

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM MOTORES PW1100G NO AIRBUS A320NEO E
O IMPACTO NA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL****Alessandro Ribeiro de Mendonça¹****Luiz Fernando Guedes Souza²****Bruno César de Andrade Silva³****Jairo Afonso Henkes⁴****RESUMO**

O crescimento da aviação tem levado a uma maior consciência de seu impacto ambiental, levando a Airbus a buscar soluções tecnológicas para reduzir as emissões de gases poluentes e o consumo de combustível. O presente artigo tem como objetivo identificar como estas inovações podem influenciar na redução de gases poluentes e contribuir para a sustentabilidade ambiental. A abordagem metodológica consistiu em uma coleta de dados de voos no primeiro trimestre de 2023 com aeronaves A320ceo e A320neo extraídos de uma empresa de linha aérea regular no Brasil que opera regularmente a rota Aeroporto Internacional de Congonhas-SP (CGH) – Aeroporto Internacional de Brasília-DF (BSB). A análise desses dados permitiu avaliar o desempenho ambiental das aeronaves, destacando os impactos das inovações tecnológicas nos motores PW1100G. Logo, o estudo proporcionou um debate sobre a sustentabilidade ambiental na aviação, fornecendo uma visão da relação entre tecnologia aeroespacial e sustentabilidade. Os resultados demonstram melhorias substanciais no funcionamento do novo motor PW1100G, refletindo-se em uma diminuição significativa do consumo de combustível. A análise revelou uma redução média de aproximadamente 19,99% no consumo de combustível de viagem (*TripFuel*) nas aeronaves A320neo em comparação com as A320ceo. Além disso, o estudo identificou uma diminuição de 3,50% no consumo de combustível de reserva (*ReserveFuel*) e uma redução de cerca de 17,49% no combustível destinado ao aeroporto alternativo (*AlternateFuel*). O combustível para espera alternativa (*HoldAlternFuel*) registrou a maior economia, com uma queda média de 22,80%. Essas melhorias não apenas contribuem para a eficiência operacional, mas também têm um impacto positivo na sustentabilidade ambiental, reduzindo as emissões de gases poluentes e apoiando os esforços para uma aviação mais ecoeficiente.

Palavras-chave: Inovação tecnológica; motores PW1100G; Airbus A320neo; gestão ambiental; sustentabilidade.

¹ Piloto de Linha Aérea. Comandante. Acadêmico do Curso de Ciências Aeronáuticas pela Faculdade de Tecnologia AeroTD. E-mail: aero737br@yahoo.com.br

¹ Piloto de Linha Aérea. Comandante. Acadêmico do Curso de Ciências Aeronáuticas pela Faculdade de Tecnologia AeroTD. E-mail: lfgs.guedes@gmail.com

¹ Engenheiro Mecânico e Mestre em Tecnologia de Materiais, CEFET/RJ. Professor na AEROTD. E-mail: bruno.bcas@gmail.com

⁴ Mestre em Agroecossistemas (UFSC, 2006). Especialista em Administração Rural (UNOESC, 1997). Engenheiro Agrônomo (UDESC, 1986). Professor e Pesquisador nas Áreas de Gestão Ambiental, Ciências Aeronáuticas, Agronomia, Administração e Engenharia Ambiental. AEROTD. <https://orcid.org/0000-0002-3762-471X>. E-mail: jairohenkes333@gmail.com

TECHNOLOGICAL INNOVATION IN PW1100G ENGINES IN THE AIRBUS A320NEO AND THE IMPACT ON ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

ABSTRACT

The growth of aviation has led to greater awareness of its environmental impact, prompting Airbus to seek technological solutions to reduce emissions of pollutants and fuel consumption. This article aims to identify how these innovations can influence the reduction of pollutant emissions and contribute to environmental sustainability. The methodological approach involved collecting flight data in the first quarter of 2023 from A320ceo and A320neo aircraft operated by a regular airline in Brazil that regularly services the route from Congonhas International Airport-SP (CGH) to Brasília International Airport-DF (BSB). The analysis of this data allowed for an assessment of the environmental performance of the aircraft, highlighting the impacts of technological innovations in PW1100G engines. Consequently, the study provides a discussion of environmental sustainability in aviation, offering insights into the relationship between aerospace technology and sustainability. The results demonstrate substantial improvements in the operation of the new PW1100G engine, resulting in a significant reduction in fuel consumption. The analysis revealed an average reduction of approximately 19.99% in trip fuel consumption in A320neo aircraft compared to A320ceo. Additionally, the study identified a decrease of 3.50% in reserve fuel consumption and a reduction of approximately 17.49% in alternate fuel consumption. The fuel for alternate holding (HoldAlternFuel) showed the highest savings, with an average decrease of 22.80%. These improvements not only contribute to operational efficiency but also have a positive impact on environmental sustainability by reducing emissions of pollutants and supporting efforts towards a more eco-efficient aviation.

