EJ NEWS – Revista Acadêmica da EJ Faculdade de Aviação Civil – Itápolis/SP - v. 2, n. 1, 2026, p. 54-70.
*DOI: https://doi.org/10.63656/5z18jw08. ISSN **3085-7678 (online)***

O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AVIAÇÃO: realidade e previsões

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AVIATION: reality and forecasts

Henrique Augusto Calça[1]

Resumo – A inteligência artificial (IA) já está presente na aviação civil, sobretudo na manutenção de aeronaves, em sistemas de apoio aos pilotos e em pesquisas voltadas ao controle de tráfego aéreo. Este artigo examina em que ponto se encontra esse uso e quais desdobramentos são plausíveis nos próximos anos, distinguindo o que já opera de fato daquilo que ainda está no campo das previsões. A pesquisa é qualitativa, exploratória e descritiva, baseada em levantamento bibliográfico e documental em publicações da Agência da União Europeia para a Segurança da Aviação (EASA), da Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (FAA) e da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), de fabricantes e de centros de pesquisa. Os resultados indicam ganhos concretos na manutenção preditiva e na segurança operacional. No Brasil, a ANAC aprovou em 2025 uma condição especial para a certificação de um sistema de alerta da Embraer que emprega redes neurais. As aplicações certificadas, porém, continuam restritas a funções de apoio ao ser humano; a autonomia plena ainda depende de avanços em certificação, confiança dos usuários, segurança de dados e aceitação pública. Conclui-se que a adoção da IA na aviação tende a ser gradual e condicionada à demonstração de que os níveis atuais de segurança serão mantidos ou superados.
Palavras-chave – Inteligência artificial; aviação civil; aprendizado de máquina; segurança de voo; automação.

Abstract – Artificial intelligence (AI) is already present in civil aviation, especially in aircraft maintenance, pilot support systems and air traffic control research. This article examines the current state of this use and the developments that are plausible in the coming years, distinguishing what is already in operation from what remains a forecast. The research is qualitative, exploratory and descriptive, based on a bibliographic and documentary review of publications by the European Union Aviation Safety Agency (EASA), the United States Federal Aviation Administration (FAA) and the Brazilian National Civil Aviation Agency (ANAC), as well as manufacturers and research centers. The results point to concrete gains in predictive maintenance and operational safety. In Brazil, ANAC approved in 2025 a special condition for the certification of an Embraer alerting system that uses neural networks. Certified applications, however, remain limited to human support functions; full autonomy still depends on progress in certification, user trust, data security and public acceptance. The study concludes that the adoption of AI in aviation is likely to be gradual and conditioned on demonstrating that current safety levels will be maintained or improved.
Keywords – Artificial intelligence; civil aviation; machine learning; flight safety; automation.

Introdução

A automação não é novidade na aviação. Piloto automático, computador de gerenciamento de voo e sistema anticolisão entraram nas cabines sob desconfiança e, com o tempo, passaram a fazer parte da rotina das tripulações. A Inteligência Artificial (IA) é o capítulo mais recente dessa trajetória, mas difere do que veio antes em um aspecto essencial.

[1] Graduado em Administração (FACITA – Itápolis/SP); especialista em Marketing Digital (Faculdade Metropolitana, Ribeirão Preto/SP); docente da Faculdade de Tecnologia em Aviação Civil – EJ, Itápolis/SP. Contato: henriquecalca@icloud.com.

Os sistemas automáticos tradicionais obedecem a regras escritas por engenheiros; quando algo sai errado, é possível abrir o código e localizar a instrução responsável. Na IA baseada em aprendizado de máquina, o sistema é treinado com exemplos e passa a reconhecer padrões que ninguém programou de forma explícita. Isso permite automatizar tarefas antes fora de alcance, como identificar uma pista de pouso a partir de imagens de câmera, mas torna muito mais difícil demonstrar que o sistema se comportará corretamente em todas as situações. Na aviação, essa demonstração é obrigatória.

Por muito tempo, o assunto ficou restrito a laboratórios e a apresentações em feiras do setor. O quadro atual é outro. Já existem sistemas com IA certificados e em operação, companhias aéreas usam análise de dados para antecipar falhas e as principais autoridades de aviação, como a Agência da União Europeia para a Segurança da Aviação (EASA) e a Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (*Federal Aviation Administration* – FAA), publicaram documentos específicos sobre o tema (EASA, 2023; FAA, 2024). No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) lançou sua política de IA em 2025 e, no fim daquele ano, aprovou uma condição especial para certificar um sistema da Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. (Embraer) que utiliza redes neurais (ANAC, 2025a, 2025b).

Apesar disso, o debate público ainda oscila entre extremos. Há quem anuncie aviões comerciais sem piloto para daqui a poucos anos e há quem considere qualquer uso de IA incompatível com a segurança de voo. Nenhuma das duas posições descreve bem o que vem acontecendo no setor.

