

# A Redução de CO<sub>2</sub> no Setor de Aviação Brasileiro

## CO<sub>2</sub> Reduction in the Brazilian Aviation Sector

Joyce Cesca<sup>1</sup>

Fabício Molica de Mendonça<sup>1</sup>

Paulo Henrique de Lima Siqueira<sup>1</sup>

Fabício Pablo Virgínio de Campos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, MG, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil

### Resumo

A intensificação do efeito estufa ocasionado pelas ações do homem tem contribuído na promoção de fenômenos catastróficos. Nesse sentido, diversos setores têm proposto e implementado medidas para minimizar esses efeitos. O setor de aviação tem desenvolvido estratégias, como o programa Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), criado pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) para compensação e redução de CO<sub>2</sub>. O presente estudo teve por finalidade analisar os meios opcionais, utilizados pelo setor de aviação, para atender as diretrizes da OACI. Para atingir os objetivos do estudo, realizou-se pesquisa qualitativa, bibliográfica e patentária nos sites Patentscope e INPI. Os resultados mostraram que são meios para reduzir a emissão de CO<sub>2</sub>: a promoção de políticas públicas, o desenvolvimento de motores e de modelos de aeronaves mais modernas, o uso de biocombustíveis, as medidas de mitigação de emissões pelas atividades nos aeroportos e a aquisição de crédito de carbono.

Palavras-chave: Biocombustíveis. Aviação. Sustentabilidade.

### Abstract

The intensification of the greenhouse effect caused by human actions has contributed to the promotion of catastrophic phenomena. In this sense, several sectors have proposed and implemented measures to minimize these effects. The aviation sector has developed strategies, such as the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), created by the International Civil Aviation Organization (ICAO) to offset and reduce CO<sub>2</sub>. The purpose of this study was to analyze the optional means, used by the aviation industry, to meet the ICAO guidelines. To achieve the objectives of the study, qualitative, bibliographic and patent research was conducted on the Patentscope and INPI websites. The results showed that the means to reduce CO<sub>2</sub> emissions are: the promotion of public policies, the development of engines and more modern aircraft models, the use of biofuels, emission mitigation measures by activities at airports and the acquisition of carbon credits.

Keywords: Biofuels. Aviation. Sustainability.

Área Tecnológica: Inovação e Sustentabilidade.



# 1 Introdução

O homem evoluiu ao longo dos séculos e com isso aprimorou seus conhecimentos e suas formas de sobrevivência, o que resultou na formação de uma sociedade racional que vive sob uma estrutura social baseada em algum sistema econômico que promove sua existência, por meio da produção e distribuição de renda. Sendo assim, as revoluções ocorridas em meio à evolução humana resultaram no atendimento momentâneo das demandas da sociedade que no longo prazo prejudicaram o que hoje é o único lugar em que é possível a existência humana, o Planeta Terra (KEMP, 2011).

Estudos afirmam que a Terra está cerca de 150 milhões de quilômetros de distância do sol, o que não impede que seus raios incidam sobre nosso planeta, protegido por meio de um sistema orgânico conhecido como atmosfera, composta de camadas de gases essenciais para a existência da vida (CAMPELLO; CENDÓN; KREMER, 2000).

Na atmosfera estão presentes gases como gás carbônico (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e vapor d'água, entre outros que promovem o efeito estufa. Nesse sentido, são chamados de gases de efeito estufa (GEE) que executam a função de reter o calor irradiado no planeta que possibilita a existência de vida na terra, caso contrário, poderia ocorrer a queda significativa das temperaturas, desse modo, causando a inviabilidade de sobrevivência para diversas espécies (KRUGER, [2021 ou 2022]).

Dessa forma, nota-se que a existência desses gases e o processo ocorrem de forma involuntária, mas que são intensificados perante um desequilíbrio dos causadores. Esse processo, de acordo com Kruger ([2021 ou 2022]), ocorre de maneira fracionada, ou seja, parte dos raios são refletidos de volta ao espaço, parte é absorvida e outra é retida ocasionando normalmente o efeito estufa, que tem ocorrido de maneira intensificada por meio da queima de combustíveis fósseis e desmatamento que aumentam a concentração desses gases e elevam a temperatura média da terra.

Esse aumento da temperatura altera as condições climáticas, resulta no aquecimento global e, conseqüentemente, gera problemas de intensificação de fenômenos naturais como derretimento de geleiras, furacões, enxurradas, entre outros. Inicialmente, alguns estudiosos acreditavam que esse evento se originava de causas naturais, mas com o avanço científico, foi detectado que as atividades humanas são as principais causadoras desse problema (IBF, 2020).

É possível citar diversas atividades que causam esses fenômenos, porém a queima de combustíveis fósseis para geração de energia, as atividades industriais, o desmatamento e a agropecuária são responsáveis por emitir maior quantidade de GEE (KRUGER, [2021 ou 2022]). Isso corrobora com o estudo de Lagoa *et al.* (2019), quando eles afirmam que praticamente todos os setores e atividades humanas resultam nas emissões de GEE, o que fez com que vários países assinassem o Protocolo de Quioto em 1997, com o intuito de fortalecer a necessidade de diminuir a poluição ocorrida.

A 21ª Conferência das Partes das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima (COP 21) ocorreu em dezembro de 2015 na França e resultou em um acordo climático aprovado por 195 nações nomeado de Acordo de Paris, que tem por finalidade ser referência com medidas estabelecidas para combater as mudanças climáticas e o aquecimento global, na busca por limitar a temperatura média do planeta em até 2° C até o final do século. Os países tiveram a

oportunidade de estabelecer suas metas e alguns setores industriais se manifestaram em favor à causa. O primeiro setor a estabelecer metas ambiciosas foi o de aviação, representado pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) (SOARES *et al.*, 2018).

Nesse sentido, segundo os dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2019b), “[...] no que compete ao volume de emissões de CO<sub>2</sub> – o principal gás de efeito estufa – a aviação responde por cerca de 2% do total mundial”. Antes mesmo do Acordo de Paris, o setor aéreo já desempenhava um papel ativo para reduzir a emissão de GEE. Segundo Soares *et al.* (2018), a Associação Internacional de Transporte Aéreo, em acordo com a OACI, aprovou a resolução Implementação da Estratégia de Crescimento de Carbono-Neutro da Aviação em 2013. De acordo com Cortez *et al.* (2015), essa resolução foi elaborada por meio de uma base tríplice: (1) melhoria média anual da eficiência de combustível de 1,5% entre 2010 e 2020; (2) crescimento neutro de carbono; (3) redução de 50% as emissões líquidas até 2050 em comparação com os níveis de 2005.

