

I INTERNATIONAL EXPERIENCE PERUGIA - ITÁLIA

**SUSTENTABILIDADE: TRANSFORMANDO
SOCIEDADES PARA UM FUTURO VERDE II**

VLADIMIR BREGA FILHO

LISLENE LEDIER AYLON

Todos os direitos reservados e protegidos. Nenhuma parte destes anais poderá ser reproduzida ou transmitida sejam quais forem os meios empregados sem prévia autorização dos editores.

Diretoria - CONPEDI

Presidente - Profa. Dra. Samyra Haydêe Dal Farra Naspolini - FMU - São Paulo

Diretor Executivo - Prof. Dr. Orides Mezzaroba - UFSC - Santa Catarina

Vice-presidente Norte - Prof. Dr. Jean Carlos Dias - Cesupa - Pará

Vice-presidente Centro-Oeste - Prof. Dr. José Querino Tavares Neto - UFG - Goiás

Vice-presidente Sul - Prof. Dr. Leonel Severo Rocha - Unisinos - Rio Grande do Sul

Vice-presidente Sudeste - Profa. Dra. Rosângela Lunardelli Cavallazzi - UFRJ/PUCRio - Rio de Janeiro

Vice-presidente Nordeste - Prof. Dr. Raymundo Juliano Feitosa - UNICAP - Pernambuco

Representante Discente: Prof. Dr. Abner da Silva Jaques - UPM/UNIGRAN - Mato Grosso do Sul

Conselho Fiscal:

Prof. Dr. José Filomeno de Moraes Filho - UFMA - Maranhão

Prof. Dr. Caio Augusto Souza Lara - SKEMA/ESDHC/UFMG - Minas Gerais

Prof. Dr. Valter Moura do Carmo - UFERSA - Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Fernando Passos - UNIARA - São Paulo

Prof. Dr. Edinilson Donisete Machado - UNIVEM/UENP - São Paulo

Secretarias

Relações Institucionais:

Prof. Dra. Claudia Maria Barbosa - PUCPR - Paraná

Prof. Dr. Heron José de Santana Gordilho - UFBA - Bahia

Profa. Dra. Daniela Marques de Moraes - UNB - Distrito Federal

Comunicação:

Prof. Dr. Robison Tramontina - UNOESC - Santa Catarina

Prof. Dr. Liton Lanes Pilau Sobrinho - UPF/Univali - Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Lucas Gonçalves da Silva - UFS - Sergipe

Relações Internacionais para o Continente Americano:

Prof. Dr. Jerônimo Siqueira Tybusch - UFSM - Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Paulo Roberto Barbosa Ramos - UFMA - Maranhão

Prof. Dr. Felipe Chiarello de Souza Pinto - UPM - São Paulo

Relações Internacionais para os demais Continentes:

Profa. Dra. Gina Vidal Marcilio Pompeu - UNIFOR - Ceará

Profa. Dra. Sandra Regina Martini - UNIRITTER / UFRGS - Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Maria Claudia da Silva Antunes de Souza - UNIVALI - Santa Catarina

Educação Jurídica

Profa. Dra. Viviane Coêlho de Séllos Knoerr - Unicuritiba - PR

Prof. Dr. Rubens Beçak - USP - SP

Profa. Dra. Livia Gaigher Bosio Campello - UFMS - MS

Eventos:

Prof. Dr. Yuri Nathan da Costa Lannes - FDF - São Paulo

Profa. Dra. Norma Sueli Padilha - UFSC - Santa Catarina

Prof. Dr. Juraci Mourão Lopes Filho - UNICHRISTUS - Ceará

Comissão Especial

Prof. Dr. João Marcelo de Lima Assafim - UFRJ - RJ

Profa. Dra. Maria Creusa De Araújo Borges - UFPB - PB

Prof. Dr. Antônio Carlos Diniz Murta - Fumec - MG

Prof. Dr. Rogério Borba - UNIFACVEST - SC

S964

Sustentabilidade: Transformando Sociedades Para Um Futuro Verde II [Recurso eletrônico on-line] organização CONPEDI

Coordenadores: Lislene Ledier Aylon, Vladimir Brega Filho. – Florianópolis: CONPEDI, 2025.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-5274-089-2

Modo de acesso: www.conpedi.org.br em publicações

Tema: Inteligência Artificial e Sustentabilidade na Era Transnacional

1. Direito – Estudo e ensino (Pós-graduação) – Encontros Internacionais. 2. Sustentabilidade. 3. Transformando Sociedades. I International Experience Perugia – Itália. (1: 2025 : Perugia, Itália).

CDU: 34



I INTERNATIONAL EXPERIENCE PERUGIA - ITÁLIA

SUSTENTABILIDADE: TRANSFORMANDO SOCIEDADES PARA UM FUTURO VERDE II

Apresentação

A coletânea "Sustentabilidade: "Transformando Sociedades Para Um Futuro Verde II" vai muito além de uma compilação de artigos, configurando-se como um verdadeiro mapa de visões e análises sobre as problemáticas mais prementes que moldam o futuro do nosso planeta e das sociedades. Em um cenário global cada vez mais interconectado e diante da eminente crise climática e social, esta obra apresenta caminhos para a compreensão e a construção de um mundo sustentável. Os temas são dos mais variados, mas todos tem o fio conductor relacionado à sustentabilidade do planeta.

Um tema dos mais visíveis é a gestão de resíduos sólidos. Dentro desse tema, Heron José de Santana Gordilho, Lara Brito de Almeida Domigues Neves Calmon Borges e Thainá Lima da Fonseca Neves trazem uma análise crítica da Lei Municipal nº 9.817/2024 de Salvador, que trata especificamente da gestão de resíduos sólidos em Salvador. A discussão sobre os desafios urbanos relativos à sustentabilidade, passa pelos artigos de Elcio Nacur Rezende, Izabella Camila Andrade e Luzia Maria Rocha Vogado, onde os autores exploram com perspicácia os impactos ambientais da urbanização desordenada, desde a poluição até a perda de biodiversidade, e a centralidade da regularização fundiária como um instrumento não apenas de justiça social, mas de organização do território.

Outro tema explorado na coletânea é a economia verde, Rogerio Borba, Bruna Kleinkauf Machado e Mimon Peres Medeiros Neto apontam os paradoxos e as tensões inerentes a esse novo paradigma, questionando a compatibilidade entre a compra do "direito de poluir" e a genuína promoção do desenvolvimento regional sustentável na Amazônia. Essa análise crítica desafia a lógica puramente mercantilista, forçando uma reflexão sobre a justiça ambiental e social na alocação de recursos e responsabilidades.

Uma outra questão que emerge da coletânea é a inovação tecnológica não apenas como uma ferramenta auxiliar, mas como um agente transformador na proteção e no monitoramento ambiental. Nesse ponto, Deise Marcelino da Silva, Rachel de Paula Magrini Sanches e Heber Carvalho Pressuto destacam o papel crucial da tecnologia e dos dados massivos na proteção jurídica ambiental, ilustrando com a aplicação de imagens de satélite na fiscalização de incêndios no Pantanal Sul-Matogrossense. Essa abordagem demonstra como a inteligência artificial e o big data podem capacitar os órgãos de controle a atuar com maior precisão e

rapidez. Essa também é tema abordado por Inez Lopes Matos Carneiro de Farias e Gracemerce Camboim Jatobá e Silva quando investigam o monitoramento inteligente das rotas de derramamentos de óleo no mar por meio de satélites e inteligência artificial, destacando a capacidade da tecnologia em mitigar desastres e acelerar respostas emergenciais. Por fim, ainda ligado ao tema tecnologia, Inez Lopes Matos Carneiro de Farias e Ida Geovanna Medeiros da Costa, tratam da aviação civil inteligente, com sua busca por transnacionalidade, sustentabilidade, conectividade e inovação, evidenciando o constante desafio de integrar o avanço tecnológico com a premissa da sustentabilidade.