A pergunta que orienta este artigo é: em que estágio, considerando a classificação de níveis da EASA, se encontra o uso da IA na aviação civil, e quais desdobramentos são plausíveis no curto, médio e longo prazo? O objetivo é descrever as principais aplicações em uso, apresentar como as autoridades, inclusive a brasileira, vêm tratando o assunto e discutir as tendências mais prováveis, distinguindo o que já opera de fato do que ainda é previsão.

O tema tem interesse direto para quem trabalha no setor, já que pilotos, mecânicos e controladores vão lidar cada vez mais com esse tipo de tecnologia. Há também a questão da formação: a Boeing (2025) estima que serão necessários 660 mil novos pilotos e 710 mil novos técnicos de manutenção no mundo até 2044, e dificilmente se formará esse contingente sem o apoio de ferramentas digitais mais sofisticadas.

Do ponto de vista metodológico, trata-se de pesquisa qualitativa, exploratória e descritiva, realizada por meio de levantamento bibliográfico e documental. Foram consultados livros e artigos sobre IA e fatores humanos, documentos oficiais da EASA, da FAA e da ANAC, atos normativos brasileiros, comunicados de fabricantes como Airbus, Embraer e Garmin e relatórios do setor. Fatos muito recentes, que ainda não chegaram à literatura acadêmica, foram buscados em veículos especializados em aviação. A análise vai de 2020 a 2026, período em que surgem os primeiros documentos regulatórios e as primeiras certificações envolvendo IA.

Além desta introdução, o texto está dividido em quatro partes: a seção 1 apresenta os conceitos principais; a seção 2, as aplicações atuais; a seção 3, as previsões e os desafios; e a seção 4, as considerações finais.

1 Referencial teórico

1.1 O que é inteligência artificial

A expressão inteligência artificial ficou associada a um encontro de pesquisadores realizado em 1956 no Dartmouth College, nos Estados Unidos. O grupo queria investigar se uma máquina poderia simular aspectos da inteligência humana, como aprender e resolver problemas (Russell; Norvig, 2022). Desde então, a área alternou períodos de grande entusiasmo e outros de quase abandono, e a própria definição de IA mudou ao longo do tempo.

Russell e Norvig (2022) tratam a IA a partir da noção de agente: algo que percebe o ambiente e age para alcançar um objetivo da melhor maneira possível. A definição é ampla o bastante para abranger tanto um programa de xadrez quanto um sistema que auxilia o piloto na decisão de arremeter.

A EASA adota uma definição de caráter mais prático. Para a agência, IA é uma tecnologia que, a partir de objetivos definidos por pessoas, produz resultados como previsões, recomendações ou decisões (EASA, 2023). Esse conceito abrange diferentes técnicas, e a que mais tem recebido atenção é o aprendizado de máquina.

No aprendizado de máquina, o engenheiro não escreve cada regra. Ele fornece ao sistema um grande volume de exemplos, e o sistema ajusta seus parâmetros até reproduzir o comportamento esperado. As redes neurais, modelos inspirados de maneira bastante simplificada no funcionamento do cérebro, são a ferramenta mais

usada para isso e estão por trás de avanços como o reconhecimento de imagens e de voz (Russell; Norvig, 2022).

Para a aviação, uma distinção tem peso especial. A FAA diferencia os sistemas que continuam aprendendo depois de entrar em serviço daqueles cujo aprendizado se encerra antes disso (FAA, 2024). No segundo caso, o modelo é "congelado" e só muda quando uma nova versão é aprovada. Como passa a se comportar sempre da mesma forma, pode ser testado como qualquer outro equipamento, o que simplifica bastante a certificação. Já um sistema que continuasse aprendendo em operação seria muito mais difícil de controlar, e ainda não há método aceito para certificá-lo.

1.2 Automação e o fator humano

A IA chega a uma cabine que já acumulou muita experiência, algumas vezes adquirida em acidentes, sobre o que acontece quando parte do trabalho do piloto é transferida para a máquina.

Uma das referências clássicas sobre o assunto é o artigo de Bainbridge (1983) sobre as ironias da automação. A autora resume o problema da seguinte forma: "quanto mais avançado for um sistema de controle, mais crucial pode ser a contribuição do operador humano" (Bainbridge, 1983, p. 775, tradução nossa).[2] A automação tende a ficar com as tarefas fáceis e repetitivas e a deixar para o ser humano as situações difíceis e imprevistas. Acontece que, depois de horas apenas observando o sistema trabalhar, o operador está menos preparado para agir justamente quando precisa.

Quem voou em aeronaves automatizadas conhece bem essa situação, e o autor deste trabalho, que foi tripulante na Passaredo (atual Voepass), não é exceção. Em cruzeiro, com o piloto automático acoplado, o voo transcorre com tranquilidade. A dificuldade surge quando algo sai do normal e o piloto tem poucos segundos para entender o que o sistema estava fazendo e por quê.