Keywords: Technological innovation; PW1100G engines; Airbus A320neo; environmental management; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da aviação e sua preocupação com o impacto ambiental, a Airbus tem se concentrado na inovação tecnológica de seus motores para reduzir as emissões de gases poluentes e o consumo de combustível (FERREIRA; GARCIA; HENKES, 2020). De acordo com as pesquisas de Naslauski e Henkes (2021), a *Airbus* tem investido em tecnologias mais eficientes e sustentáveis para empregar em suas aeronaves tornando-as mais eficientes e sustentáveis.

Outra iniciativa importante da *Airbus* é o desenvolvimento de motores com menor emissão de poluentes como o motor *PurePower PW1100G* que utiliza tecnologia de redução de emissões de NOx (óxido nitroso), que é um dos principais gases responsáveis pelo aquecimento global (COSTA; HENKES, 2021). Diante deste aspecto utiliza-se a tecnologia como aliada da sustentabilidade ambiental, Maia (2022) ressalta que a inovação tecnológica em motores utilizados nas aeronaves *Airbus A320* não só tem impacto positivo no quesito ambiental, mas também na eficiência operacional das aeronaves.

A indústria aeronáutica tem seu papel na contribuição de emissões de gases como Dióxido de Carbono (CO²) e outros poluentes para a atmosfera, o que levou a uma crescente pressão governamental para a redução de seu impacto ambiental (NASLAUSKI; HENKES, 2021). Nesse contexto, a *Airbus* tem investido em tecnologias inovadoras para motores de avião com o objetivo de tornar as operações sustentáveis ambientalmente. Ferreira, Garcia e Henkes (2020) afirmam que os novos motores da Airbus, como o PW1100G no A320neo, são mais eficientes no consumo de combustível e emitem menos poluentes.

Vê-se que essas inovações tecnológicas apresentam uma oportunidade para melhorar a sustentabilidade ambiental da indústria aérea. Porém, desafios ainda persistem para tornar essas tecnologias mais acessíveis e economicamente viáveis para as empresas do setor (MAIA, 2022). É necessário garantir que essas novidades estejam em conformidade com as regulamentações governamentais e padrões internacionais.

As possibilidades de utilização da tecnologia para promover a sustentabilidade ambiental são muitas, por isso é importante compreender de que modo elas podem ser utilizadas voltadas à melhoria da eficiência dos motores e redução de emissões (GARCIA; HENKES, 2020). Diante do exposto, tem-se a seguinte problemática: como as inovações tecnológicas na motorização do modelo *Airbus A320neo* contribuíram para a performance ambiental e sustentabilidade na aviação?

O presente estudo tem como objetivo geral analisar a contribuição das melhorias tecnológicas nos motores PW1100G do *Airbus A320neo* para compreender como essas inovações tecnológicas aprimoraram o desempenho destas aeronaves, sua performance ambiental e sustentabilidade. Como objetivos específicos, esta investigação busca: i) identificar as principais inovações tecnológicas nos motores PW1100G do *Airbus A320neo* comparadas com os motores *Airbus A320ceo*; ii) avaliar o impacto dessas inovações na redução de emissões de gases poluentes e; iii) demonstrar como as inovações tecnológicas em motores PW1100G no *Airbus A320neo* podem contribuir para a performance ambiental e a sustentabilidade destas aeronaves.