Em outubro de 2016, a OACI durante a 39<sup>a</sup> assembleia aprovou a resolução A39-3 que originou o Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), considerado o primeiro mecanismo global direcionado aos esforços para a compensação e redução das emissões setoriais para vigorar no período de 2021 a 2035 (SOARES *et al.*, 2018).

Assim, surge a seguinte questão de pesquisa: quais os meios opcionais para que se possa reduzir o CO<sub>2</sub> utilizando-se das diretrizes da OACI?

O presente estudo teve por finalidade analisar os meios opcionais, utilizados pelo setor de aviação, para alcançar a redução de CO<sub>2</sub> em atendimento às diretrizes da OACI. Buscou-se, ainda, descrever o procedimento de aquisição de crédito de carbono, identificar se os biocombustíveis para aviação podem reduzir a necessidade de aquisição de crédito de carbono e apontar as medidas que estão em desenvolvimento para atender à demanda de biocombustíveis para aviação no Brasil.

## 2 Metodologia

A pesquisa foi realizada por meio da abordagem qualitativa, que, segundo Knechtel (2014) é considerada complexa, por permitir ao pesquisador utilizar de flexibilidade e de diversidade, ao englobar uma predisposição baseada em fundamentos filosóficos. Quanto à natureza dos objetivos, é explicativa, pois busca registrar e analisar os fenômenos estudados, identificando suas causas seja por meio da aplicação do método experimental/matemático, seja por meio de interpretação possibilitada pelos métodos qualitativos (SEVERINO, 2010).

A coleta de dados foi realizada em dois momentos distintos, envolvendo a pesquisa bibliográfica e a documental por meio de busca e análise de informações tecnológicas contidas nos documentos de patentes sobre biocombustíveis de avião.

Com o intuito de atingir os objetivos estabelecidos neste estudo, inicialmente foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica que, segundo Gil (2008), tem como apoio material produzido e publicado livros, artigos científicos, entre outros. A pesquisa em questão utilizou de materiais bibliográficos disponíveis em base de dados como Periódicos Capes, Google Acadêmico e Scielo, entre o período de junho a agosto de 2022.

De acordo com Mattos (2015), a revisão de literatura é uma pesquisa que busca analisar as produções bibliográficas com foco em determinada área temática dentro de certo período de tempo, para elaboração de material ou relatório contendo uma visão geral do conteúdo ou com foco em determinado tópico específico do tema que tenha recebido maior ou menor destaque na literatura selecionada.

Também foi realizada uma pesquisa documental com os dados secundários armazenados no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e no Patentscope. De acordo com Martins e Theóphilo (2009), esse tipo de pesquisa tem a finalidade de reelaborar as informações obtidas por meio do levantamento do conhecimento científico gerado pelos documentos e provas, de acordo com o propósito de uma nova pesquisa.

Para a realização das buscas nessas bases, definiu-se, de acordo com a pesquisa bibliográfica, a utilização das palavras-chave agrupadas por operadores booleanos “or” e “and” para evitar a soma duplicada dos resultados, ou palavras-chave individuais, quando não se encontravam resultados agrupados, como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1** – Estratégia de busca relacionada com biocombustíveis de aviação

PALAVRAS-CHAVE (PORTUGUÊS)	PALAVRAS-CHAVE (INGLÊS)
biodiesel de aviação or biocombustível de aviação or bioquerosene de aviação	biodiesel aviation or biofuel aviation or biokerosene aviation
biodiesel de aviação and biocombustível de aviação and bioquerosene de aviação	biodiesel aviation and biofuel aviation and biokerosene aviation
biodiesel de aviação and biocombustível de aviação	biodiesel aviation and biofuel aviation
biodiesel de aviação and bioquerosene de aviação	biodiesel aviation and biokerosene aviation
biocombustível de aviação and bioquerosene de aviação	biofuel aviation and biokerosene aviation
biocombustível de aviação	biofuel aviation
bioquerosene de aviação	biokerosene aviation

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo

### 3 Resultados e Discussão

A sustentabilidade tem sido um assunto muito discutido no Brasil e no mundo, tanto pela questão da poluição por meio das indústrias, desmatamento, transporte veicular, mas também por conta do setor de aviação (SPENGLER, 2021).

O conceito defendido pela Organização das Nações Unidas (ONU, 1987) sobre o desenvolvimento sustentável consiste em um conjunto de atividades e de produção, que são realizadas com o intuito de atender às necessidades atuais de forma a não comprometer o mesmo atendimento para as próximas gerações, promovendo o equilíbrio entre sociedade, a economia e o meio ambiente.

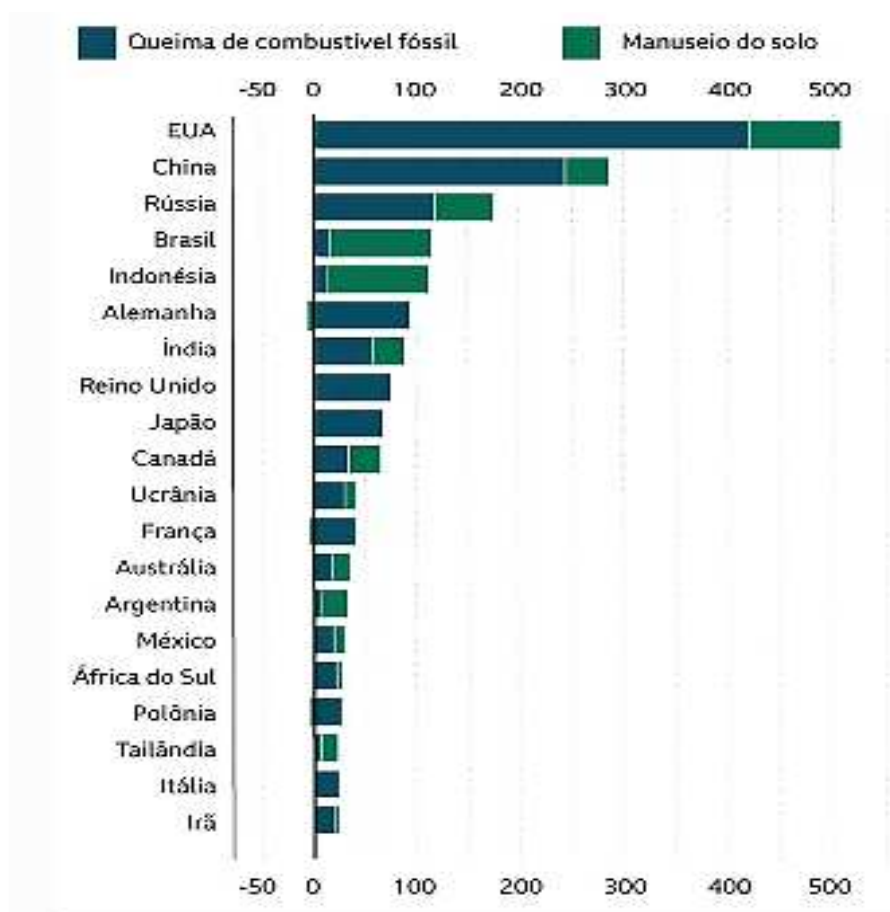
Com foco na redução das emissões de GEE pelo setor de aviação, o Brasil, em apoio aos ideais da OACI, tem adotado medidas como a introdução de regulamentos de redução das emissões na fonte, utilização de estratégias de mercado e de incentivo à pesquisa e produção e