Endsley (1995) contribuiu para explicar esse fenômeno com o conceito de consciência situacional, que envolve três níveis: perceber os elementos do ambiente, compreender o que eles significam e projetar o que deve acontecer em seguida. Com uma automação mal projetada, o piloto pode perder essa consciência sem se dar conta, e é nesse ponto que o risco aumenta.

[2] "the more advanced a control system is, so the more crucial may be the contribution of the human operator" (Bainbridge, 1983, p. 775).

No caso da IA, a dificuldade é maior. Um sistema de aprendizado de máquina pode chegar à resposta certa sem que seja simples explicar o caminho percorrido. Se o piloto não compreende a lógica da recomendação, tende a confiar demais ou de menos no sistema, e as duas situações são problemáticas. Por esse motivo, a capacidade de explicar as decisões, chamada de explicabilidade, tornou-se um dos pontos centrais dos documentos regulatórios (EASA, 2024).

1.3 Como as autoridades estão tratando o tema

As autoridades de aviação têm sido cautelosas, sem se opor à tecnologia. A EASA publicou seu primeiro roteiro sobre IA em 2020 e uma versão revisada em 2023, na qual defende uma abordagem centrada no ser humano: a tecnologia deve apoiar as pessoas, e não substituí-las sem controle (EASA, 2023).

A contribuição mais conhecida da agência europeia é a classificação das aplicações de IA em níveis, conforme o grau de autoridade atribuído ao sistema e o papel que permanece com as pessoas. O Quadro 1 resume essa classificação.

Quadro 1 – Níveis de aplicação da IA na aviação segundo a EASA

Nível	Denominação	Papel da IA	Papel do ser humano
1A	Aumento da capacidade humana	Apoia a aquisição e o processamento de informações	Mantém todas as decisões e ações
1B	Assistência cognitiva ao ser humano	Apoia a tomada de decisão com análises e sugestões	Decide e executa a ação
2A	Cooperação entre ser humano e IA	Executa tarefas e decisões automáticas predefinidas	Supervisiona e pode intervir a qualquer momento
2B	Colaboração entre ser humano e IA	Compartilha objetivos e toma iniciativa na execução de tarefas	Supervisiona e pode intervir
3A	Automação avançada com salvaguarda humana	Decide e age de forma autônoma	Supervisiona e intervém quando necessário
3B	Automação avançada sem salvaguarda humana	Decide e age com autonomia plena	Sem supervisão em tempo real

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em EASA (2023, 2024).

Em 2024, a EASA publicou orientações para os níveis 1 e 2, abordando temas como a qualidade dos dados de treinamento, a explicabilidade e as questões éticas (EASA, 2024). O nível 3, em que o sistema atua com total autonomia, permanece como horizonte futuro.

Nos Estados Unidos, a FAA divulgou seu roteiro sobre IA em 2024. O documento admite que o setor ainda não dispõe de um método consolidado para garantir a segurança desses sistemas e propõe um avanço gradual, começando pelas aplicações de menor risco e aproveitando ao máximo as normas existentes. Entre os princípios adotados está o de não tratar a IA como se fosse uma pessoa, mas como um algoritmo, sujeito às mesmas exigências de qualquer outro equipamento aeronáutico (FAA, 2024).

Os documentos das duas agências convergem. Nenhuma delas propõe mudança brusca; ambas preveem ampliar a autonomia dos sistemas à medida que eles demonstrem, na prática, que são seguros.

1.4 As principais formas de aprendizado de máquina

Para acompanhar as aplicações descritas adiante, convém apresentar brevemente as três formas mais comuns de aprendizado de máquina (Russell; Norvig, 2022).

A primeira é o aprendizado supervisionado, em que o sistema recebe exemplos acompanhados da resposta correta, como milhares de registros de voo nos quais se sabe se houve ou não saída de pista. O modelo aprende a relação entre os dados e o resultado e passa a fazer previsões para casos novos. É a abordagem típica dos sistemas de alerta baseados em redes neurais, como o Sistema de Consciência e Alerta de Saída de Pista (*Runway Overrun Awareness and Alerting System* – ROAAS), da Embraer, apresentado na seção 2.2.

A segunda é o aprendizado não supervisionado. Os dados chegam sem resposta prévia, e o sistema procura por conta própria agrupamentos e padrões. Na manutenção, essa abordagem ajuda a detectar comportamentos anômalos em componentes mesmo quando não se sabe exatamente o que procurar.

A terceira é o aprendizado por reforço, no qual o sistema aprende por tentativa e erro, recebendo recompensas pelos acertos e penalidades pelos erros. A técnica é muito usada em jogos e simulações e aparece em pesquisas sobre controle de tráfego aéreo, nas quais um programa pode treinar milhares de vezes em um espaço aéreo virtual sem expor ninguém a risco.

Cada abordagem tem vantagens e limitações, mas todas dependem de dados de boa qualidade. Um sistema treinado com dados incompletos ou pouco

representativos aprende de forma equivocada, e na aviação esse tipo de erro pode ter consequências graves.

