, para que assim haja um progresso controlado e confiável no setor (FAA, 2024).

Para tanto, tem-se que o propósito dessas orientações é diminuir os riscos operacionais e aprimorar a eficácia da aviação comercial, assegurando que a IA seja empregada como um recurso auxiliar, sem substituir o elemento humano. Além da regulamentação, a implementação da IA está revolucionando a rotina de empresas aéreas e operadores de aeroportos. Aplicações como otimização de rotas, previsão de falhas mecânicas e personalização de serviços para passageiros, são algumas das mais significativas.

Com isto, a IA está sendo extensivamente empregada na previsão de falhas mecânicas, diminuindo o período de paralisação das aeronaves. Os sensores presentes nos aviões recolhem informações em tempo real sobre a *performance* do motor, sistemas de hidráulica e a estrutura da fuselagem, possibilitando que sistemas de IA detectem padrões de desgaste e emitam avisos preventivos para as equipes de manutenção. Esta estratégia preditiva previne falhas imprevistas e diminui os gastos operacionais. Isto porque, conforme o exposto até aqui no presente estudo, entende-se que a manutenção de aviões se trata de uma das partes mais críticas e dispendiosas na indústria da aviação comercial. De tal maneira, através da IA, pode-se então antecipar falhas antes mesmo de acontecerem.

Para Cusati et al. (2021), os sensores instalados em aviões recolhem informações em tempo real, que são examinadas por algoritmos para detectar padrões e irregularidades. Isso possibilita a realização de manutenções preventivas, prevenindo interrupções não previstas e aumentando a proteção dos voos. Além do mais, esta estratégia poupa tempo e recursos, além de diminuir as possibilidades de defeitos mecânicos (Quadro 1).

**Quadro 1.** Resumo das tecnologias de IA empregadas e seus benefícios

Tecnologia	Benefícios
Sistemas para análise de dados em tempo real	Customização de serviços e aprimoramento da experiência do consumidor
Algoritmos	Diminuição de despesas
Aprendizado de máquina	Aumento de satisfação dos viajantes
Sensores	Recolhimento de informações em tempo real

Fonte: Autor (2025)

Para exemplificar, a *Boeing* revelou recentemente que já escolheu uma companhia aérea para o lançamento do seu *Insight Accelerator*, uma inovadora solução digital baseada na nuvem que utiliza IA para aprimorar a eficácia operacional e prevenir interrupções de grande impacto no serviço (Boeing, 2024).

Todavia, apesar de aeronaves comerciais de última geração produzirem uma vasta quantidade de dados de voo, muitos operadores carecem de infraestrutura para administrar e tirar proveito dessas informações. Assim, para sanar essa lacuna, a IA da *Boeing* emprega algoritmos pré-configurados para categorizar e identificar irregularidades, gerando alertas que possibilitam às empresas aéreas tomarem medidas preventivas de manutenção e reparo, prevenindo assim possíveis atrasos não planejados (Boeing, 2024).

Neste contexto, no Brasil, tem-se que o Estado-Maior da Aeronáutica (EMAER), ao aprovar o projeto de instalação do primeiro Laboratório de IA da Força Aérea Brasileira (FAB), reconheceu os benefícios da IA. O Plano de Investimentos de *Royalties*, do Comando da Aeronáutica (COMAER), aprovado em novembro de 2024, financiará o projeto do Centro de Computação da Aeronáutica de São José dos Campos (CCA-SJ). O foco será em Modelos de Linguagem de Grande Escala. Com isto, o objetivo é transformar as operações e ampliar a eficiência em áreas vitais, como a tomada de decisões, manutenção de aeronaves, simulação de cenários e melhoria logística (Brasil, 2024).

Localizado na cidade de São José dos Campos (SP), o CCA-SJ se beneficia de sua proximidade com o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), promovendo parcerias estratégicas. Deste modo, pode-se dizer que a colaboração com o Instituto de Logística da Aeronáutica (ILA) será crucial para o avanço do uso de IA na aviação comercial, uma vez que a tecnologia militar quase sempre precede a tecnologia de uso comercial (Brasil, 2024).

A iniciativa pioneira do Comando-Geral de Apoio (COMGAP) envolve a colaboração com o Centro de Computação da Aeronáutica do Rio de Janeiro (CCA-RJ), empregando o Sistema Integrado de Logística de Material e Serviços (SILOMS). O Centro de Computação da Aeronáutica de Brasília (CCA-BR) e o Centro de Defesa Cibernética da Aeronáutica (CDCAER) também serão informados sobre os resultados, promovendo a integração de competências em defesa cibernética (Brasil, 2024).



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cada vez mais, corporações e aeroportos globais começam a reconhecer que a IA na aviação comercial proporciona vantagens e benefícios consideráveis. Atividades como o planejamento de voos, a gestão de fluxo, os voos e as avaliações de segurança podem, ao menos em parte, ser realizadas automaticamente.