comercialização de combustíveis alternativos que reduzam os impactos de poluição ambiental causados pela aviação (ANAC, 2019a).

O setor de aviação antes da pandemia de COVID-19 era responsável por 2% das emissões globais de CO<sub>2</sub>. Com a pandemia, houve uma redução de 75% das emissões nesse setor no mês de abril de 2020, em comparação com abril de 2019 (PERES *et al.*, 2021). O que fortalece a afirmação de Passarinho (2021) sobre a diminuição das emissões ocorridas no setor de aviação no que tange ao transporte de passageiros e à demanda por combustível de aviação.

Em um contexto mundial de maiores poluidores, segundo o levantamento publicado pela Carbon Brief, em 2021, considerando além da queima de combustível fóssil, a poluição causada pela destruição de florestas entre o período de 1850 a 2021 teve como principais responsáveis os seguintes países: EUA, China, Rússia e o Brasil na quarta posição do *ranking* (PASSARINHO, 2021). Essa classificação pode ser acompanhada mais detalhadamente na Figura 1.

**Figura 1** – Países com maior acúmulo de emissões de CO<sub>2</sub> no período de 1850 a 2021



Fonte: Passarinho (2021)

Em 2020, o Brasil teve um aumento total de 9,5% nas emissões de gases poluentes mesmo que em período de pandemia, conforme os dados do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima. O Brasil liberou 2,16 bilhões de toneladas de gás carbônico em 2020, contra 1,97 bilhão em 2019. O desmatamento foi o maior causador desse resultado, que impactou a ponto de compensar as reduções nas emissões causadas pela paralisação da economia durante a pandemia (PASSARINHO, 2021).

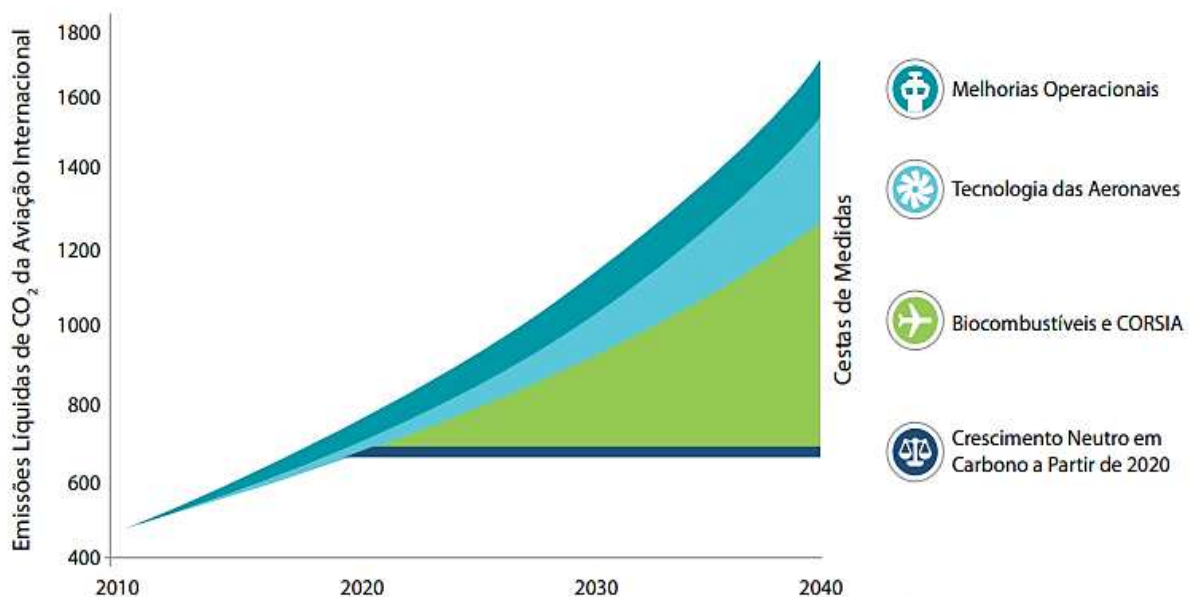
Dessa forma, pode-se inferir que a queima de combustível fóssil pelo setor de aviação não foi o principal responsável por esse resultado, mas o setor tem estabelecido ambiciosas metas para mitigar as emissões de CO<sub>2</sub>. Desempenha assim um papel de exemplo para todos os outros setores.

O Brasil desde a década de 1970 tem proposto e implementado programas que regulam e incentivam o desenvolvimento e o uso de biocombustíveis no país, podendo ser citados: o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), criado 1975 com foco na libertação da dependência do petróleo; o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) criado inicialmente por meio da Medida Provisória n. 214 de 2004, posteriormente convertida na Lei n. 11.097 de 2005, com o intuito de estimular e de apoiar a produção do biocombustível e a participação da agricultura familiar na sua cadeia de produção; o Programa Nacional do Bioquerosene, criado em 2009 com foco no “[...] incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas que não concorram com a produção de alimentos, visando à sustentabilidade da aviação brasileira, através de recursos e incentivos fiscais [...]”; e a Lei n. 13.576 de 2017, que instituiu a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), busca a redução das emissões de GEE por meio da produção, comercialização e uso de biocombustíveis (ALLISON 2016; BRASIL 2005; BRASIL, 2017; YOSHINAGA *et al.*, 2020; UBRABIO, 2020).