2 Onde a IA já está sendo usada

2.1 Manutenção

A manutenção é hoje a área em que a IA apresenta resultados mais claros. Uma aeronave moderna registra milhares de parâmetros a cada voo, como temperaturas, pressões e vibrações. Programas de aprendizado de máquina analisam esses dados em busca de sinais que costumam anteceder uma pane, o que permite substituir a peça antes da falha e evitar que o avião fique indisponível no solo ou que um voo seja cancelado.

O exemplo mais conhecido é a plataforma Skywise, da Airbus. Segundo o fabricante, cerca de 11.600 aeronaves estavam conectadas à plataforma no fim de 2024, e o serviço de monitoramento preditivo da frota era utilizado por aproximadamente 40 clientes, que somavam cerca de 1.500 aviões. A companhia britânica easyJet estimou ter evitado 44 cancelamentos de voo apenas em julho de 2024 graças à ferramenta (Airbus, 2024).

Por serem números divulgados pela própria Airbus, pedem alguma cautela, mas ilustram bem o tipo de ganho envolvido. A IA não substitui o mecânico; o que muda é o momento da intervenção. Em vez de esperar a falha ou trocar peças apenas pelo tempo de uso, a manutenção passa a levar em conta o estado real de cada componente.

Esses sistemas, além disso, operam fora da cabine. Eles geram alertas e recomendações que depois são avaliados por profissionais habilitados, o que os coloca no nível 1 da classificação da EASA. As exigências de certificação são menores, e isso ajuda a explicar por que se difundiram mais depressa do que as aplicações embarcadas.

2.2 Na cabine

Na cabine, a IA tem aparecido principalmente em duas frentes: sistemas de alerta, que ajudam o piloto a perceber riscos, e sistemas que “enxergam” por meio de câmeras. Há ainda um caso de autonomia já certificada que, embora não empregue IA, ajuda a entender a direção em que essa tecnologia caminha.

No Brasil, o exemplo de maior interesse é o ROAAS, da Embraer, sistema que alerta os pilotos quando há risco de a aeronave não conseguir parar dentro dos limites da pista durante o pouso. A ANAC descreveu o sistema nos seguintes termos:

> O ROAAS da Embraer foi projetado para emitir um alerta, em tempo real, que avisa aos pilotos sobre os limites da pista. [...] O sistema utiliza IA - nível 1, limitado ao fornecimento de avisos ao piloto, sem intervenção automática no comando da aeronave. Para garantir a viabilidade de processamento de dados pelos sistemas, a Embraer adotou redes neurais do tipo *Multi-Layer Perceptron* (MLP) em versão 'congeladas' - um sistema que permite cálculos rápidos e precisos, com baixo consumo de memória e de processamento, gerando as informações para que o ROAAS emita os alertas em tempo real (ANAC, 2025c).

A passagem revela uma escolha cuidadosa. A rede neural é congelada após o treinamento, como discutido na seção 1.1, e o sistema limita-se a alertar o piloto, sem atuar nos comandos; a decisão final continua sendo humana. Como as saídas de pista estão entre as ocorrências mais frequentes na aviação comercial, trata-se de uma aplicação relevante e, ao mesmo tempo, mais viável de certificar.

Na frente da visão computacional, a Airbus concluiu em 2020 o projeto de Taxiamento, Decolagem e Pouso Autônomos (*Autonomous Taxi, Take-Off and Landing* – ATTOL), no qual um A350-1000 realizou taxiamento, decolagem e pouso de forma autônoma, guiado por câmeras e por *software* de reconhecimento de imagens. Foram mais de 500 voos de teste, dos quais cerca de 450 serviram para coletar imagens e aperfeiçoar os algoritmos (Airbus, 2020). O número dá uma dimensão da quantidade de dados que esse tipo de sistema exige. Eram voos experimentais, e a própria Airbus não apresenta o projeto como um passo para retirar os pilotos da cabine.

O caso de autonomia certificada mencionado acima é o Garmin Autoland, e convém esclarecer desde já que ele não é um sistema de IA. Trata-se de automação convencional: algoritmos baseados em regras que combinam dados da aeronave, de meteorologia, de terreno e das pistas disponíveis com o piloto automático e o controle automático de potência. A FAA certificou o sistema em 2020, inicialmente no Piper M600. Em uma emergência, ele pode ser acionado por um botão, inclusive por um passageiro, ou entrar em funcionamento automaticamente se detectar que o piloto não está respondendo. A partir daí, escolhe o aeroporto mais adequado, desvia de terreno e de mau tempo, comunica o controle de tráfego aéreo e pousa a aeronave sem ninguém nos comandos (Garmin, 2020).