Este trabalho tem como justificativa a crescente importância da indústria da aviação, que está testemunhando avanços tecnológicos notáveis, especialmente no desenvolvimento de motores aeronáuticos, devido à crescente conscientização ambiental (Maia, 2022). Com a aviação contribuindo significativamente para as emissões globais de gases de efeito estufa, a busca por práticas de negócios sustentáveis e inovações tecnológicas pela *Airbus* assume um papel crucial na redução das emissões de CO₂ e na promoção da sustentabilidade ambiental (COSTA; HENKES, 2021). Além disso, a análise dessas inovações não só impacta o setor de aviação, mas também contribui para o esforço global de combate às mudanças climáticas. Além dos benefícios ambientais, esses avanços tecnológicos também desempenham um papel econômico fundamental, oferecendo economia de combustível e eficiência operacional que podem reduzir os custos das companhias aéreas e melhorar sua competitividade (FERREIRA; GARCIA; HENKES, 2020).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A indústria da aviação experimentou mudanças significativas nas últimas décadas, com notáveis progressos na tecnologia dos motores das aeronaves. Esses avanços desempenharam um papel fundamental na melhoria da eficiência dos voos, na redução dos custos operacionais e na minimização do impacto ambiental. Portanto, é de suma importância adquirir uma compreensão ampla das inovações dos motores de avião, juntamente com os mais recentes progressos em design e tecnologia, a fim de obter uma compreensão completa da trajetória presente e futura da indústria aeroespacial.

2.1 MOTORES DE AVIAÇÃO COMERCIAL: INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

A evolução dos motores de aviação comercial representa um capítulo fascinante na história da indústria aeroespacial. Ao longo das últimas décadas, têm-se visto notáveis avanços que transformaram não apenas a eficiência dos voos, mas também o próprio paradigma da aviação. Esse progresso tem sido impulsionado por uma combinação de inovações tecnológicas, novos materiais e abordagens inovadoras de design. Nesse contexto, é essencial compreender a trajetória dessa evolução para apreciar plenamente seu impacto no setor.

Os motores a reação foram uma revolução no século XX e são a base para a aviação comercial contemporânea. Esses motores surgiram como uma alternativa aos motores a pistão e revolucionaram a indústria aeronáutica, oferecendo maior velocidade e eficiência (SILVA; GRINET; SILVA, 2022). A transição para os motores *turbofan* foi motivada pela busca por maior eficiência de combustível e redução do ruído. Os motores *turbofan* se caracterizam por terem uma parte do ar de entrada que é direcionada ao redor do núcleo do motor, em vez de passar por ele, o que resulta em uma operação mais silenciosa e eficiente (BALLI; CALISKAN, 2021).

Vê-se que a evolução contínua dos motores de avião tem sido influenciada por um conjunto de fatores, incluindo avanços tecnológicos, regulamentações ambientais e demanda do mercado. As inovações mais recentes na tecnologia de

motores de avião têm focado na melhoria da eficiência energética e na redução do impacto ambiental.

A pesquisa realizada por Silva, Grinet e Silva (2022) sobre a saúde de motores *turbofan* por meio de aprendizado de máquina, usando dados de voo reais, ilustra como a aviação comercial está adotando tecnologias avançadas para monitorar e otimizar o desempenho dos motores. Esse tipo de abordagem representa um passo significativo em direção à manutenção preditiva e à eficiência operacional, contribuindo para a confiabilidade e segurança das aeronaves.

Além disso, a evolução na seleção de materiais, conforme revisada por Chatterjee e Bhowmik (2019), é um aspecto essencial da inovação na indústria. A busca por materiais mais leves e resistentes tem levado à aeronaves mais eficientes em termos de consumo de combustível e a reduções substanciais nos custos operacionais. Essa mudança não apenas impacta diretamente em economia às companhias aéreas, mas também reduz a pegada de carbono da aviação, alinhando-se com os objetivos de sustentabilidade ambiental cada vez mais prementes.

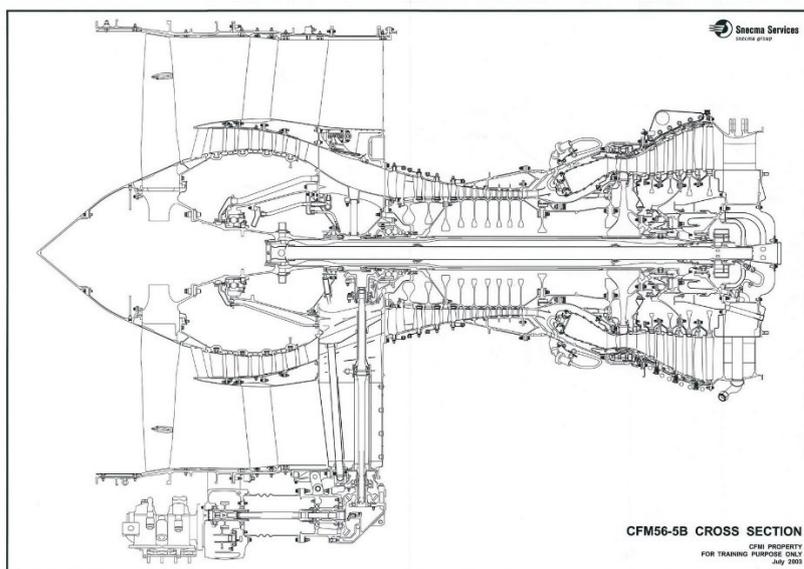
Outro ponto de interesse compreende a automação e a digitalização, exploradas por Valdés *et al.*, (2018) de que representam uma revolução na segurança e na eficiência da aviação. A tendência em direção à "Aviação 4.0" envolve a integração de sistemas avançados de controle e monitoramento, melhorando significativamente a segurança das operações aéreas. Isso é particularmente relevante em um mundo onde a conectividade e a análise de dados desempenham um papel central na tomada de decisões.