### 3.1 O CORSIA/OACI

O CORSIA tem como premissa a redução e a compensação de toda emissão que ocorrer além da média verificada entre 2019 e 2020, com a implementação do mecanismo de controle aplicado a todos os países, reservado às exceções. A partir de 2027, a redução deve ocorrer por meio da utilização de biocombustíveis ou pela compensação por meio da aquisição de crédito de carbono. Para além do programa, pretende-se alcançar o crescimento neutro em carbono (SOARES *et al.*, 2018; YOSHINAGA *et al.*, 2020), conforme demonstrado na Figura 2.

**Figura 2** – Contribuição das medidas para reduzir as emissões líquidas de CO<sub>2</sub> da aviação internacional



Fonte: Adaptada de CORSIA/OACI em Soares *et al.* (2018)

Em acordo com o programa CORSIA desenvolvido pela OACI que está em vigor com previsão de adesão mandatória em 2027, o Brasil tem fomentado políticas públicas de incentivo e de preparo para o cumprimento futuro das metas estabelecidas pelo programa.

Esse sistema é composto de três fases (Figura 3). A primeira é denominada Fase piloto, compreende o período de 2021 a 2023 em que a participação dos países e companhias é voluntária. A segunda, denominada Fase I foi estabelecida para o período entre 2024 a 2026. A terceira, denominada Fase II, estabelecida para o período entre 2027 a 2035, que ocorre de forma compulsória para todos os países, com ressalva aos países menos desenvolvidos, pequenas ilhas em desenvolvimento e os países que não alcançaram o percentual mínimo na contribuição das emissões totais do setor. O Brasil não se voluntariou para as fases facultativas, limitando-se a reportar as emissões de suas atividades aéreas durante o período obrigatório (RODRIGUES; HENKES, 2021).

**Figura 3** – Fases da implementação do programa CORSIA



Fonte: Soares *et al.* (2018)

### 3.2 Combustíveis e Biocombustíveis para Aviação

Os combustíveis são utilizados no funcionamento e no abastecimento de veículos, desde carros até aviões, e promovem o funcionamento por meio de suas reações químicas. Podem ser derivados de origem fóssil ou renovável. Os combustíveis fósseis são responsáveis por agravar as emissões de GEE. Além de serem um recurso limitado, podem ser encontrados na forma de carvão, petróleo ou gás natural, já os renováveis são oriundos de recursos naturais ou biomassa (MADSEN; HENKES, 2021).

Os combustíveis fósseis têm sido utilizados na aviação. Por muito tempo, a gasolina automotiva foi o principal combustível utilizado. Com a implementação dos motores mais modernos, os combustíveis evoluíram, surgindo a gasolina de aviação, o querosene iluminante e o querosene não iluminante (FIGUEIREDO, 2018).

Para Madsen e Henkes (2021), as substâncias derivadas de biomassa renovável, biodegradável e livres de enxofre e compostos aromáticos são definidas como biocombustíveis. Como exemplo, podem ser citados o etanol, o biodiesel e a bioquerosene de aviação que não causam grandes impactos ao meio ambiente.

Os produtos especificados para uso no Brasil consistem em: o querosene de aviação (QAV), conhecido como Jet A-1 ou QAV-1 derivado de petróleo obtido por meio do refino; a gasolina de aviação, também obtida a partir do refino de um derivado do petróleo; e o querosene de aviação alternativo (QAV alternativo), obtido a partir de fontes alternativas, como biomassa, gases residuais, resíduos sólidos, carvão e gás natural, produzido por processos específicos e bem definidos (ANP, 2019).

Em 2017 foi criada a Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos Renováveis para a Aviação com o intuito de fortalecer e de apoiar a realização de pesquisa, desenvolvimento e inovação de bioquerosene (UBRABIO, 2020).

O bioquerosene têm se mostrado um potencial substituto para o querosene, pois apresenta o mesmo desempenho como combustível. Pode ser obtido por diversas matérias-primas, entre elas: açúcares, amido, óleos, biomassa e materiais residuais, e suas emissões são compensadas durante a sua produção. Em virtude de seu processo produtivo resultar em hidrocarbonetos semelhantes aos do combustível fóssil, esse biocombustível também gera CO durante a queima. Entretanto, durante seu ciclo produtivo, o dano é reduzido, visto que a matéria-prima empregada é originada de plantas que absorvem o gás carbônico e, assim, compensam o carbono emitido durante a queima (BETIOLO; ROCHA; MACHADO, 2009; YOSHINAGA *et al.*, 2020).

No contexto da Climate Change Conference of the Parties (COP26), realizada em Glasgow, e a base do acordo de Paris, o Brasil se comprometeu em reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de referência de 2005, em 2025. O país assumiu também o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 50% abaixo dos níveis de 2005, em 2030 e de alcançar a neutralidade climática em 2050. Essa Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) foi submetida ao Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, do inglês United Nations Framework Convention on Climate Change) em 9 de dezembro de 2020 (BRASIL, 2022).

Entre as medidas possíveis de serem tomadas com esse objetivo, destaca-se a ampliação do uso de biocombustíveis. Apesar de possuir uma sólida produção de combustíveis sustentáveis para veículos automotores, não há no país atualmente desenvolvimento tecnológico relevante na produção de combustíveis sustentáveis de aviação (Sustainable Aviation Fuel – SAF). No entanto, o Brasil tem uma robusta produção agropecuária que gera grande quantidade de resíduos e, conseqüentemente, de matéria-prima de baixo custo. Possui destaque internacional em geração de energia elétrica renovável, seja eólica ou solar, com grande potencial de crescimento. Ao mesmo tempo, tem um mercado interno de transporte aéreo bem desenvolvido e com grande potencial de crescimento. Adicionalmente, o país possui políticas robustas de precificação de carbono (CBIOS).

No Brasil a mistura de biocombustível com o combustível derivado do petróleo é permitida desde que atendidos os percentuais de mistura preestabelecidos pela American Society for Testing and Materials (ASTM), que segue critérios rigorosos para a aceitação de misturas de biocombustíveis com o QAV de origem fóssil, para garantir a segurança, tendo como base a qualidade e o uso de equipamentos sem necessidade de alterações, para isso, as normas de controle podem incluir parâmetros eventuais diferentes dos comumente utilizados na análise do QAV derivado de petróleo (ANP, 2019).



### 3.3 Pesquisas e Desenvolvimento de Novas Tecnologias

Em 2017 foi criado o Projeto de Lei n. 9.321/2017, que posteriormente foi transformado na Lei Ordinária n. 14.248/2021, que “[...] estabelece o Programa Nacional do Bioquerosene para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira” (MME, 2021).