Durante cinco anos, o *autoland* foi usado apenas em testes e demonstrações. Isso mudou em 20 de dezembro de 2025, quando um Beechcraft King Air 200 que havia decolado de Aspen, no Colorado (EUA), sofreu perda de pressurização a cerca de 23 mil pés. Os dois pilotos colocaram as máscaras de oxigênio e optaram por deixar que o sistema conduzisse a aeronave até o pouso no aeroporto Rocky Mountain Metropolitan, escolhido automaticamente. Ninguém ficou ferido (Moore, 2025).

Um aspecto desse episódio merece destaque: os pilotos não estavam incapacitados. Eles decidiram transferir a tarefa ao sistema em um momento de alta carga de trabalho. Mesmo sem envolver IA, o caso mostrou na prática o tipo de divisão de tarefas entre pessoas e máquina que a EASA (2024) prevê para o nível 2 dos sistemas inteligentes.

O Autoland aparece neste artigo por funcionar como precedente. Ele é hoje o exemplo real mais avançado de uma máquina que assume, de forma certificada, decisões antes exclusivas do piloto, como a escolha do local de pouso. E foi certificado justamente por ser previsível, já que cada decisão segue regras conhecidas e pode ser testada. É essa previsibilidade que os sistemas de aprendizado de máquina ainda precisam demonstrar para chegar ao mesmo patamar, como se discute na seção 3.

2.3 Controle de tráfego aéreo

O controle de tráfego aéreo é um campo promissor para a IA, pois envolve decisões rápidas, muitas variáveis simultâneas e a necessidade permanente de prever a posição de cada aeronave nos minutos seguintes. Ainda assim, as aplicações estão sobretudo em fase de pesquisa.

Um dos projetos mais avançados é o Bluebird, no Reino Unido, parceria entre os Serviços Nacionais de Tráfego Aéreo (*National Air Traffic Services* – NATS), empresa responsável pelo controle de tráfego aéreo britânico, a Universidade de Exeter e o Instituto Alan Turing. O projeto construiu uma réplica digital do espaço aéreo do país, o chamado gêmeo digital, e desenvolve agentes de IA capazes de controlar o tráfego em um setor simulado. Em 2023, foram realizados ensaios em que controladores e instrutores da NATS acompanharam e avaliaram o desempenho desses agentes (Alan Turing Institute, [20--]).

A condução do projeto reflete a cultura de segurança da aviação: antes de qualquer uso real, o sistema passa por uma longa etapa de comparação com o

trabalho de profissionais. Ao que tudo indica, no controle de tráfego a IA chegará primeiro como auxiliar do controlador.

2.4 O Brasil nesse cenário

O Brasil ocupa posição de destaque no tema, em boa parte por abrigar um dos maiores fabricantes de aeronaves do mundo. Em março de 2025, a ANAC publicou sua Estratégia e Política de Inteligência Artificial, que estabelece princípios, estrutura de governança e metas para o uso de IA na própria agência. Na apresentação do documento, o então diretor-presidente Roberto José Silveira Honorato afirmou que "o trabalho foi pensado para estabelecer como a Agência pode desenvolver a inteligência artificial para melhorar seus serviços e para dar maior amplitude à nossa força de trabalho" (ANAC, 2025a).

O passo mais significativo veio no fim do ano. Em dezembro de 2025, a ANAC aprovou a Resolução nº 784, que estabelece uma condição especial para certificar o uso de IA no ROAAS da Embraer, aplicável aos modelos EMB-550 e ERJ 190-300/-400 (ANAC, 2025b). Condição especial é um conjunto de requisitos adicionais que a autoridade define quando uma tecnologia nova não está coberta pelas normas vigentes. Entre as exigências estão a descrição do conceito de operação do sistema, a classificação do nível de IA e avaliações de segurança operacional e de segurança da informação. Segundo a ANAC, a medida coloca o Brasil entre os países que lideram a discussão sobre a certificação de sistemas aeronáuticos com IA (ANAC, 2025c).

O caminho brasileiro se assemelha ao de outros países: em vez de uma lei abrangente que resolva tudo de uma vez, as regras são construídas caso a caso, à medida que surgem projetos concretos.

2.5 Outras aplicações e o que ainda é promessa

Fora dessas áreas, a IA está presente em diversas atividades ligadas à aviação, muitas delas fora da vista do passageiro. Companhias aéreas usam ferramentas de análise de dados para planejar rotas, prever demanda, definir tarifas e montar escalas de tripulação. Aeroportos testam sistemas para estimar filas, organizar o fluxo de passageiros e acompanhar a movimentação de aeronaves no pátio. Na meteorologia, modelos de previsão cada vez mais sofisticados apoiam o planejamento dos voos.

Essas aplicações não atuam diretamente no controle da aeronave e, por isso, costumam ser adotadas mais rapidamente e com menos exigências de certificação do que os sistemas embarcados. É provavelmente por elas que a maior parte dos profissionais da aviação terá o primeiro contato com a IA.