Observa-se, portanto, que a evolução dos motores da aviação comercial testemunha a capacidade da indústria aeroespacial de abraçar a inovação. Desde o uso de máquinas para aprimorar a manutenção, até a seleção de materiais mais eficientes e da automação avançada. A indústria aeronáutica está se transformando em uma indústria mais segura, eficiente e sustentável.

2.2 O A320NEO E O A320CEO

O *Airbus A320ceo* e o *Airbus A320neo* representam duas fases distintas na história da aeronave A320 da *Airbus*. O A320ceo foi lançado na década de 1980, marcando um avanço revolucionário na aviação comercial com a adoção de tecnologia *fly-by-wire*, que substituiu os controles mecânicos convencionais por sistemas eletrônicos. O A320ceo também incorporou motores mais eficientes para a época, como os da família CFM56 da *CFM International* e o IAE V2500. Essa aeronave ganhou reconhecimento por sua economia operacional e capacidade de transporte de passageiros (KNIGHT, 2018) (Figura 1).

Figura 1 – Motor CFM56 -5B



Fonte: Pafaero (2023).

Os motores da família CFM56¹ são conhecidos por sua confiabilidade e desempenho. O motor CFM56-5B é composto por várias partes, conforme ilustrado na Figura 1. Dentre elas, destacam-se a montagem de suporte de empuxo dianteira e a válvula de alta pressão, que são os elementos essenciais para o funcionamento eficiente do motor. Além disso, o motor conta com um regulador de ar de sangria e um sensor de velocidade de 1º estágio para garantir um controle

¹ A Família CFM56 SGP abrange todos os modelos CFM56, incluindo o CFM56-3, CFM56-5A (usado no A320), CFM56-5B (usado no A320), CFM56-5C (usado no A340) e CFM56-7B (usado no B737).

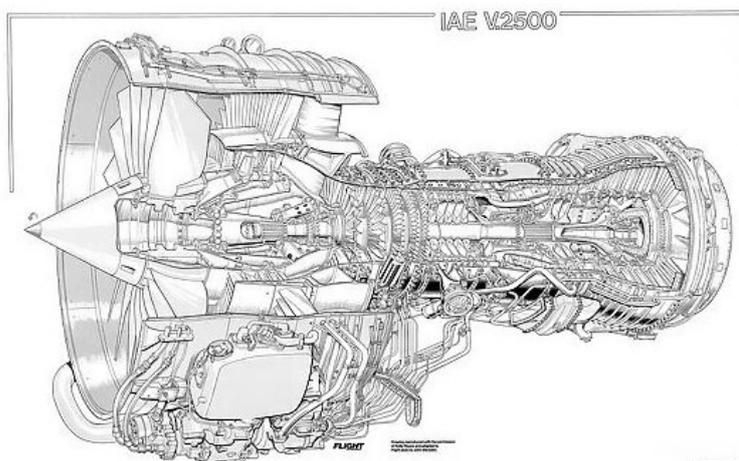
preciso. A regulação de pressão e a válvula de fechamento (*pressure regulator and shutoff valve*) desempenham um papel importante na distribuição de combustível, com 20 bicos de injeção de combustível (*fuel nozzles*) garantindo uma queima precisa e eficaz (PAFAERO, 2023).

Por outro lado, os motores IAE V2500, produzidos pela *International Aero Engines* (IAE), também equipam aeronaves A320, oferecendo uma alternativa. Uma das principais diferenças é que o CFM56 é um motor de fluxo axial, enquanto o V2500 (Figura 2) é um motor de fluxo misto, o que afeta o desempenho e a eficiência. Além disso, as diferentes variantes de motores dentro de cada família podem ser diferentes em termos de empuxo e especificações técnicas.