A obra ainda traz interessantes textos sobre regulação e governança. Elcio Nacur Rezende, Wanderley da Silva e Oziel Mendes de Paiva Junior trazem o tema externalidades ambientais e a indispensável intervenção estatal, revisitando os princípios da prevenção, precaução e responsabilidade civil como pilares normativos para a proteção do meio ambiente.

Ligada ao tema governança corporativa, Josiane Ferreira e Ana Soares Guida debatem as intrincadas relações entre ética e lucro na governança corporativa, apresentando um estudo sobre os compromissos, desafios e contradições relacionadas ao uso de testes em animais, instigando uma reflexão sobre a responsabilidade social das empresas. Ainda dentro de uma análise sobre os marcos regulatórios, Erica Valente Lopes e Tarin Frota Mont`alverne apresentam a relevância das diretivas internacionais para a concepção ecológica na cadeia de valor têxtil europeia, mostrando a busca por metas vinculativas e a harmonização de padrões ambientais globais. Por fim, ainda dentro do tema regulação Priscila Tavares dos Santos, Eloah Alvarenga Mesquita Quintanilha e Elaine Cristina Oliveira dos Santos tratam do tema conflitos ambientais e territórios em disputa, analisando a perigosa flexibilização de normas ambientais e o impacto da atuação de Comissões Parlamentares de Inquérito, como a da FUNAI e do INCRA no Brasil. Este debate crucial expõe as tensões entre o desenvolvimento, a proteção dos povos originários e a gestão dos recursos naturais, delineando o campo de batalha onde o futuro da sustentabilidade será definido.

A coletânea também consegue dialogar com outras áreas do conhecimento, enriquecendo o debate com perspectivas inovadoras. Claudio Alberto Gabriel Guimarães, Bruna Danyelle Pinheiro das Chagas Santos e Cláudio Santos Barros exploram as contribuições fundamentais das escolas criminológicas para a aplicação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS/ONU), demonstrando como a justiça social e ambiental estão intrinsecamente ligadas à prevenção do crime e à construção de sociedades mais equitativas.

Ainda dentro da ideia de interdisciplinariedade, Bruno Gadelha Xavier e Moisés Alves Soares apresentam uma a reflexão profunda e instigante: a estética da fome de Glauber

Rocha é apresentada como um elemento crítico para espelhar as persistentes desigualdades sociais na era da sustentabilidade, forçando-nos a questionar os discursos hegemônicos e a reconhecer as vozes marginalizadas. Por fim, Frederico Antonio Lima de Oliveira, Hugo Sanches da Silva Picanço e Felipe da Costa Giestas, trazem uma análise da economia solidária a partir do pensamento de Guido Calabresi, oferecendo uma visão sobre modelos econômicos alternativos que priorizam a equidade, a cooperação e a resiliência social, desafiando a lógica puramente capitalista e abrindo caminho para novas formas de organização e produção.

Percebe-se, pelos textos, que a coletânea é um convite à ação. É um apelo à reflexão crítica, à colaboração interdisciplinar e à busca incessante por soluções criativas para os desafios ambientais e sociais que se impõem. Que esta obra não apenas inspire novas pesquisas e fomenta diálogos construtivos, mas que, acima de tudo, sirva como um impulso para ações transformadoras rumo a um futuro verdadeiramente justo, inovador e sustentável.

**AVIAÇÃO CIVIL INTELIGENTE: TRANSNACIONALIDADE,
SUSTENTABILIDADE, CONECTIVIDADE E INOVAÇÃO**
**SMART CIVIL AVIATION: TRANSNATIONALITY, SUSTAINABILITY,
CONNECTIVITY, AND INNOVATION**

Inez Lopes Matos Carneiro De Farias ¹
Ida Geovanna Medeiros da Costa ²

Resumo

A aviação civil enfrenta desafios para uma transição mais sustentável e eficiente, impulsionada pelo crescimento do tráfego aéreo, avanços tecnológicos e ambientais. Este artigo investiga como a aviação civil inteligente pode integrar inovação, sustentabilidade e governança transnacional para otimizar operações e minimizar impactos ambientais. A pesquisa analisa os eixos estratégicos dessa arquitetura de transformação e o papel da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) na regulação e descarbonização do setor. A hipótese sugere que a adoção de tecnologias e políticas coordenadas pode reduzir emissões, aumentar a eficiência e aprimorar a experiência dos passageiros. Com base no método dedutivo, técnica de Revisão Sistemática de Literatura (RSL), abordagem interdisciplinar e análise discursiva de normativas internacionais, os resultados indicam que a digitalização, a conectividade e a implementação de biocombustíveis de aviação são determinantes para projetar um setor descarbonizado e inovador. Contudo, desafios regulatórios e econômicos ainda precisam ser superados. A colaboração entre governos, indústrias e instituições de pesquisa será fundamental para a edificação de um transporte aéreo sustentável e inteligente.

Palavras-chave: Aviação civil inteligente, Sustentabilidade, Tecnologias e inovação, Governança transnacional, Descarbonização

Abstract/Resumen/Résumé

Civil aviation faces challenges in transitioning to a more sustainable and efficient model, driven by the growth of air traffic, technological advancements, and environmental considerations. This article investigates how smart civil aviation can integrate innovation, sustainability, and transnational governance to optimize operations and minimize environmental impacts. The research analyzes the strategic pillars of this transformative architecture and the role of the International Civil Aviation Organization (OACI) in regulating and decarbonizing the sector. The hypothesis suggests that the adoption of

¹ Professora Associada da Faculdade de Direito da Universidade de Brasília (UnB). Coordenadora do GDIP /CNPq, sublinhas GDIP - TRANSJUS e GDIP-AÉREO-ESPACIAL.

² Mestra em Direito Internacional da Aviação pelo PPGD da Universidade de Brasília (UnB). Pesquisadora do GDIP/CNPq, sublinhas GDIP-TRANSJUS e GDIP-AÉREO-ESPACIAL.

coordinated technologies and policies can reduce emissions, enhance efficiency, and improve passenger experience. Based on the deductive method, Systematic Literature Review (SLR) technique, interdisciplinary approach, and discursive analysis of international regulations, the results indicate that digitalization, connectivity, and the implementation of sustainable aviation fuels (SAF) are key to designing a decarbonized and innovative sector. However, regulatory and economic challenges still need to be addressed. Collaboration between governments, industries and economic challenges still need to be addressed. Collaboration between governments, industries, and research institutions will be essential for building a sustainable and intelligent air transport system.

Keywords/Palabras-claves/Mots-clés: Smart civil aviation, Sustainability, Technologies and innovation, Transnational governance, Decarbonization

1. INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial tem provocado mudanças em diversos setores, incluindo o transporte aéreo. O fenômeno é impulsionado pela integração de tecnologias avançadas, como a inteligência artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, automação, computação em nuvem e *Blockchain*. A digitalização na aviação representa a adoção de tecnologias para modernizar processos, eficiência operacional, aumentar a segurança e aprimorar a experiência dos passageiros (Abeyratne, 2020, p. 20-21).

Os sistemas de IA estão se proliferando em diversos segmentos e adotados por diversas empresas por meio de plataformas em nuvem, utilizando tecnologias de aprendizado de máquina e análise de dados qualitativos e quantitativos para monitorar, prever e solucionar problemas operacionais e acidentes na aviação. No contexto da investigação de acidentes e segurança da aviação, por exemplo, a *Big Data* e *Deep learning* se mostram ferramentas eficazes para identificar padrões e prever falhas (Abeyratne, 2020, p. 21).