É preciso, porém, distinguir o que já funciona do que ainda é promessa. Muitas notícias sobre IA na aviação tratam projetos em teste como se já estivessem em operação, e comunicados de empresas nem sempre deixam clara essa diferença. Para quem acompanha o tema, uma pergunta simples ajuda a filtrar boa parte do exagero: o sistema já foi certificado por alguma autoridade, está em fase de testes ou ainda é apenas um conceito?

3 Previsões e desafios

A partir do material levantado, as tendências podem ser organizadas em três horizontes. Não se trata de previsões exatas, mas de estimativas apoiadas nos documentos das autoridades, nos projetos em andamento e nas dificuldades já identificadas. O Quadro 2, ao final da seção 3.3, sintetiza essa discussão.

3.1 Até 2030

No curto prazo, o cenário mais provável é a expansão das aplicações de nível 1, que auxiliam o ser humano sem retirar dele a decisão. Esse é o caminho previsto pela EASA e pela FAA, que pretendem consolidar primeiro as regras para os usos de menor risco (EASA, 2023; FAA, 2024). Devem surgir mais sistemas de alerta semelhantes ao ROAAS, e a manutenção preditiva tende a chegar também a operadores menores.

O treinamento também deve passar por mudanças. Ao divulgar sua projeção de demanda por pilotos e técnicos, a Boeing (2025) apontou a IA e as tecnologias de realidade virtual e mista como recursos para aprimorar a formação desses profissionais. Simuladores capazes de analisar o desempenho de cada aluno, identificar suas dificuldades e adaptar o treinamento individualmente são um desdobramento plausível.

Fora do campo da IA, sistemas de pouso automático de emergência como o Autoland devem ser instalados em mais modelos de aeronaves, e a experiência acumulada com eles deve servir de base para os sistemas inteligentes que virão depois. Já os assistentes de texto baseados em IA generativa, que se popularizaram

em outros setores, devem permanecer por ora em tarefas administrativas, como atendimento ao cliente e organização de documentos, distantes das funções diretamente ligadas à segurança de voo.

3.2 De 2030 a 2035

Entre 2030 e 2035, é esperado o surgimento das primeiras aplicações de nível 2, em que o sistema toma algumas decisões por conta própria, sempre sob supervisão humana. Na cabine, isso pode significar assistentes que ajudam a executar listas de verificação, monitoram os sistemas da aeronave e sugerem alternativas em situações anormais, com o piloto acompanhando e podendo intervir a qualquer momento.

No controle de tráfego aéreo, ferramentas hoje restritas a simuladores, como as do projeto Bluebird, podem começar a apoiar controladores na operação real. A decisão continuaria com o controlador, mas com um suporte mais sofisticado do que o atual.

A discussão sobre operações com um único piloto na cabine em determinadas fases, como o cruzeiro de voos longos, também deve ganhar força. Nesse caso, a tecnologia talvez nem seja o principal obstáculo. A dificuldade maior estará em demonstrar a autoridades, sindicatos e passageiros que o nível de segurança seria igual ou superior ao atual.

3.3 Depois de 2035

Mais adiante, podem surgir aplicações de nível 3, com autonomia plena. Os primeiros usos devem ocorrer no transporte de carga, em aeronaves não tripuladas e em novos veículos de mobilidade aérea urbana operando em ambientes controlados. O transporte de passageiros em aeronaves de grande porte deve ficar para uma etapa posterior.

O Autoland, apresentado na seção 2.2, serve como referência para medir a distância que ainda falta. Em emergências, ele já cumpre parte do que se espera de um sistema de nível 3: escolhe o destino, conduz o voo e pousa sem ajuda. Faz isso, porém, com regras fixas, que podem ser verificadas uma a uma. Para que um sistema baseado em aprendizado de máquina obtenha autorização semelhante, será necessário demonstrar que ele é igualmente previsível e confiável, mesmo tendo aprendido seu comportamento a partir de dados. Boa parte do percurso que a IA ainda tem pela frente está nessa demonstração.

Um avião comercial de passageiros sem piloto continua sem data prevista, e as barreiras não são apenas técnicas. Estão em jogo a aceitação do público, a definição de responsabilidades em caso de acidente e a proteção contra ataques cibernéticos. Pelo que se observa hoje, o mais realista é esperar cabines com cada vez mais recursos de assistência, ainda com pilotos a bordo. O Quadro 2 sintetiza as previsões apresentadas nas seções 3.1 a 3.3, por horizonte temporal.

Quadro 2 – Síntese das previsões para a IA na aviação por horizonte temporal

Horizonte	**Tendências mais prováveis**	**Nível predominante**	**Principais condicionantes**
Curto prazo (até 2030)	Alertas embarcados com redes neurais congeladas; manutenção preditiva integrada; IA no treinamento; difusão do pouso automático de emergência (automação convencional); IA generativa em funções administrativas	Nível 1	Consolidação das orientações regulatórias; qualidade dos dados
Médio prazo (2030 a 2035)	Assistentes de cabine baseados em colaboração humano-IA; apoio ao controlador em operação real; debate sobre redução de tripulação no cruzeiro	Nível 2	Explicabilidade; fatores humanos; demonstração de segurança equivalente
Longo prazo (após 2035)	Operações de carga e não tripuladas com automação avançada; mobilidade aérea avançada; cabines progressivamente mais assistidas	Nível 3 (nichos)	Aceitação social; responsabilidade jurídica; cibersegurança; harmonização internacional

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

3.4 Os principais desafios

Essas previsões dependem da solução de alguns problemas ainda em aberto.