Sendo assim, concluiu-se que, com o avanço da digitalização, o volume de dados processados pelas empresas de produção e manutenção está crescendo e, consequentemente, a demanda por IA para a manipulação desses dados também está crescendo. A manutenção preditiva fundamentada na IA pode auxiliar na otimização dos planos de manutenção, na previsão da vida útil restante dos componentes e, por conseguinte, na prevenção de danos.

Por fim, constatou-se que a IA potencializará a segurança cibernética, por exemplo, aprimorando a habilidade de detectar vulnerabilidades. Nisto, a IA pode auxiliar na identificação de riscos emergentes, na categorização dos riscos das ocorrências, na criação da carteira de riscos de segurança e na determinação de prioridades no campo da segurança na aviação comercial.

No entanto, observa-se uma escassez de estudos que sistematizem as principais tecnologias de IA aplicadas ao MSE no setor aéreo brasileiro, especialmente sob a ótica da confiabilidade operacional. Diante disso, o presente estudo propõe-se a responder: quais são os principais benefícios e limitações do uso da IA no Monitoramento de Saúde Estrutural na aviação comercial, à luz das evidências recentes da literatura técnico-científica?

Enquanto Aktan et al. (2024) enfatizam os benefícios operacionais da IA no MSE, Gharehbarghi et al. (2022) alertam para os desafios na padronização dos métodos de detecção de falhas. Essa divergência evidencia a necessidade de um referencial comum para avaliação da confiabilidade dos sistemas baseados em IA, além de demonstrar que os benefícios devem ser analisados em conjunto com limitações operacionais, regulatórias e éticas.

Como limitação, destaca-se que este estudo se baseia exclusivamente em revisão de literatura, sem apresentar validação empírica por meio de estudos de caso ou aplicação prática. Recomenda-se que futuras pesquisas explorem a implementação efetiva de tecnologias de IA no MSE em companhias aéreas brasileiras, além da proposição de modelos conceituais que articulem confiabilidade, desempenho estrutural e segurança operacional. A sistematização de variáveis e o desenvolvimento de abordagens metodológicas mais rigorosas também são caminhos promissores para ampliar o conhecimento na área.

## REFERÊNCIAS

- Aktan, E. et al. (2024). Lessons from Bridge Structural Health Monitoring (SHM) and Their Implications for the Development of Cyber-Physical Systems. *Infrastructures*, 9(2), 30-33.
- Allied Market Research. (2023). Artificial Intelligence (AI) Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report, by Component, by Technology, by Deployment Mode, by Enterprise Size, by Business Function, by Type, by Industry Vertical. *Global Opportunity Analysis and Industry Forecast*. Recuperado de <https://www.alliedmarketresearch.com/artificial-intelligence-market>
- Boeing. (2024). Insight Accelerator. *Global Services*. Recuperado de <https://services.boeing.com/maintenance-engineering/maintenance-optimization/insight-accelerator>
- Brasil. FAB. Força Aérea Brasileira. (2024). FAB aposta em Inteligência Artificial para eficiência, segurança e inovação tecnológica. Ministério da Defesa. Recuperado de <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/43576>
- Cusati, V. et al. (2021). Impact of Structural Health Monitoring on Aircraft Operating Costs by Multidisciplinary Analysis. *Sensors*, 21(20), 9-38.
- FAA. Federal Aviation Administration. (2024). Roadmap for Artificial Intelligence Safety Assurance. Version I. Recuperado de [https://www.faa.gov/aircraft/air\\_cert/step/roadmap\\_for\\_AI\\_safety\\_assurance](https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/step/roadmap_for_AI_safety_assurance)



- Gharehbaghi, V. R. et al. (2022). A Critical Review on Structural Health Monitoring: Definitions, Methods, and Perspectives. *Arch Computat Methods Eng*, 29(1), 22-35.
- Khalaf, D. R., & Hamam, R. S. (2024). Structural health monitoring of aircraft through prediction of delamination using machine learning. *PeerJ Computer Science*, 10(1), 19-55.
- Plevris, V., & Papazafeiropoulos, G. (2024). AI in Structural Health Monitoring for Infrastructure Maintenance and Safety. *Infrastructures*, 9(12), 2-5.
- Seno, A. H., & Aliabadi, M. H. F. (2022). Impact Localisation in Composite Plates of Different Stiffness Impactors under Simulated Environmental and Operational Conditions. *Sensors*, 19(1), 36-59.
- Silva, C. L. C. (2014). Monitoramento da Saúde Estrutural na Aviação Comercial (Structural Health Monitoring in Commercial Aviation). *University of Taubate*, 1(1), 1-5.
- Tschöke, K. et al. (2021). Feasibility of Model-Assisted Probability of Detection Principles for Structural Health Monitoring Systems based on Guided Waves for Fibre-Reinforced Composites. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, 68(1), 3156-3173.
- Yue, N., & Aliabadi, M. H. (2021). Hierarchical approach for uncertainty quantification and reliability assessment of guided wave-based structural health monitoring. *Structural Health Monitoring*, 20(5), 2274-2299