Segundo Blakey e Wilson (2011), as pesquisas têm focado no desenvolvimento de combustíveis chamados de *drop in*, termo que faz referência aos combustíveis alternativos que podem ser utilizados nas aeronaves sem que elas necessitem de alterações em seus motores.

Em consequência aos esforços empenhados, os fabricantes de aeronaves comerciais têm utilizado modelos mais novos com motores mais econômicos no consumo de combustíveis. Existem pesquisas que comprovam que os biocombustíveis para aviação podem promover uma redução de 50% a 80% na emissão de carbono quando comparados com os combustíveis fósseis (LAGOA *et al.*, 2019).

O fator de risco relacionado aos biocombustíveis de aviação é elevado, pois a maioria dos combustíveis tende a congelar em temperaturas muito baixas nas altitudes às quais os aviões são submetidos, portanto, o biocombustível precisa ter o mesmo desempenho do querosene de aviação tradicional (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2011).

As empresas de aeronaves têm investido na produção de novos modelos para atender às demandas atuais. Nesse sentido, segundo Lagoa *et al.* (2019), foi produzida pela Airbus a aeronave A320 neo, composta de corredor único e que promove a redução de 20% de combustível por assento de passageiro.

O programa ecoDemonstrator da Boeing tem acelerado a inovação, desenvolvendo as tecnologias promissoras do laboratório e testando-as no ar, no intuito de superar os desafios atuais. Em 2016 a Embraer, em parceria com a Boeing, realizou o voo do E170, que é uma aeronave desenvolvida com características que melhoram o desempenho dos voos, diminuindo os impactos no meio ambiente, cujo abastecimento é por biocombustível feito a partir da cana-de-açúcar (G1, 2016).

Nesse contexto, a Embraer, em 2021, anunciou uma família-conceito de aeronaves comerciais de baixa e zero emissão, modelos diversificados e compostos de novas tecnologias de propulsão, no total são quatro aeronaves desenvolvidas. Segundo o diretor-presidente da Embraer, a empresa tem intensificado seus esforços para minimizar a pegada de carbono e, por isso, assinou uma carta de intenções com a Raízen, que é uma empresa referência em bioenergia, para estimular o desenvolvimento de um ecossistema de produção de combustível de aviação sustentável (EMBRAER, 2021; BALIBOUSE; FRONTINI, 2022).

Os aeroportos também têm implantado medidas para a redução das emissões geradas em suas atividades. Em 2020, o Aeroporto Internacional de Guarulhos, por meio da criação do Projeto AGILE GRU, definiu medidas como a redução no tempo de execução para pouso e decolagem entre as aeronaves que utilizam a mesma pista, com isso, reduziu o consumo de combustíveis e, conseqüentemente, a emissão de poluentes. O Ministério da Infraestrutura, em ação com a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), publicou um conjunto de medidas no Plano de Ação para a Redução das Emissões de CO<sub>2</sub> da Aviação Civil Brasileira a serem empregadas até 2030 para que o aeroporto seja ainda mais sustentável (SPENGLER, 2021).

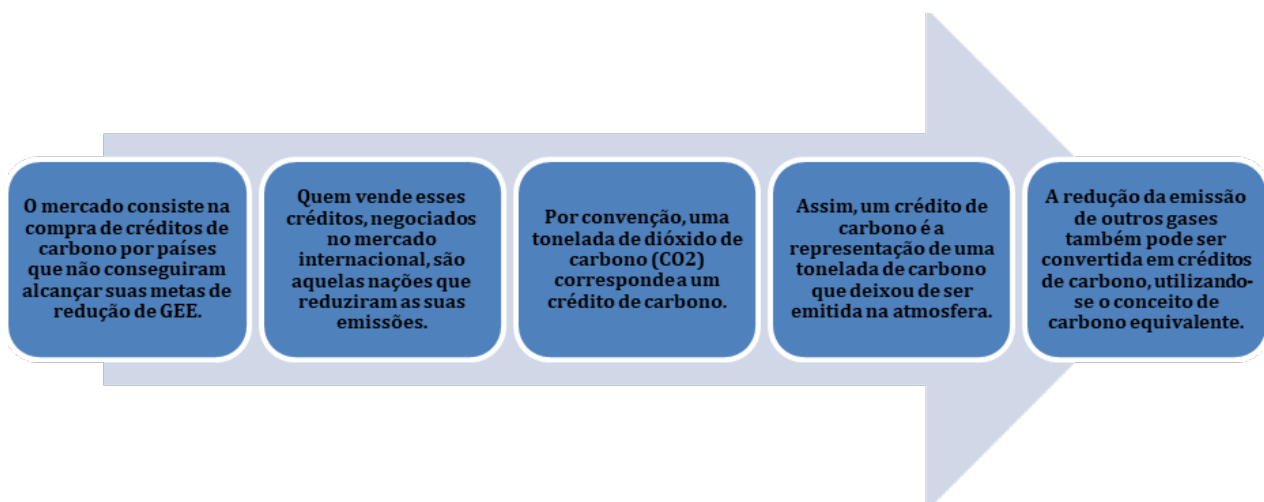
Uma vez que a eletrificação e o uso do hidrogênio não se mostraram viáveis para voos longos (WEI *et al.*, 2019; TRANSPORT & ENVIRONMENT, 2018), a produção de SAF derivado da biomassa se mostra a rota mais rápida de descarbonização da aviação.

Em Boeing *et al.* (2013) são descritas nove diferentes matérias-primas que poderiam ser processadas para a produção de biocombustíveis de aviação, certificadas pela ASTM D7566. Segundo Takriti, Pavlenko e Searle (2017), as rotas qualificadas para a mistura com o QAV (Querosene de Aviação tradicional) são: Hydrotreated Esters and Fatty Acids (HEFA), Fischer-Tropsch (FT): ambos com mistura de até 50%; Alcohol-to-Jet (ATJ): mistura de até 30%. A rota HEFA está contida na classificação de Conversão de Lipídios, a rota ATJ está contida na classificação Conversão Bioquímica e a FT está contida na Conversão Termoquímica.