As especificações de rotações por minuto (RPM) para motores específicos da família CFM56 e IAE V2500 podem variar ligeiramente entre diferentes modelos e versões desses motores. Em geral, os motores CFM56, usados em aeronaves como o *Airbus A320* e o *Boeing 737*, costumam operar em faixas de RPM típicas para motores a jato comercial. No caso dos motores IAE V2500, que também são utilizados em aeronaves A320, as RPM seguiriam faixas semelhantes às dos motores CFM56 para operações típicas de jato comercial (RIBEIRO, 2012).

Revista Brasileira de Aviação Civil

Figura 2 – Motor IAE V2500



Fonte: Flight Global (2023).

Já o *Airbus A320neo*, por outro lado, é uma versão aprimorada e mais recente do A320, introduzida no início do século XXI. A sigla "NEO" refere-se à adoção de motores "*New Engine Option*", que incluem principalmente os motores

PW1100G da *Pratt & Whitney* e CFM LEAP-1A. O A320neo foi projetado com foco na eficiência de combustível e na redução das emissões, incorporando inovações tecnológicas e aerodinâmicas para melhorar o desempenho e a sustentabilidade ambiental. Ele oferece uma economia de combustível substancial em comparação com o A320ceo, tornando-se uma escolha atraente para companhias aéreas que buscam reduzir custos operacionais e minimizar seu impacto ambiental (KNIGHT, 2018).

A comparação entre os motores do *Airbus* A320neo e A320ceo tem sido um tópico de interesse significativo na aviação comercial, com implicações tanto econômicas quanto ambientais. O estudo realizado por Lesmes Chavez (2019) oferece uma visão de grande interesse sobre a eficiência de combustível e as características de desempenho dos motores dessas aeronaves. O A320neo é equipado com motores mais avançados, como os PW1100G da *Pratt & Whitney*, que incorporam tecnologias de ponta para melhorar a eficiência de combustível e reduzir as emissões de poluentes. Por outro lado, o A320ceo possui motores mais antigos e menos eficientes em termos de consumo de combustível.

De acordo com Benito e Alonso (2019), a eficiência energética na aviação é uma preocupação fundamental, não apenas para reduzir custos operacionais, mas também para enfrentar as crescentes pressões ambientais. Os motores do A320neo foram projetados para proporcionar uma economia de combustível significativa em comparação com seus predecessores do A320ceo. Isso não apenas beneficia as companhias aéreas em termos de redução de despesas operacionais, mas também contribui para a redução das emissões de CO₂ e, portanto, para a mitigação das mudanças climáticas.

Os estudos de Lesmes Chavez (2019) e Benito e Alonso (2019) fornecem uma base sólida para argumentar que a adoção de motores mais eficientes, como os encontrados no A320neo, é uma medida essencial para aprimorar a sustentabilidade ambiental da aviação comercial. Além disso, a eficiência de combustível também está intimamente ligada à competitividade das companhias aéreas em um mercado global altamente competitivo.

2.3 GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE NA AVIAÇÃO

O impacto ambiental da aviação é um assunto de grande importância na atualidade. A indústria da aviação é uma fonte significativa de emissões de gases de efeito estufa, e tem enfrentado uma crescente pressão para melhorar a sustentabilidade de suas operações (MAIA, 2022).

Compreende-se que a indústria da aviação enfrenta desafios significativos relacionados à sustentabilidade ambiental devido à sua contribuição para as emissões globais de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais. A gestão ambiental na aviação tornou-se uma prioridade não apenas para atender às regulamentações governamentais, mas também para responder às crescentes expectativas dos consumidores por viagens aéreas mais sustentáveis (HENRIQUES, 2018).

Programas de certificação e etiquetagem ambiental, como o programa *Carbon Offset and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA), estão se tornando mais comuns. Eles permitem que as companhias aéreas demonstrem seu compromisso com a sustentabilidade e ofereçam aos passageiros a opção de compensar suas emissões de carbono (RODRIGUES; HENKES, 2021). Já sobre modernização da frota: a substituição de aeronaves mais antigas por modelos mais eficientes em termos de combustível, como o *Airbus A320neo*, desempenha um papel fundamental na redução das emissões (SOUZA JUNIOR, 2023).