Como a programação matemática convencional ainda não é suficiente para lidar com circunstâncias inesperadas, como emergências a bordo, mudanças repentinas nas condições meteorológicas ou falhas de comunicação entre controladores de tráfego de transporte aéreo e pilotos de aeronaves, a IA pode auxiliar na automatização do controle de tráfego aéreo (Abeyratne, 2020, p. 21-22).

No que tange à experiência dos passageiros, companhias aéreas e aeroportos estão investindo em tecnologia para melhorar a qualidade do serviço e o atendimento ao cliente, utilizando *chatbots* para suporte, reconhecimento facial para agilização do embarque e *beacons* para auxiliar a navegação nos terminais. A automatização da triagem de segurança, o monitoramento de bagagens e a personalização dos serviços a bordo são exemplos de como a IA está sendo integrada ao setor (Abeyratne, 2020, p. 23).

A aplicação da IA no transporte aéreo encontra, assim, conexão com a sustentabilidade: a aviação enfrenta desafios ambientais significativos. A tecnologia é crucial para a descarbonização por meio do desenvolvimento de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF), análise preditiva alimentada por IA que permite a otimização de rotas, reduzindo o consumo de combustível e minimizando a pegada de carbono das aeronaves. A IA contribui para a melhoria da gestão energética nos aeroportos, tornando as operações eficientes e sustentáveis (Abeyratne, 2020).

Como parte de uma megatendência mais ampla de inovação tecnológica e impacto global, a IA se integra ao avanço da Internet das Coisas (IoT), da digitalização e do *Blockchain*.

Essas tecnologias possibilitam transações seguras, rastreamento de dados e conectividade entre sistemas aeroportuários e aeronaves. No entanto, o crescimento dessas tecnologias também aumenta a vulnerabilidade do setor a ameaças cibernéticas, exigindo estratégias robustas de segurança digital para evitar ataques que comprometam a integridade das operações aéreas (Abeyratne, 2020, p. 24).

A aplicação da inteligência artificial no transporte aéreo deve ser conduzida com responsabilidade, considerando princípios éticos, regulamentações e diretrizes de segurança digital. Também sob a ótica sustentável, a tecnologia deve ser vista como ferramenta de inteligência aumentada, complementando e otimizando as capacidades humanas – e não substituindo-as por completo. A governança da IA no setor aéreo deve garantir que sua implementação resulte em benefícios sociais, ambientais e econômicos, promovendo um equilíbrio entre inovação, segurança e sustentabilidade no setor de aviação global, diferentes países, atores da indústria e consumidores: o que se denomina *Smart Civil Aviation* (Abeyratne, 2020, p. 25-26).

Logo, este artigo analisa a interseção entre transnacionalidade, conectividade e inovação na aviação civil inteligente e sustentável. Utiliza o método dedutivo como abordagem principal e análise discursiva sobre o panorama e a complexidade da aviação civil inteligente e sustentável. Emprega a Técnica de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) (Loureiro; Noletto; Da Silva Santos; Silva Santos Júnior; Fontes Lima Júnior, 2016, p. 95) com a elaboração de uma tabela com catalogação das seguintes informações: ano de publicação, país, autor, título, tema, palavras-chave, tipo de trabalho, periódicos consultados, classificação dos periódicos e bases de pesquisa utilizadas¹.

Foram levantadas, ao todo, 126 referências: mapeados 61 artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais, classificados nos estratos A1, A3, A4, B1, B2, B3, B4 e C; além de 8 livros; 11 monografias; 7 dissertações, 2 teses. A pesquisa também abrange outros formatos de informações e inclusão de 13 artigos de anais de congressos.

O período considerado para o levantamento da literatura foi de 1956 a 2025 no âmbito da Argentina, Arábia Saudita, Alemanha, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos, Reino Unido, Holanda, Índia, Itália, Portugal, Singapura, Suíça, Ucrânia e União Europeia. Foram utilizadas as plataformas de buscas: Periódicos CAPES, Web of Science, Scopus, Google Acadêmico, dentre outros, além de sites governamentais oficiais brasileiros – como Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) – e internacionais como – como Organização da Aviação Civil

¹ [Tabela Técnica de Revisão Sistemática de Literatura \(RSL\)](#).

Internacional (OACI), Associação Internacional de Transportes Aéreos (IATA) e Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) (Loureiro; Noletto; Da Silva Santos; Silva Santos Júnior; Fontes Lima Júnior, 2016, p. 95).

Foi adotada uma abordagem interdisciplinar com contribuições das Ciências Aeronáuticas, Ciências Exatas e da Computação, Direito Internacional, Economia, Engenharia Aeronáutica, Engenharia de Energia, Engenharia da Computação, Estratégias de Investimento e Internacionalização, Planejamento Energético, Regulação e Estudos de Mercado, Relações Internacionais, Sustentabilidade Ambiental, Tecnologia, entre outras.

2. SMART CIVIL AVIATION: CONCEITO E EVOLUÇÃO

A Aviação Civil Inteligente (“Smart Civil Aviation”) se refere à integração de tecnologias avançadas, como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e Conectividade 5G, para aprimorar a eficiência, segurança e sustentabilidade das operações aéreas. Essa abordagem busca transformar a experiência dos passageiros e otimizar os processos aeroportuários e de voo. Trata-se da convergência de tecnologias avançadas para revolucionar o setor aéreo, promovendo operações mais seguras, eficientes e sustentáveis (DIAS JÚNIOR, 2023, p. 9).

Sistemas inteligentes conseguem realizar voos autônomos, resolver problemas complexos e auxiliar na tomada de decisões críticas durante operações aéreas. A IA contribui para a análise de grandes volumes de dados, permitindo a identificação de tendências e anomalias que podem impactar a segurança e a eficiência dos voos (DIAS JÚNIOR, 2023, p. 16).

A IoT, por sua vez, por meio da conectividade entre dispositivos e sistemas, é possível monitorar em tempo real o desempenho de aeronaves, gerenciar tráfego aéreo de forma mais eficaz e aprimorar a manutenção preditiva, reduzindo custos e aumentando a segurança operacional (FERREIRA, 2021, p. 28).

A adoção de tecnologias como IA e IoT, nesse sentido, está transformando os aeroportos em “aeroportos inteligentes” (MARQUES, 2022, p. 17). A China, por exemplo, já está investindo na implementação de serviços de conectividade 5G em aviões comerciais, visando uma indústria de aviação civil inteligente que possa oferecer serviços de conectividade de alta qualidade durante os voos e aprimorar a experiência dos passageiros e a eficiência das operações (AEROIN, 2021).

Essas transformações tecnológicas têm repercussões no contexto jurídico. Alketbi e Sipos (2024, p. 2) afirmam que “examinar as estruturas legais, regulamentações e questões de conformidade envolvendo o uso de tecnologias inteligentes em aeroportos é crucial”, como leis sobre proteção de dados, privacidade e normas internacionais.

Por sua vez, a “regulação inteligente”, cunhada por Gunningham e Sinclair, se refere a uma forma de pluralismo regulatório, que incorpora formas flexíveis, imaginativas e inovadoras de controle social (Gunningham; Sinclair, 1998, p. 133). Nesse contexto, a regulação inteligente abrange os três pilares fundamentais da sociedade: o político, representado pelos governos e organizações intergovernamentais; o econômico, englobando as empresas e o setor produtivo; e o social, que inclui organizações não governamentais (ONGs) e a sociedade civil. Essa abordagem integrada permite um equilíbrio mais eficaz entre regulamentação, inovação e desenvolvimento sustentável no transporte aéreo.

3. A ARQUITETURA DA AVIAÇÃO CIVIL INTELIGENTE

A aviação civil inteligente se baseia em uma infraestrutura tecnologicamente avançada que integra segurança operacional, segurança da aviação (security), eficiência e sustentabilidade no transporte aéreo global. Seu desenvolvimento ocorre por meio de inovação tecnológica, reforma estrutural e colaboração entre diversos setores, público e privado, promovendo um futuro mais conectado e eficiente para a exploração do espaço aéreo global.