O primeiro é a certificação. As normas atuais foram concebidas para sistemas cujo comportamento pode ser rastreado até uma linha de código. No aprendizado de máquina, o comportamento decorre dos dados usados no treinamento. Por isso a EASA (2024) passou a exigir atenção especial à qualidade desses dados, que precisam representar bem as situações reais, inclusive as raras. A FAA (2024), por sua vez, reconhece que o método para essa garantia ainda está em construção.

O segundo é a confiança. Pilotos, mecânicos e controladores só farão bom uso de uma recomendação da IA se entenderem, ao menos em linhas gerais, de onde ela vem. Um sistema que funcione como “caixa-preta” dificilmente será aceito, ainda que acerte na maior parte das vezes.

Há também o risco de perda de proficiência. A advertência de Bainbridge (1983) continua válida: se a máquina faz quase tudo, o piloto voa menos manualmente e pode perder prática justamente para as situações raras em que precisará assumir o controle. Os programas de treinamento terão de preservar essas habilidades e, ao mesmo tempo, preparar o profissional para supervisionar sistemas inteligentes, competência diferente da pilotagem propriamente dita.

A segurança dos dados é outro ponto sensível, porque um sistema que aprende com dados pode ser induzido ao erro por dados incorretos ou manipulados. Não por acaso, tanto a EASA (2023) quanto a condição especial brasileira incluem a segurança da informação entre as exigências (ANAC, 2025b).

Por fim, há a necessidade de harmonização internacional. Uma aeronave certificada em um país opera no mundo todo, e regras muito divergentes entre autoridades podem atrasar projetos e elevar custos. Nesse aspecto, a semelhança entre as abordagens da EASA, da FAA e da ANAC é um sinal positivo.

3.5 O que muda para os profissionais da aviação

Sempre que se fala em IA, surge a preocupação com a substituição de pessoas. Na aviação, o cenário analisado neste trabalho aponta em outra direção, ao menos nos próximos anos. A escassez de profissionais projetada pela Boeing (2025) indica que o setor precisará de mais gente, e não de menos. O que deve mudar é a natureza do trabalho.

Para os pilotos, a função de supervisão tende a ganhar importância. Pilotar bem continuará sendo essencial, mas será preciso também entender como funcionam os sistemas de apoio, perceber quando estão errando e saber o momento de assumir o controle. Isso reforça a importância do treinamento em fatores humanos e da prática regular de voo manual, justamente para evitar o problema descrito por Bainbridge (1983).

Para mecânicos e técnicos de manutenção, a mudança deve ser ainda mais perceptível. Com a manutenção preditiva, parte da rotina passa a envolver a interpretação de alertas e relatórios gerados por sistemas de análise de dados. O conhecimento técnico da aeronave segue indispensável, pois é o profissional quem confirma se o alerta procede e decide o que fazer, mas a familiaridade com dados e ferramentas digitais tende a se tornar parte do ofício.

Para os controladores de tráfego aéreo, a IA deve chegar como ferramenta de apoio, ajudando a antecipar conflitos e a organizar o fluxo nos períodos de maior movimento. Pelo que indicam os projetos atuais, a responsabilidade continuará com o controlador.

As escolas e os cursos de formação também serão afetados. As instituições de ensino aeronáutico terão de incluir nos currículos conteúdos sobre IA, análise de dados e interação entre pessoas e sistemas automatizados, sem abrir mão da base técnica tradicional. Quem está se formando agora vai passar boa parte da carreira trabalhando ao lado desses sistemas.

Considerações finais

Este artigo buscou identificar em que estágio, segundo a classificação de níveis da EASA, se encontra o uso da inteligência artificial na aviação civil e quais desdobramentos são plausíveis no curto, médio e longo prazo. A IA já faz parte da realidade do setor, mas ainda concentrada em funções de apoio às pessoas: as aplicações certificadas identificadas neste estudo situam-se no nível 1, e os níveis 2 e 3 permanecem em pesquisa ou em orientação regulatória.

Na manutenção, milhares de aeronaves já são monitoradas por sistemas que antecipam falhas. Na cabine, há sistemas de alerta com redes neurais certificados, como o ROAAS da Embraer, e testes avançados com visão computacional. Paralelamente, o Autoland, mesmo sem empregar IA, mostrou em uma emergência real que a aviação já aceita máquinas tomando decisões críticas quando elas são previsíveis e bem testadas. No controle de tráfego aéreo, as pesquisas avançam, mas ainda distantes da operação. O Brasil participa desse movimento de maneira relevante, com a política de IA da ANAC e com a condição especial criada para certificar o sistema da Embraer.