### 3.4 Crédito de Carbono

Outra medida promissora no atendimento à compensação de CO<sub>2</sub> que pode ser utilizada pelo setor da aviação é a Redução Certificada de Emissões (RCE) ou como é popularmente conhecido o Crédito de Carbono, e seu funcionamento é representado por meio da Figura 4. Cada unidade de crédito de carbono representa uma tonelada de carbono que deixou de ser emitida para a atmosfera. Há várias maneiras de gerar crédito de carbono, como: diminuição do desmatamento, substituição dos combustíveis fósseis e maior utilização de biomassas renováveis (SUSTAINABLE CARBON, 2015).

**Figura 4** – Esquema de crédito de carbono



Fonte: Adaptada de Justino (2021)

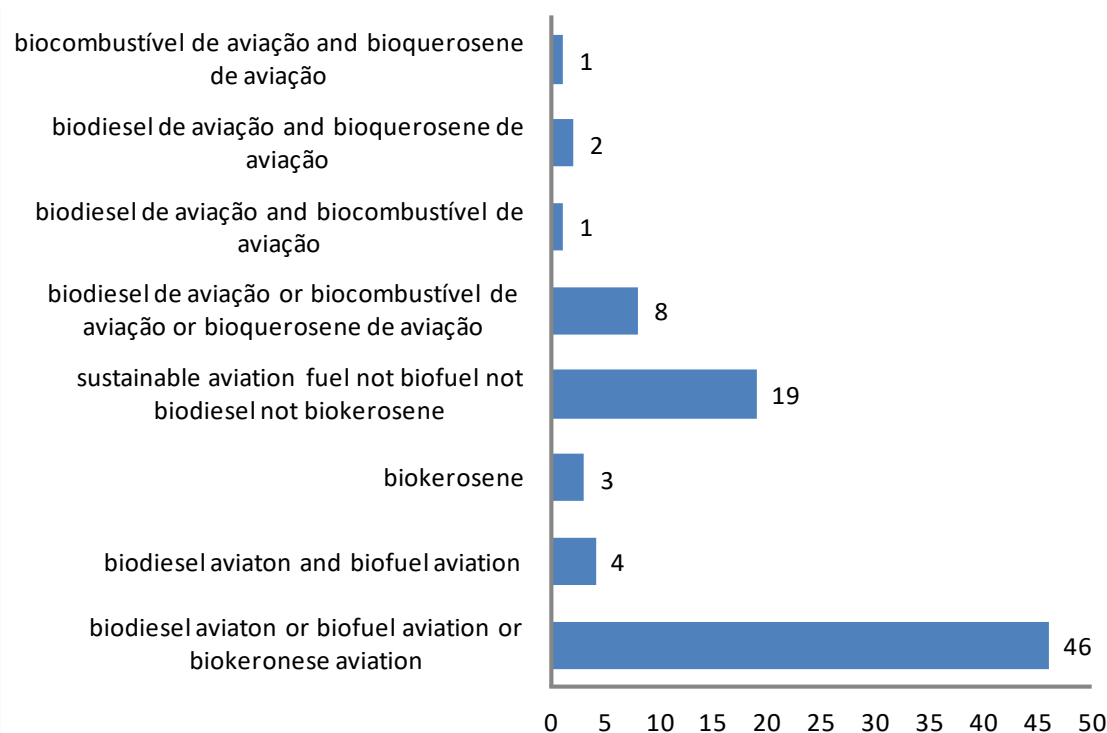
A redução da emissão de outros gases também pode ser convertida em créditos de carbono, utilizando-se o conceito de carbono equivalente.

Assim como constatado na Figura 2, as possibilidades de impactos em estratégias que envolvam combustíveis renováveis são muito grandes, entre essas estratégias, destaca-se o RenovaBio, que tem como peça central a negociação de CBIOS, os certificados de descarbonização que têm como intuito incentivar o uso de combustíveis renováveis, em detrimento das alternativas fósseis. O programa foi criado em 2017, por meio da Lei n. 13.576, que estabeleceu a Política Nacional de Biocombustíveis. Detalhes de seu funcionamento foram regulamentados ao longo de 2018 e 2019.

### 3.5 Propriedade Intelectual no Setor de Biocombustíveis para Aviação

No cenário de mudanças e de avanços em diversas áreas, um ponto de relevância é a proteção das propriedades intelectuais. Segundo a World Intellectual Property Organization, (WIPO, 2021), toda propriedade intelectual refere-se às criações da mente, desde obras de arte até invenções, passando por programas de computador, marcas, patentes, entre outros. Dessa forma, todo processo ou produto criado, desde que atendidos os requisitos, devem ser submetidos a sua devida proteção para ter garantias legais perante o mercado. Existem *sites* que possibilitam o acompanhamento das tecnologias que estão em desenvolvimento, em processo de entrada no mercado ou já disponíveis para consumo. Os resultados das pesquisas realizadas nos *sites* Patentscope e Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) para o setor de biocombustíveis de aviação estão representados na Figura 5.

**Figura 5** – Resultado da pesquisa por patentes no Patentscope e INPI



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Após a verificação e a exclusão das duplicadas entre o INPI e Patentscope, foi possível constatar a quantidade de tecnologias desenvolvidas na área que estejam em processo de proteção ou protegidas. Observa-se uma quantidade de 84 tecnologias relacionadas à produção de combustível de aviação provenientes de biocombustíveis, biodiesel e bioquerosene, além de tecnologias sustentáveis com outros tipos de combustíveis.

Interessante observar que os dois países que mais têm desenvolvido tecnologia nessa área são China e Estados Unidos, sendo que, por exemplo, na pesquisa “Biodiesel aviation or biofuel aviation or biokerosene aviation”, a China lidera com 17 registros, seguida pelos Estados Unidos com oito. Com relação à evolução temporal, o destaque acontece no ano de 2022, com oito registros com a palavra-chave “sustainable aviation fuel not biofuel not biodiesel not biokerosene”.

## 4 Considerações Finais

O trabalho teve por finalidade analisar os meios opcionais, utilizados pelo setor de aviação, para alcançar a redução de CO<sub>2</sub> em atendimento às diretrizes da OACI. Para isso, foi realizada uma pesquisa qualitativa, utilizando-se da pesquisa bibliográfica e da busca e análise de informações sobre patentes relacionadas aos combustíveis sustentáveis de aviação, obtida nos sites Patentscope e INPI.

Estratégias como o uso de biocombustíveis, biodiesel e bioquerosene de aviação e a compensação de CO<sub>2</sub>, por meio da aquisição de crédito carbono, têm sido consideradas dentro da premissa do programa CORSIA, desenvolvido pela OACI, para reduzir a emissão que ocorrer além da média verificada nos anos de 2019 e 2020.