3.1. Eixos Estratégicos da Aviação Civil Inteligente e Sustentabilidade

A aviação civil inteligente busca integrar tecnologias e inovação para tornar o setor aéreo mais eficiente, seguro e sustentável. Esse avanço ocorre por meio de diferentes eixos estratégicos, que abrangem desde o serviço de transporte aéreo até a experiência do passageiro. A Quarta Revolução Industrial também impulsiona transformações no transporte aéreo, promovendo avanços significativos em conectividade, automação e adaptação às novas demandas globais por meio do uso de tecnologias inovadoras em cada um de seus eixos.

3.2. Transporte Aéreo Inteligente (Smart Air Transport)

O conceito de transporte aéreo inteligente combina os serviços de transporte aéreo e tecnologias digitais e espaciais, com o propósito de otimizar rotas e eficiência operacional. Para

a China, por exemplo, os transportes inteligentes têm por objetivo reduzir o tempo total de viagem dos passageiros e aprimorar a qualidade e eficiência da logística aérea, além de reduzir custos (ICAO, 2022, p. 5). Para isso, planeja a construção de um sistema ecológico de serviços de viagem conveniente e confortável.

O transporte aéreo inteligente visa promover um modelo mais inovador, sustentável e tecnologicamente avançado, capaz de equilibrar eficiência operacional, acessibilidade e compromisso ambiental para atender às exigências do futuro do setor aéreo. Atualmente, diversos projetos como eVTOL (Electric Vertical Takeoff and Landing) estão em desenvolvimento ou em fase de testes para transporte de pessoas, mas ainda há uma lacuna na pesquisa e regulamentação sobre seus impactos sonoros (Paul; De Lorenzo; Cordioli, 2020, p. 102).

Figura 1 – Aeronave elétrica de decolagem e pouso vertical (eVTOL).



Fonte: National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2021.

3.3. Gerenciamento de Tráfego Aéreo Inteligente (Smart ATM – Air Traffic Management)

O Aviation System Block Upgrade (ASBU) é uma estratégia global desenvolvida pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) para modernizar e harmonizar os sistemas de navegação aérea e gerenciamento do tráfego aéreo (ATM). Implementado a partir de 2012, fornece um modelo escalável e evolutivo em blocos modulares em quatro áreas de desempenho: operações aeroportuárias, sistemas e dados globais interoperáveis, capacidade ótima e voos flexíveis e trajetórias de voo eficientes (ICAO, 2012, p. 7).

O ASBU está estruturado em três categorias funcionais para aprimorar a gestão do tráfego aéreo: informacional, operacional e tecnológica. A informacional envolve a implementação de sistemas avançados de navegação aérea com automação aprimorada, visando melhorar a conectividade e o compartilhamento de informações. A função operacional trata da evolução da gestão do espaço aéreo, abrangendo operações tanto em altas altitudes

quanto em espaços aéreos urbanos e baixos, permitindo acesso flexível ao espaço aéreo. Por fim, a função tecnológica foca na implementação de novas soluções para comunicação, navegação e vigilância, incorporando operações baseadas na combinação de infraestrutura terrestre e capacidades multifrequenciais e multiconstelação, o sistema fortalece a resiliência contra vulnerabilidades e ameaças potenciais. (ICAO, 2024, p. 3).

O documento apresentado pela Arábia Saudita na 13ª Reunião do Subgrupo de Comunicação, Navegação e Vigilância da ICAO (CNS SG/13) destaca os benefícios potenciais da Inteligência Artificial (IA) na gestão do tráfego aéreo (ATM), abordando sua aplicação para melhorar a eficiência operacional, a segurança e a capacidade do espaço aéreo global (ICAO, 2024, p. 1). Além disso, discute os desafios da implementação da IA no setor e a necessidade de colaboração para o desenvolvimento de padrões e regulamentações adequadas.

Entre as principais aplicações da IA no ATM, destacam-se: (a) a detecção e resolução de conflitos, onde algoritmos analisam dados em tempo real para prever e mitigar riscos entre aeronaves; (b) o reconhecimento de voz, que auxilia na identificação de erros de comunicação entre pilotos e controladores; (c) a previsão de trajetórias, permitindo um gerenciamento mais eficiente do tráfego aéreo, reduzindo consumo de combustível; e (d) a otimização do uso de pistas, com a IA analisando fatores como condições meteorológicas e padrões de tráfego para melhorar as operações de pouso e decolagem (ICAO, 2024, p. 2).

A implementação da IA no ATM exige atenção aos aspectos éticos da tomada de decisão automatizada, garantindo transparência, responsabilidade e supervisão humana. Exigirá, ainda, um esforço colaborativo entre OACI, Estados e partes interessadas do setor, que devem desenvolver um plano estratégico para a implementação da IA no ATM, incluindo a atualização dos Padrões e Práticas Recomendadas (SARPs) e a criação de novos regulamentos, quando necessário.

3.4. Governança Inteligente (Smart Governance)

A governança inteligente na aviação refere-se à aplicação de tecnologias digitais, tomada de decisão baseada em dados e estruturas regulatórias inovadoras para aumentar a eficiência, a sustentabilidade e a segurança no setor da aviação. Ela integra tecnologias avançadas, como inteligência artificial (IA), blockchain e análise de big data, com princípios de governança para otimizar operações, garantir conformidade regulatória e aprimorar a experiência dos passageiros.

A gestão inteligente de operações sustentáveis na aviação civil diz respeito à implementação de práticas ambientalmente responsáveis na administração das operações de uma empresa. Esse conceito integra tecnologias avançadas, análise de dados e princípios sustentáveis para otimizar processos empresariais, reduzir o impacto ecológico e alcançar metas de sustentabilidade a longo prazo (DEMIR,; PAKSOY, p. 5).

Assim, uma governança inteligente sustentável promove regulamentações que incentivam a sustentabilidade, como metas de redução de emissões de carbono e incentivos para companhias aéreas que adotam práticas ecologicamente corretas.

3.5. Aeroportos Inteligentes (Smart Airports)

As operações aeroportuárias se fundamentam em dois princípios basilares: facilitação e segurança. O Anexo 9 – Facilitação tem como principal objetivo otimizar os processos de inspeção de passageiros, cargas e aeronaves, assegurando que as operações aéreas ocorram de forma ágil e eficiente, sem comprometer a segurança. Já o Anexo 17 – Segurança foca na proteção da aviação civil contra atos ilícitos, com medidas específicas para prevenir e responder a ameaças como terrorismo e interferências indevidas. As tecnologias inteligentes são essenciais para a modernização e otimização da aviação civil, trazendo avanços significativos em eficiência operacional, segurança e sustentabilidade. Entretanto, “a maioria dos aeroportos ainda opera em sistemas tecnológicos desatualizados que não atendem ao volume e à complexidade crescentes das operações aeroportuárias” (Alketbi e Sipos, 2024, p. 5).

A evolução das tecnologias inteligentes nos aeroportos pode ser acompanhada por meio de várias etapas, desde sistemas tradicionais até soluções avançadas, como RFID, sistemas biométricos, inteligência artificial, Internet das Coisas (IoT) e tecnologia Blockchain (Alketbi e Sipos, 2024, p. 7). Essas inovações continuam a redefinir as operações aeroportuárias, promovendo experiências fluidas para os passageiros e uma gestão eficiente dos recursos. Por exemplo, muitas companhias aéreas e aeroportos implementaram etiquetas Radio Frequency Identification (RFID) nas bagagens dos passageiros, permitindo um rastreamento mais preciso e reduzindo a incidência de malas extraviadas. A tecnologia também é aplicada no controle de segurança, identificando credenciais de funcionários e autorizando acessos restritos.