Quanto ao futuro, os indícios apontam para uma evolução gradual: no curto prazo, até 2030, a ampliação dos sistemas de apoio (nível 1); no médio prazo, entre 2030 e 2035, uma colaboração mais estreita entre pessoas e máquinas (nível 2); e, no longo prazo, após 2035, autonomia plena (nível 3) em nichos específicos, como carga e aeronaves não tripuladas. O avião de passageiros sem piloto segue como possibilidade distante.

O ritmo de adoção da IA na aviação dependerá menos da velocidade da tecnologia, que é alta, do que da capacidade de demonstrar que esses sistemas são

pelo menos tão seguros quanto os atuais. A cautela das autoridades, nesse contexto, é parte do que viabiliza a inovação em um setor no qual o erro custa caro. Para quem conhece a cabine por dentro, essa postura faz sentido: uma ferramenta só ganha a confiança da tripulação depois de mostrar que funciona.

Como limitação, o estudo baseou-se em pesquisa bibliográfica e documental, e parte dos dados provém dos próprios fabricantes. Pesquisas futuras poderiam ouvir pilotos, mecânicos e controladores brasileiros sobre como percebem essas tecnologias e o quanto confiariam nelas no dia a dia.

Referências

AIRBUS. **Airbus concludes ATTOL with fully autonomous flight tests**. Toulouse: Airbus, 29 jun. 2020. Disponível em: https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2020-06-airbus-concludes-attol-with-fully-autonomous-flight-tests. Acesso em: 26 ago. 2026.

AIRBUS. **Keeping the fleet flying**. Toulouse: Airbus, 22 out. 2024. Disponível em: https://www.aircraft.airbus.com/en/newsroom/news/2024-10-keeping-the-fleet-flying. Acesso em: 1 set. 2026.

ALAN TURING INSTITUTE. **Project Bluebird**. London: The Alan Turing Institute, [20--]. Disponível em: https://www.turing.ac.uk/science-innovation/defence-and-national-security/project-bluebird. Acesso em: 12 set. 2026.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Anac publica Política de Inteligência Artificial da instituição**. Brasília, DF: ANAC, 20 mar. 2025a. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2025/anac-publica-politica-de-inteligencia-artificial-da-instituicao. Acesso em: 25 ago. 2026.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Resolução nº 784, de 11 de dezembro de 2025. Aprova Condição Especial aplicável ao uso de inteligência artificial e aprendizado de máquina (AI/ML) para instalação do sistema ROAAS em aeronaves Embraer. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 158, 15 dez. 2025b.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Certificação de aeronaves com IA ganha marco regulatório da Anac**. Brasília, DF: ANAC, 29 dez. 2025c. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2025/certificacao-de-aeronaves-com-ia-ganha-marco-regulatorio-da-anac. Acesso em: 26 ago. 2026.

BAINBRIDGE, L. Ironies of automation. **Automatica**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 775-779, 1983. DOI: https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8. Acesso em: 1 set. 2026.

BOEING. **Pilot and technician outlook 2025-2044**. [S. l.]: Boeing, 2025. Disponível em: https://www.boeing.com/content/dam/boeing/v2/products/pilot-technician-outlook/pdf/2025-pto-download.pdf. Acesso em: 1 set. 2026.

EASA. European Union Aviation Safety Agency. **Artificial intelligence roadmap 2.0**: a human-centric approach to AI in aviation. Cologne: EASA, 2023. Disponível em:

https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-roadmap-20. Acesso em: 20 ago. 2026.

EASA. European Union Aviation Safety Agency. **EASA concept paper**: guidance for level 1 & 2 machine learning applications: issue 02. Cologne: EASA, 2024. Disponível em: https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-concept-paper-issue-2. Acesso em: 20 ago. 2026.

ENDSLEY, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. **Human Factors**, Santa Monica, v. 37, n. 1, p. 32-64, 1995. DOI: https://doi.org/10.1518/001872095779049543. Acesso em: 28 set. 2026.

FAA. Federal Aviation Administration. **Roadmap for artificial intelligence safety assurance**: version I. Washington, DC: FAA, 2024. Disponível em: https://www.faa.gov/media/82891. Acesso em: 25 ago. 2026.

GARMIN. **Garmin Autoland achieves FAA certification for general aviation aircraft**. Olathe: Garmin, 18 maio 2020. Disponível em: https://www.garmin.com/en-US/newsroom/press-release/aviation/2020-garmin-autoland-achieves-faa-certification-for-general-aviation-aircraft/. Acesso em: 4 set. 2026.

MOORE, J. King Air autolands in Colorado. **AOPA**, Frederick, 22 dez. 2025. Disponível em: https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2025/december/22/king-air-autolands-in-colorado. Acesso em: 4 set. 2026.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Inteligência artificial**: uma abordagem moderna. 4. ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2022.