Nesse sentido, o Brasil tem fomentado políticas públicas de incentivo e de preparo para o cumprimento futuro das metas estabelecidas pelo programa, criando a Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos Renováveis para a Aviação, em 2017 e promulgando a Lei n. 14.248/2021, que estabeleceu o Programa Nacional do Bioquerosene para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira.

Além do esforço dessas políticas, há o interesse do setor privado em desenvolver motores e modelos de aeronaves mais modernas e econômicos no consumo desses biocombustíveis; implementação de medidas de mitigação de emissões pelas atividades desenvolvidas nos aeroportos.

O engajamento entre empresas, instituições de ensino e governo representa uma possibilidade para a realização de estudos mais aprofundados e desenvolvimento de tecnologias na área de biocombustíveis para aviação, assim como para melhorar a qualidade de vida para a sociedade e no gerenciamento dos recursos naturais de forma consciente para que a geração futura desfrute da mesma oportunidade. Os resultados da pesquisa por patentes no Patentscope e no INPI constataram que há tecnologias desenvolvidas protegidas e em processo de proteção relacionadas à produção de combustível de aviação provenientes de biocombustíveis, biodiesel e de bioquerosene, além de tecnologias sustentáveis com outros tipos de combustíveis.

## 5 Perspectivas Futuras

Em termos de sua contribuição, este estudo avança ao analisar as inovações ocorridas no setor de aviação para mitigar a emissão de CO<sub>2</sub> no meio ambiente. Como perspectivas futuras, pretende-se identificar como essas estratégias têm sido implementadas e, ainda, analisar os papéis dos diferentes atores no cumprimento das diretrizes e metas estabelecidas no CORSIA.

A perspectiva de futuras contribuições passará pela análise dos possíveis impactos das premissas que estão subsidiando a construção da política pública de introdução do combustível de aviação sustentável na matriz energética brasileira, aprovadas pelo Comitê Técnico do Programa Combustível do Futuro, em 26 de janeiro de 2022. Toda a estratégia nacional para a introdução desses combustíveis na matriz energética está sendo desenvolvida no âmbito do Programa Combustível do Futuro, no seu subcomitê ProBioQAV. O programa segue as diretrizes da Resolução n. 7/2021, do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), visando à proposição de arcabouço legal e infralegal (MME, 2022).

## Referências

- ALLISON, E. **Proálcool**: uma das maiores realizações do Brasil baseada em ciência e tecnologia. Agência Fapesp, 2016. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/proalcool-uma-das-maiores-realizacoes-do-brasil-baseadas-em-ciencia-e-tecnologia/24432/>. Acesso em: 2 ago. 2022.
- ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Certificação ambiental de produtos aeronáuticos**. 2019a. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/mudanca-climatica>. Acesso em: 3 ago. 2022.
- ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento brasileiro de aviação civil**. 2019b. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/mudanca-climatica>. Acesso em: 3 ago. 2022.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Produção e fornecimento de biocombustíveis**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis>. Acesso em: 6 ago. 2022.
- BALIBOUSE, D.; FRONTINI, B. Embraer e Raízen fecham parceria para produção de combustível de aviação sustentável. **CNN Brasil**, 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/embraer-e-raizen-fecham-parceria-para-producao-de-combustivel-de-aviacao-sustentavel/>. Acesso em: 2 ago. 2022.
- BETIOLO, C. R.; ROCHA, G. C.; MACHADO, P. R. de C. Iniciativas da aviação para redução das emissões de CO<sub>2</sub>. In: SIMPÓSIO DE TRANSPORTE AÉREO, v. 8, n. 2009, p. 401-409, 2009. **Anais [...]**. [S.l.], 2009.
- BOEING *et al.* **Plano de voo para biocombustíveis de aviação no Brasil – Plano de ação**. 2013. Disponível em: <http://www.fapesp.br/publicacoes/plano-de-voe-biocombustiveis-brasil-pt.pdf>. Acesso em: 14 out. 2022.
- BLAKEY, S.; WILSON, C.W. Aviation gas turbine alternative fuels: a review. **Proceedings of the Combustion Institute**, [s.l.], v. 33, n. 2, p. 2.863-2.885, 2011.
- BRASIL. Lei n. 11.097 de janeiro de 2005. Dispõe a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 jan. 2005. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm). Acesso em: 20 jul. 2022.
- BRASIL. Lei n. 13.576 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 dez. 2017. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/113576.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113576.htm). Acesso em: 20 jul. 2022.
- CAMPELLO, B. S.; CENDÓN, B. V.; KREMER, J. M. **Fontes de informação para pesquisadores e profissionais**. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2000.
- CORTEZ, L. A. B *et al.* Perspectives for Sustainable Aviation Biofuels in Brazil. **International Journal of Aerospace Engineering**, [s.l.], 2015.
- EMBRAER – EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA. **Relatório Anual Embraer**, 2021. Disponível em: <https://esg.embraer.com/br/pt/relatorio-anual>. Acesso em: 25 jul. 2022.
- FIGUEIREDO, L. A. G. Motores e combustíveis de aviação. **Aeromagazine**, [s.l.], 2018. Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/motores-e-combustiveisdeaviacao>. Acesso em: 6 ago. 2022.

G1, Avião que usa biocombustível de cana e tecnologias sustentáveis é testado. **G1.com**, 2016. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2016/11/aviao-que-usa-biocombustivel-de-cana-e-tecnologias-sustentaveis-e-testado.html>. Acesso em: 2 ago. 2022.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IBF – INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTA. **Aquecimento global**: reflexos do desmatamento. 2020. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/aquecimento-global>. Acesso em: 6 ago. 2022.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Brasileiros desenvolvem bioquerosene de aviação**, 2011. Disponível em: [www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bioquerosene-aviacao](http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bioquerosene-aviacao). Acesso em: 7 ago. 2022.

INPI – INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Pesquisa em Propriedade Industrial**. [2022]. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/jsp/patentes/PatenteSearchBasico.jsp>. Acesso em: 2 ago. 2022.

KEMP, K. **Homem e sociedade**. São Paulo: Editora Sol, 2011.

KNECHTEL, M. R. **Metodologia da pesquisa em educação**: uma abordagem teórico-prática dialogada. Curitiba: Intersaberes, 2014.

KRUGER, E. **Efeito estufa e mudanças climáticas**. [2021 ou 2022]. Disponível em: [https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/educacaoambiental/conceitos/efeitoestufa\\_e\\_mudancasclimaticas/](https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/educacaoambiental/conceitos/efeitoestufa_e_mudancasclimaticas/). Acesso em: 1 ago. 2022.