Figura 2 – Identificação por Radiofrequência (RFID).



Fonte: Adaptado de Alketbi e Sipos (2024). Autoria própria.

Os aeroportos inteligentes são projetados para serem mais ecológicos e sustentáveis. A implementação de fontes de energia renovável, como painéis solares e turbinas eólicas, reduz a dependência de combustíveis fósseis. O gerenciamento energético baseado em IoT melhora a eficiência no consumo de eletricidade, enquanto a reutilização da água e a separação de resíduos minimizam o impacto ambiental. A digitalização de processos também reduz o uso de papel e outros materiais descartáveis.

Alketbi e Sipos (2024, p. 11) apontam que os principais desafios dizem respeito à privacidade (com o uso de dados biométricos) e à proteção de dados pessoais dos passageiros. Outro desafio se refere à dependência excessiva da tecnologia que pode criar vulnerabilidades, principalmente se os sistemas falharem ou estiverem sujeitos a ataques cibernéticos (ibid., p. 12). Segundo a Associação Internacional de Transportes Aéreos (IATA), a interação entre o transporte aéreo internacional e as normas de proteção de dados exige maior consistência regulatória, uma vez que a conectividade aérea está diretamente ligada à conectividade de dados. Nesse sentido, a IATA propôs que o Comitê Jurídico da OACI solicite a aprovação do Conselho da OACI para a constituição desse grupo, garantindo um melhor alinhamento entre as regulamentações de proteção de dados e as necessidades do setor aéreo (ICAO, 2024). As legislações nacionais são aplicáveis à proteção de dados, inclusive no setor aéreo e podem ter aplicações distintas em diversos países.

Apesar dos avanços tecnológicos, a integração de sistema inteligente em nível nacional é necessária, porém, em escala internacional, isso é inviável, devido à sensibilidade dos dados de segurança, às divergências jurisdicionais entre aeroportos, à diferentes níveis de facilitação e à desigualdade no acesso à tecnologia inteligente (Alketbi e Sipos, 2024, p. 15).

3.6. Empregos/Ocupações Inteligentes (Smart Employees/Occupations)

A Quarta Revolução Industrial está transformando e redefinindo a força de trabalho em vários setores, incluindo a aviação civil, exigindo novas competências, habilidades e adaptação em um ambiente digitalizado e automatizado. O fenômeno da Smart Occupations/Employments representa a evolução dos empregos tradicionais para funções que integram inteligência artificial (IA), automação, Big Data e aprendizado de máquina. Essas ocupações exigem profissionais capacitados para trabalhar em conjunto com sistemas inteligentes e tomar decisões baseadas em dados de IA (Kabashkin; Misnevs; Zervina, 2023, p. 18).

Uma das principais características dessas ocupações é a automação e digitalização, onde sistemas inteligentes gerenciam operações de tráfego aéreo, manutenção de aeronaves e serviços aeroportuários. O uso de IA e algoritmos preditivos permitem otimizar rotas, a previsão de falhas mecânicas e a gestão eficiente da infraestrutura aeroportuária representa empregos que exigem competências avançadas em tecnologia, análise de dados e colaboração com sistemas de IA para otimizar operações e melhorar a segurança e eficiência do setor. Assim, são necessários profissionais tecnologicamente capacitados, flexíveis e preparados para interagir com sistemas inteligentes. Veja a Figura 3 a seguir:

Figura 3 – Robô Gal, movida por IA de atendimento ao cliente da Gol Linhas Aéreas S.A. do Aeroporto Internacional de Guarulhos, é a primeira do gênero na América Latina .



Fonte: AEROIN. 2019.

No caso da implementação da Robô Gal, conforme informado pela Companhia Gol Linhas Aéreas S.A., os funcionários não serão demitidos ou prejudicados com a sua adoção. O objetivo é que auxilie na interação com os clientes de forma inovadora e simples, como uma

segunda opção de contato, mas sem a substituição das atividades de seus colaboradores (Bezerra, 2019).

De toda forma, a crescente implementação da IA e automação no setor aéreo tem gerado novas ocupações que exigem habilidades especializadas em tecnologias inteligentes. Diante desse cenário, é fundamental que universidades e centros de formação atualizem seus currículos para acompanhar essa revolução e preparar profissionais aptos a operar, monitorar e inovar em um ambiente de aviação inteligente e automatizada. A colaboração entre educadores, reguladores e líderes tecnológicos é essencial para acompanhar o rápido avanço da IA (Kabashkin; Misnevs; Zervina, 2023, p. 30).

3.7. Passageiros Inteligentes (Smart passengers)

Os passageiros inteligentes são aqueles que, independentemente do motivo da viagem, buscam aproveitar ao máximo seu tempo no terminal, evitando períodos ociosos desnecessários em filas nas instalações do aeroporto (como *check-in* e segurança). Em vez disso, preferem passar mais tempo em áreas recreativas, como restaurantes, lojas ou lounges de companhias aéreas/aeroportos (Mota; Scala; Schultz; Lubig; Luo; Perez, 2021, p. 3). Esses passageiros são altamente informados e independentes, gerenciando dinamicamente sua jornada, semelhante aos passageiros que fazem conexões por conta própria (*self-connecting passengers*).

Para otimizar sua experiência, os passageiros inteligentes fazem *check-in online* e utilizam sistemas automatizados de despacho de bagagem para registrar tanto a bagagem de mão quanto a despachada. Uma das características desse passageiro é permanecer sem bagagem durante todo o tempo de permanência no terminal, permitindo um deslocamento mais rápido (velocidade de caminhada superior à média dos passageiros que carregam bagagem) e uma triagem de segurança mais ágil, pois não precisam escanear pertences.

Os passageiros têm um papel ativo na sustentabilidade da aviação civil inteligente. Aplicativos e plataformas digitais permitem escolhas mais ecológicas, como a compensação de emissões de carbono e a seleção de voos operados por companhias aéreas sustentáveis. A preferência por aeroportos e companhias comprometidas com a redução da pegada de carbono incentiva o mercado a adotar soluções mais verdes. Além disso, o uso de tecnologias sem papel, como cartões de embarque digitais, contribui para a redução do impacto ambiental.

4. A ATUAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (OACI) NA PROJEÇÃO DA SMART CIVIL AVIATION

A Aviação Civil Inteligente pode transformar a interação entre aeroportos, passageiros, trabalhadores e companhias aéreas por meio da digitalização e a expansão da classe média global – responsável pela demanda por viagens acessíveis, confortáveis e seguras. Mas, para que a sua concretização ocorra, o setor precisa enfrentar os desafios do crescimento do tráfego aéreo global.

Ao tempo em que o transporte aéreo deve se alinhar às diretrizes globais estabelecidas pelos organismos internacionais, a produção desses combustíveis enfrenta os altos custos e a necessidade de infraestrutura adequada para sua ampla adoção. Nesse sentido, as organizações internacionais – como a Organização Internacional de Aviação Civil (OACI) – estabeleceram metas e regulamentações para reduzir as emissões de carbono e promover alternativas sustentáveis.

Os esforços das organizações internacionais demonstram o desejo internacional de trabalhar em conjunto para desenvolver inovações no setor (Lyudmila, 2024, p. 236). Trata-se do que se denomina como Direito Transnacional – *Transnational Law* – introduzido por Philip Jessup. Segundo ele, a denominação ‘Direito Internacional’ era inadequada por tradicionalmente se referir somente às relações entre Estados. No entanto, a realidade jurídica global demonstra que essas relações envolvem uma ampla gama de atores: indivíduos, corporações, grupos não estatais e as próprias organizações internacionais. Para Jessup (1956, p. 12), a expressão “direito transnacional” inclui todas as normas que regulam atos ou fatos que transcendem fronteiras nacionais, tanto o direito público quanto o privado, assim como outras normas que não se enquadram inteiramente nessas categorias clássicas.

Assim, o Direito Transnacional abrange todo o direito que regula ações ou eventos que transcendem fronteiras nacionais, sem estar restrito às categorias convencionais do Direito Internacional Público e do Direito Internacional Privado. Está incluído neste conceito, os tratados entre Estados, normas privadas de comércio internacional e regulações corporativas com impacto global que influenciam a governança internacional (Jessup, 1956, p. 13).

A relevância do Direito Transnacional tem crescido no contexto da globalização e da interconectividade digital, pois regula áreas como comércio internacional, direitos humanos, proteção ambiental e segurança cibernética. A abordagem de Jessup abriu caminho para as pesquisas sobre a interdependência entre normas jurídicas estatais e estruturas regulatórias privadas, consolidando um campo na regulação das interações globais contemporâneas.

A atuação da OACI reflete a transnacionalidade inerente à aviação civil, uma vez que o setor depende de regulamentações globais para garantir a segurança, a eficiência e a

sustentabilidade das operações aéreas entre países. Como agência especializada das Nações Unidas, criada para supervisionar a administração e a governança da Convenção de Chicago, promove o desenvolvimento seguro e estruturado da aviação civil em nível global, estabelecendo Normas e Práticas Recomendadas (SARPs) e políticas que garantam a segurança, eficiência e regularidade do setor aéreo (ANAC, 2016).

Com sede em Montreal, Canadá, a OACI é a principal entidade governamental voltada para a aviação civil e conta com a participação de 193 Estados Membros. Além dos representantes governamentais, a organização também envolve profissionais da indústria da aviação que contribuem para a formulação de políticas e regulamentações (ANAC, 2016).

5. A EDIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL DA SMART CIVIL AVIATION: DESCARBONIZAÇÃO E INOVAÇÃO

Embora o setor da aviação contribua com cerca de 3% das emissões globais de carbono, consome três vezes mais energia por passageiro em comparação a outros transportes coletivos – como ônibus e trens. A busca pela redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e dependência de fontes de energia não renováveis impõe desafios à descarbonização em uma indústria que opera com altos custos e segue padrões rigorosos de qualidade (Capaz, 2021, p. 12).

O Acordo Climático de Paris é uma das iniciativas internacionais para combater o aquecimento global. Ao definir a meta de manter a temperatura global na terra dentro de 2° C até 2100, exige que cada país envie um plano de ação nacional de mudança climática atualizado a cada cinco anos. Em seus relatórios nacionais, os países relatam as ações que estão tomando para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, bem como as ações futuras (Lyudmila, 2024, p. 237).

Contudo, como o Acordo de Paris não aborda voos internacionais, que representam cerca de 60% das operações aéreas, de modo que outras entidades reguladoras ajudam a suprir essa lacuna. A OACI estabeleceu, em 2010, objetivos para a redução das emissões desse segmento. Desde 2016, o regime do Esquema de Compensação e Redução de Carbono na Aviação Internacional (CORSIA) coordena as metas, incentivando a otimização das operações, a aquisição de créditos de carbono e o uso de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) por empresas do setor (Capaz, 2021, p. 12).

Além disso, diversas iniciativas vêm promovendo a expansão do uso de biocombustíveis na aviação. Desde 2011, diversos voos comerciais já utilizam SAFs e alguns

aeroportos no mundo disponibilizam regularmente esse combustível, com um crescente número de pesquisas científicas interdisciplinares dando suporte ao tema (Capaz, 2021, p. 12).

Porém, para que a transição energética sustentável aconteça efetivamente em um setor altamente competitivo, é importante uma abordagem que integre fatores ambientais e socioeconômicos, para além da simples redução de emissões de GEE. O Brasil possui um grande potencial de produção de biocombustíveis devido à sua vasta oferta de biomassa e experiência consolidada na produção de bioenergia, o que o coloca em posição estratégica como fornecedor de SAF (Capaz, 2021, p. 12). Já tendo estabelecido indústrias no ramo, pode ser o primeiro a estabelecer uma indústria sustentável de biocombustível de aviação da produção de biomassa ao voo (Boeing, 2013), como exemplificado abaixo pela Figura 4:

Figura 4 – A Gol Linhas Aéreas S.A. operou o primeiro voo com biocombustível em caráter experimental durante a RIO+20.



Fonte: Gol Linhas Aéreas S.A. 2012.

As SARPs são fundamentais para orientar as autoridades de aviação civil em todo o mundo, ao abordar aspectos técnicos e operacionais da aviação internacional. Essas normas regulam diversas áreas, como segurança aérea, licenciamento de pessoal, operação de aeronaves, gestão de aeródromos, serviços de tráfego aéreo, investigação de acidentes e proteção ambiental. A OACI garante a padronização das operações e procedimentos da aviação global, permitindo maior cooperação entre os países e aprimorando a segurança dos voos (ANAC, 2016).

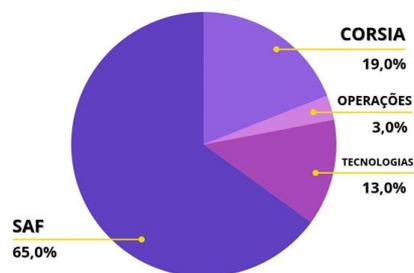
Com o crescimento do número de voos e passageiros, as emissões se elevaram, tornando indispensável a implementação de medidas de mitigação no setor. Em resposta, a OACI criou o Comitê de Proteção Ambiental da Aviação, em 1983, que orienta a formulação de políticas e normas internacionais relacionadas a ruídos e emissões de aeronaves. Além disso, o Protocolo de Quioto não estabeleceu metas específicas para a aviação, mas recomendou que

os países desenvolvidos tentassem reduzir as emissões (Santos Estevo; Thomaz; Gondim, 2024, p. 22).

Na 37ª Assembleia Geral da OACI, realizada em 2010, foi definido o estabelecimento de uma meta climática de longo prazo, a ser finalizada na 41ª sessão, em 2022. Um avanço significativo ocorreu na 39ª Assembleia, em 2016, com a adoção da Resolução A39-2, que institui o Mecanismo de Redução e Compensação de Emissões da Aviação Internacional (CORSIA) (ICAO, 2019).

Seu intuito é compensar e reduzir as emissões de CO₂, alinhando-se à meta de crescimento neutro em carbono a partir de 2020. O CORSIA complementa os esforços do Acordo de Paris, que não inclui a aviação internacional, e faz parte da estratégia conhecida como “Cesta de Ações” da OACI, que abrange melhorias tecnológicas, aumento da eficácia operacional e o uso de Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF) (ICAO, 2019). Segundo essa estratégia, diversas medidas podem contribuir para a mitigação das emissões, embora suas eficácias variem, como demonstra o Gráfico 1 abaixo:

Gráfico 1 – Conjunto de Estratégias para Redução de Emissões e Neutralidade de CO₂ até 2050.



Fonte: Associação Internacional de Transportes Aéreos (IATA). Autoria própria.

De acordo com o Gráfico 1, a OACI definiu quatro principais estratégias para reduzir as emissões da aviação. A primeira envolve o desenvolvimento de tecnologias inovadoras para aeronaves – elétricas e de hidrogênio –, como motores mais eficientes e materiais mais leves, correspondendo a 13% dos esforços. Ao integrar sistemas de IA, as companhias aéreas e os aeroportos podem melhorar os processos de tomada de decisão e garantir a segurança da aviação. A IA analisa rapidamente grandes quantidades de dados, ajuda a prever e prevenir riscos potenciais (Lyudmila, 2024, p. 242).