JUSTINO, G. **Mercado de Carbono**: o que é e como funciona uma das principais apostas contra as mudanças climáticas. 2021. Disponível em: <https://umsoplaneta.globo.com/clima/noticia/2021/07/08/mercado-de-carbono-o-que-e-e-como-funciona-uma-das-principais-apostas-contras-as-mudancas-climaticas.ghtml>. Acesso em: 1º de ago. de 2022.

LAGOA, M. V. B *et al.* Desenvolvimento sustentável na aviação civil: estudo de caso da United Airlines. In: XI FATECLOG, 2019. **Anais** [...]. [S.l.], 2009. Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/2019/DESENVOLVIMENTO%20SUSTENT%3%81VEL%20NA%20AVIA%3%87%3%83O%20CIVIL%20ESTUDO%20DE%20CASO%20DA%20UNITED%20AIRLINES.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2022.

MADSEN, R.; HENKES, J. A. A aviação civil e a inserção do bioquerosene no Brasil. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 6-34, 2021.

MARTINS, G. de A.; THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MATTOS, Paulo de Carvalho. **Tipos de revisão de literatura**. São Paulo: UNESP, 2015. v. 2.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Lei n. 14.248/2021**. [2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/leis/lei-n-14-248-2021.pdf/view>. Acesso em: 6 ago. 2022.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estudo sobre governança e políticas públicas de incentivo à produção de combustíveis sustentáveis de aviação**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/combustivel-do-futuro/subcomites-1/probioqav/documentos-do-subcomite-1/estudo-1-probioqav-mme-proqr-giz-governanca-politicas-publicas-saf-oficial-1.pdf>. Acesso em: 6 out. 2022.

- ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A aviação civil transportou 41 bilhões de passageiros em 1987**. [1987]. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/aviacao-civil-transportou-41-bilhoes-de-passageiros-em-2017/>. Acesso em: 5 ago. 2022.
- PASSARINHO, N. O Brasil é 4º no mundo em ranking de emissão de gases poluentes desde 1850. **BBC**, 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-59065359>. Acesso em: 1º ago. 2022.
- PASSARINHO, N. COP26: na contramão do mundo, Brasil teve aumento de emissões de CO2 em ano de pandemia, **BBC**, 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-59065361>. Acesso em: 1º ago. 2022.
- PATENTSCOPE. Pesquisa nas coleções nacionais e internacionais de patentes. **Patentscope**, 2022. Disponível em: <https://patentscope.wipo.int/search/pt/search.jsf>. Acesso em: 6 ago. 2022.
- PERES, S. *et al.* Uso dos coprodutos da indústria do biodiesel para produção de bioquerosene de aviação. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 7, n. 4, p. 36.898-36.907, 2021.
- RODRIGUES, S. L.; HENKES, J. A. Sustentabilidade Ambiental na Aviação: O Programa Corsia e sua aplicação no Brasil. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, [s.l.], v. 1, n. 3, p. 145-164, 2021.
- SEVERINO, A. J. Desafios da formação humana no mundo contemporâneo. **Revista de Educação PUC**, Campinas, n. 29, p. 153-164, 2010.
- SOARES, P. *et al.* **Esquema de redução de emissões da Aviação Civil Internacional (CORSA/ICO): desafios e oportunidades**. São Paulo: Idesam, 2018.
- SPENGLER, V. **O impacto ambiental causado pela aviação civil brasileira**. Palhoça, SC: Ânima Educação, 2021.
- SUSTAINABLE CARBON. **O que é e como são gerados os créditos de carbono?** 2015. Disponível em: <https://www.sustainablecarbon.com/como-sao-gerados/>. Acesso em: 23 jul. 2022.
- TAKRITI, S. E.; PAVLENKO, N.; SEARLE, S. Mitigating international aviation emissions - Risks and opportunities for alternative jet fuels. In: THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION (ICCT). Washington, DC, USA, 2017. **Anais** [...]. Washington, 2017.
- TRANSPORT & ENVIRONMENT. **Roadmap for Decarbonising European Aviation Brussels**. 2018. Disponível em: [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2018\\_10\\_Aviation\\_decarbonisation\\_paper\\_final.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2018_10_Aviation_decarbonisation_paper_final.pdf). Acesso em: 18 de jul. 2022.
- UBRABIO. **Bioquerosene no Brasil**, 2020. Disponível em: <https://ubrablo.com.br/wp-content/uploads/2018/03/BioquerosenenoBrasil.pdf>. Acesso em: 1º ago. 2022.
- WIPO – WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. **O que é propriedade intelectual?** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/acao-a-informacao/legislacao/leis/lei-n-14-248-2021.pdf/view>. Acesso em: 3 ago. 2022.
- WEI, H. *et al.* Renewable bio-jet fuel production for aviation: a review. **Fuel**, [s.l.], v. 254, 2019.
- YOSHINAGA, F. *et al.* Bioquerosene para aviação: cenário atual e perspectivas futuras. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, [s.l.], v. 10, n. 1, 2020.

## Sobre os Autores

### **Joyce Cesca**

*E-mail:* joycecesca106@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0343-9169>

Graduada em Engenharia de Produção pela Faculdade Machado Sobrinho (FMS).

Endereço profissional: Centro Regional de Inovação e Transferência de Tecnologia (CRITT), Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro, Juiz de Fora, MG. CEP: 36036-900.

### **Fabício Molica de Mendonça**

*E-mail:* fabriciomolica@ufsj.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8909-6843>

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Endereço profissional: Departamento de Ciências Administrativas e Contábeis, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Campus Tancredo Neves (CTAN), Avenida Visconde do Rio Preto, s/n. São João del Rei, MG. CEP: 36300-000.

### **Paulo Henrique de Lima Siqueira**

*E-mail:* paulosiqueira@ufsj.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8204-7846>

Doutor em Administração pela Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Endereço profissional: Departamento de Ciências Administrativas e Contábeis, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Campus Tancredo Neves (CTAN), Avenida Visconde do Rio Preto, s/n. São João del Rei, MG. CEP: 36300-000.

### **Fabício Pablo Virgínio de Campos**

*E-mail:* fabricio.campos@ufjf.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9522-7351>

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Endereço profissional: Centro Regional de Inovação e Transferência de Tecnologia (CRITT), Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro, Juiz de Fora, MG. CEP: 36036-900.