No que diz respeito à segunda medida, busca-se aprimorar as operações aeroportuárias e otimizar as rotas de voo com infraestrutura e eficiência, contribuindo com uma redução de 3% das emissões (Santos Estevo; Thomaz; Gondim, 2024, p. 24). Já a terceira

estratégia trata do CORSIA, mecanismo que permite às companhias aéreas compensarem suas estratégias por meio da compra de créditos de carbono de outros setores, visando manter os níveis de emissões da aviação internacional equivalentes aos de 2020. Embora represente 30% das iniciativas, o CORSIA é alvo de críticas devido à qualidade dos créditos adquiridos e ao fato de que a compensação ocorre fora do setor aéreo (Santos Estevo; Thomaz; Gondim, 2024, p. 24).

Por fim, a quarta alternativa, responsável por 65% dos esforços, é o uso de Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF). Durante a Assembleia Geral da OACI em 2022, os países firmaram o compromisso para alcançar a neutralidade de carbono do setor aéreo até 2050, levando em consideração as diferenças entre as nações e suas responsabilidades históricas. Para atingir essa meta, todas as medidas são fundamentais, com destaque para a necessidade de avanços na produção e utilização do SAF (Santos Estevo; Thomaz; Gondim, 2024, p. 24).

Também em resposta aos desafios da sustentabilidade na aviação, a OACI adotou, em sua 39ª Assembleia de 2016, a Resolução A39-3, que reconhece a importância do Acordo de Paris e a necessidade de implementar medidas para controlar as emissões do setor. Dentre as iniciativas, pode ser destacado o Esquema de Compensação e Redução de Carbono para Aviação Internacional (CORSIA) – sistema de mercado global criado para limitar o crescimento das emissões de CO² na aviação civil internacional a partir dos níveis de 2020 (Abeyratne, 2014, p. 35).

O CORSIA foi projetado para ser implementado nas seguintes fases: a) inicialmente, entre 2021 e 2026, a adesão ao esquema é voluntária para os Estados que desejam participar e; b) a partir de 2027 até 2035, o esquema passa a ser obrigatório para países cuja participação na aviação internacional exceda 0,5% das toneladas-quilômetro de receita ou que juntos representam 90% do total do tráfego aéreo mundial. Algumas nações, incluindo Países Menos Desenvolvidos, Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento e Países em Desenvolvimento Sem Litoral, estão isentas da exigência, a menos que optem por aderir voluntariamente (Abeyratne, 2014, p. 36).

Além da compensação de emissões, a pesquisa e o desenvolvimento de combustíveis alternativos sustentáveis (SAF) aliado ao potencial da IA, são fundamentais para reduzir o impacto ambiental da aviação. Atualmente, a produção comercial desses combustíveis ainda não está consolidada, mas há esforços contínuos para tornar a fabricação viável. O uso de combustíveis com baixas emissões no ciclo de vida pode contribuir significativamente para a descarbonização do setor. Contudo, o alto custo de produção e a necessidade de incentivos

governamentais são alguns dos desafios a serem superados. Com o avanço tecnológico e o aumento da escala de produção, é esperado que esses combustíveis se tornem mais acessíveis e eficientes (Abeyratne, 2014, p. 36).

A longo prazo, a indústria da aviação pode desenvolver novas aeronaves e motores adaptados para combustíveis não convencionais e metano líquido, que possuem emissões extremamente reduzidas. No entanto, tal transição exige mudanças significativas na infraestrutura aeroportuária e nos sistemas de abastecimento. Aeronaves híbridas e elétricas também estão sendo estudadas como alternativas promissoras para reduzir a dependência de combustíveis fósseis (Abeyratne, 2014, p. 36). A exemplo, a Figura 5 a seguir:

Figura 5 – Motor híbrido-elétrico que reduz o consumo de combustível em até 70% operado pela Azul Linhas Aéreas S.A. em parceria com a Ampire.



Fonte: Azul Linhas Aéreas S.A. 2023 .

A também IA tem o potencial de ajudar a projetar aeronaves mais econômicas analisando conjunto de dados massivos e executando simulações para otimizar a aerodinâmica, materiais e desempenho do motor. Os sistemas inteligentes podem monitorar o desempenho em tempo real, detectar anomalias potenciais e recomendar ações corretivas. A implementação da IA não somente simplifica as operações, mas reduz significativamente os riscos associados ao erro humano. Também pode auxiliar no desenvolvimento e implementação de combustíveis de aviação ecologicamente corretos, analisando dados sobre produção de biocombustíveis, desempenho e impacto ambiental, de forma acelerar a transição para combustíveis mais limpos (Lyudmila, 2024, p. 237-242).

A sustentabilidade na aviação civil é um desafio global que requer cooperação entre governos, empresas e instituições de pesquisa. O compromisso internacional com medidas como CORSIA, o incentivo à eficiência operacional e o desenvolvimento de tecnologias inovadoras são essenciais para garantir um futuro sustentável no setor. Com investimentos contínuos e o aprimoramento das soluções disponíveis, a aviação pode continuar crescendo sem comprometer o meio ambiente e equilibrando desenvolvimento econômico e responsabilidade social (Abeyratne, 2014, p. 37-38).

6. CONCLUSÕES

A aviação civil passa por transformações impulsionadas pelas inovações tecnológicas, crescente interconectividade global e pela sustentabilidade. O estudo demonstra que a adoção de tecnologias como IA, IoT, SAF, dentre outros, é essencial para intensificar a eficiência operacional do setor e reduzir os impactos ambientais. No entanto, a implantação dessas inovações exige regulamentações adaptativas, investimentos estratégicos e cooperação transnacional para garantir que os benefícios tecnológicos sejam plenamente aproveitados.

A pesquisa destacou que a *Smart Civil Aviation* exige um modelo regulatório eficiente que equilibre inovação e sustentabilidade. A harmonização das normas internacionais, liderada pela OACI, permite o engajamento na padronização das operações e a mitigação dos impactos ambientais. A transnacionalidade da aviação civil é, assim, identificada como um fator determinante para o avanço de políticas coordenadas pelos três pilares fundamentais da sociedade: político, econômico e social.

No aspecto ambiental, a pesquisa reforça a importância da descarbonização e otimização da eficiência energética das aeronaves e aeroportos. No entanto, a adoção dessas práticas ainda enfrenta desafios como altos custos, infraestrutura inadequada e resistência à mudança por alguns segmentos do setor. A *Smart Civil Aviation* representa o caminho inevitável para a evolução do transporte aéreo global. A digitalização e a automação não são apenas tendências, mas pilares fundamentais para garantir uma mobilidade aérea mais eficiente, segura e sustentável. Sua implementação consolidará um setor mais resiliente e ambientalmente responsável, definindo o futuro da aviação.

REFERÊNCIAS

ABEYRATNE, Ruwantissa. **Aviation in the Digital Age: Legal and Regulatory Aspects**. 1ª. Ed. 2020.

ABEYRATNE, Ruwantissa. **Aviation and climate change: in search of a global market based measure**. Montreal, QC, Canada: Springer International Publishing, 2014.

AEROIN. **China já trabalha para colocar conexão de internet 5G em aviões comerciais**. Disponível em: <https://aeroin.net/china-ja-trabalha-para-colocar-conexao-de-internet-5g-em-avioes-comerciais/>. Acesso em: 06 de Mar. 2025.

AEROIN. **GOL lança hoje a GAL, sua simpática robô de aeroporto**. Disponível em: <https://aeroin.net/gol-lanca-hoje-a-gal-sua-simpatica-robo-de-aeroporto/gal-gol/?amp>. Acesso em: 11 de Mar. 2025.

ALKETBI, Khalifa; SIPOS, Attila. **The role of smart technology in airport facilitation and security control (ICAO Annex 9 and 17 requirements)**. Journal of Infrastructure, Policy and Development, v. 8, n. 8, p. 5444, 2024.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Organização da Aviação Civil Internacional (OACI)**. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/internacional/organismos-internacionais/organizacao-da-aviacao-civil-internacional-oaci>. Acesso em: 02 de Mar. 2025.

AZUL LINHAS AÉREAS. **Azul Conecta estreia na Labace e apresenta novo motor híbrido-elétrico**. Sala de Imprensa, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.voegol.com.br/content/dam/azul/voe-azul/imprensa/08.08.23-Azul-Conecta-estrela-na-Labace-e-apresenta-novo-motor-h%C3%ADbrido-el%C3%A9trico.pdf>. Acesso em: 11 de Mar. 2025.

BEZERRA, Sabrina. **Meu nome é GAL: Gol lança um robô para atender passageiros**. Época Negócios, 30 out. 2019. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/10/meu-nome-e-gal-lanca-um-robot-para-atender-passageiros.html>. Acesso em: 12 de Mar. 2025.

BOEING. **Biofuel Flight in Brazil**. Flickr. 2013. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/theboeingcompany/10465532975/>. Acesso em: 12 de Mar. 2025.

CAPAZ, Rafael Silva. **Alternative aviation fuels in Brazil: environmental performance and economic feasibility**. 2021. 287 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) — Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2021.

DEMIR, Sercan; PAKSOY, Turan. A Conceptual Framework for Smart and Sustainable Operations in the Aviation Industry. In: PAKSOY, Turan; DEMIR, Sercan (Org.). **Smart and Sustainable Operations Management in the Aviation Industry: A Supply Chain 4.0 Perspective**. 1. ed. Routledge, 2024.

FERREIRA, Larissah Cezar. **Aplicação da internet das coisas em aeroportos. 2021**. 40 f. Monografia (Especialização em Tecnologias Digitais e Inovação Sustentável) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

DIAS JÚNIOR, Alessandro Roque. **O uso da inteligência artificial aplicada na aviação geral**. 2023. f. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência Aeronáutica) — Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-Goiás), Goiás, 2023. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/7039>. Acesso em: 06 de Mar. 2024.

IATA. International Air Transport Association. **Developing Sustainable Aviation Fuel (SAF)**. Disponível em: <https://www.iata.org/en/programs/sustainability/sustainable-aviation-fuels/>. Acesso em: 08 de Mar. 2025.

GOL LINHAS AÉREAS. **Posts**. Facebook, 2021. Disponível em: <https://www.facebook.com/share/1LfkwmW7hv/>. Acesso em: 11 de Mar. 2025.

GONÇALVES, Mateus Alves. **A influência dos stakeholders na formulação da política de Sustainable Aviation Fuel (SAF) no Brasil**. In: Anais do II Congresso da Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos sustentáveis de aviação. Editora Científica Digital, 2024.

GUNNINGHAM, N.; SINCLAIR, D. **Smart Regulation**. In: Drahos, Peter. Regulatory Theory: Foundations and Applications. ANU Press, 1998.

HOODA, Sanjay Kumar; YADAV, Shweta. **Green finance for sustainable aviation: stakeholder perspectives and systematic review**. International Journal of Professional Business Review: Int. J. Prof. Bus. Rev., v. 8, n. 5, 2023.

ICAO. International Civil Aviation Organization. **Aviation System Block Upgrade (ASBU) - Working Document (Edition 2, Version 3)**. Montreal: ICAO, 2012.

ICAO. International Civil Aviation Organization. **Benefits of Artificial Intelligence (AI) Application in Air Traffic Management & Innovation**. Apresentado por Arábia Saudita Montreal: ICAO, 2024.

ICAO. International Civil Aviation Organization. **Regional Air Navigation Plan and NANP Alignment Task Force (RANP-NANP TF/1)**. Montreal: ICAO, 2024.

ICAO. International Civil Aviation Organization. **International Carriage by Air and Data Protection Laws**. Presented by the International Air Transport Association (IATA). Legal Committee – 39th Session, Agenda Item 6, LC/39-WP/6-3, Montreal, 25 – 28 June, 2024.

ICAO. International Civil Aviation Organization. **Doc 10183: Assembly – 41st Session – Montréal, 27 September – 7 October 2022 – Executive Committee Report**. Montréal: ICAO, 2022. Disponível em: https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/10183_en.pdf. Acesso em: 12 de Mar. 2025.

JESSUP, Philip C. **Transnacional law**. New Haven: Yale University Press, 1956.

KABASHKIN, Igor; MISNEVS, Boriss; ZERVINA, Olga. **Artificial Intelligence in Aviation: New Professionals for New Technologies**. Applied Sciences, 2023.

LOUREIRO, S. A.; NOLETTO, A. P. R.; DA SILVA SANTOS, L.; SILVA SANTOS JÚNIOR, J. B. & FONTES LIMA JÚNIOR, O. **O uso do método de revisão sistemática da literatura na pesquisa em logística, transportes e cadeia de suprimentos**. Transportes, v. 24, n. 1, 2016.

LOPES, Inez. MEDEIROS, Ida Geovanna. **Harmonização das regulamentações internacionais e nacionais sobre aeronaves não tripuladas: impulsionando o mercado econômico nos céus**. In: XIII Encontro Internacional do CONPEDI Uruguaí Montevideú, 1ª Ed., Florianópolis: CONPEDI, 2024.

LYUDMILA, Chulinda. Theoretical principles of application of information and communication technologies in public administration. **Digital Transformation in Ukraine: AI, metaverse and society 5.0**. In: KOSTENKO, Oleksii; YEKHANUROV, Yuriy. SciFormat Publishing Inc., Canada, 2024.

MARQUES, Paula José Martins João Maio. **A ciência de dados como acelerador da interconectividade digital de stakeholders em portos e aeroportos inteligentes**. 2022. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Dados para Ciências Sociais) — Universidade de Aveiro, 2022.

MILANEZ, Artur Yabe et al. **Biocombustíveis de aviação no Brasil: uma agenda de sustentabilidade**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, V. 28, Nº. 56, Ed. Especial, Dez. 2021.

MONEBHURRUN, Nitish. **Manual de Metodologia Jurídica. Técnicas para Argumentar em Textos Jurídicos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2022.

MOTA, Miguel Mujica; SCALA, Paolo; SCHULTZ, Michael; LUBIG, Daniel; LUO, Mingchuan; JIMENEZ PEREZ, Edgar. **The Rise of the Smart Passenger I: Analysis of Impact on Departing Passenger Flow in Airports**. SESAR Innovation Days (SIDs) 2021, 2021. Disponível em: https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/sid/2021/papers/SIDs_2021_paper_71.pdf. Acesso em: 12 de Mar. 2025.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **NASA Electric Vertical Takeoff and Landing (eVTOL) Aircraft Technology for Public Services — A white paper**. NASA Transformative Vertical Flight Working Group 4 (TVF4). Disponível em: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205000636/downloads/2021-08-20-eVTOL-White-Paper-Final_V48.pdf. Acesso em: 11 de Mar. 2025.

PAUL, S.; DE LORENZO, M.; CORDIOLI, J. A. **Considerações iniciais sobre a regulamentação de ruído para aeronaves eVTOL**. Acústica e Vibrações, n. 52, jul. 2020.

PRADO, Carlos Eduardo Resende. **Internalização no direito brasileiro da obrigação de compensação de carbono pelas companhias aéreas no âmbito do Carbon Offset and Reduction Scheme for International Aviation (CORSA)**. 2021. 151 f. Dissertação (Mestrado em Direito) — Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SANTOS ESTEVO, J., FORTI THOMAZ, L., & DUARTE GONDIM, A. **Aviação civil e sustentabilidade no Brasil: o papel dos combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)**. Revista Brasileira De Transportes, 2024.