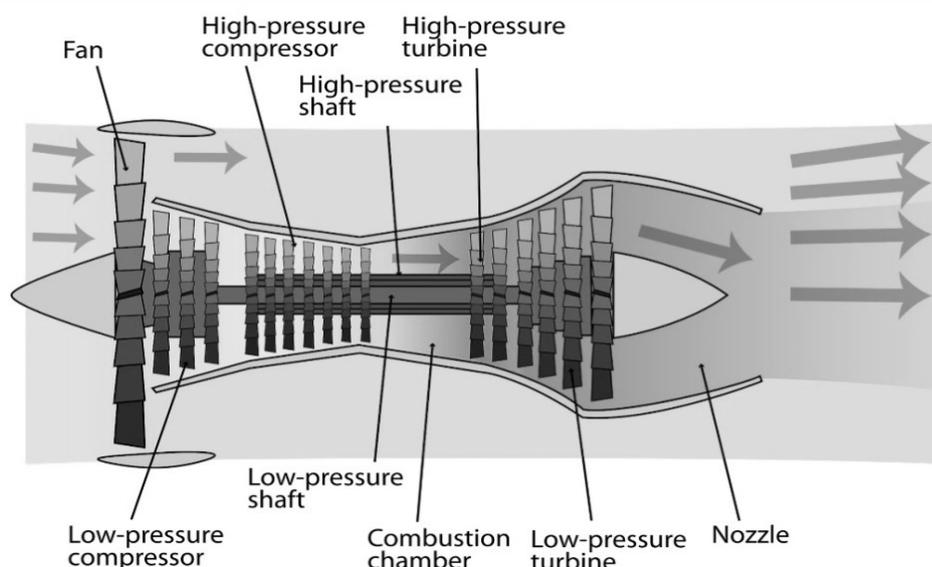
À vista disso, entende-se que a inovação tecnológica, particularmente nos motores de aeronaves, pode contribuir para a redução dessas emissões. Ferreira, Garcia e Henkes (2020) salientam que a adoção de tecnologias mais eficientes em termos energéticos pode diminuir o impacto das operações aéreas no meio ambiente. Isso se torna ainda mais relevante ao considerar os avanços na tecnologia dos motores e a consequente redução do ruído gerado pelas aeronaves, contribuindo para uma maior sustentabilidade ambiental.

2.4 TECNOLOGIA GEARED TURBOFAN ENGINE (GTF)

A tecnologia *Geared Turbofan Engine* (GTF), como os motores PW1100G da *Pratt & Whitney*, representa um avanço notável na indústria da aviação. Essa

inovação tecnológica envolve uma mudança fundamental na arquitetura dos motores de aeronaves, com o objetivo de melhorar a eficiência e a sustentabilidade ambiental (HOU; CAO, 2019). A seguir, são discutidos os principais aspectos da tecnologia GTF. Na Figura 2 é apresentada como a tecnologia GTF funciona.

Figura 2 - Tecnologia GTF



Fonte: Bangalore Aviaton (2017).

Observa-se que a tecnologia GTF reconfigura a tradicional arquitetura de motores *turbofan*. Em motores convencionais, o compressor de baixa pressão e o compressor de alta pressão estão acoplados diretamente à mesma árvore de transmissão, o que significa que ambos operam a uma velocidade fixa. No entanto, nos motores GTF, um sistema de engrenagens permite que o compressor de baixa pressão e o *fan* (ventilador) operem independentemente do compressor de alta pressão e da turbina (CSANK; THOMAS, 2017).

Isso oferece uma série de vantagens. O *fan*, que é responsável pela maior parte do empuxo e da eficiência do motor, pode operar a uma velocidade mais baixa, reduzindo o consumo de combustível e as emissões. Além disso, o compressor de alta pressão e a turbina podem operar em velocidades otimizadas para melhor eficiência. Essa abordagem modular aumenta a eficiência global do motor (HOU; CAO, 2019).

Chapman e Litt (2017), em seu trabalho de controle de design para um avançado motor GTF, destacaram a importância de projetar sistemas de controle eficazes para aproveitar ao máximo os benefícios dessa tecnologia. Eles enfatizam que o GTF oferece a capacidade de operar diferentes componentes do motor de forma independente, o que requer uma abordagem de controle sofisticada para otimizar a eficiência e o desempenho. Esse controle preciso é fundamental para alcançar os ganhos substanciais em economia de combustível e redução de emissões oferecidos pelo GTF (CHAPMAN; LITT, 2017).

A questão do ruído gerado por aeronaves equipadas com motores GTF também têm sido objeto de estudos. Bertsch *et al.*, (2019) realizaram uma avaliação de ruído de sistema em uma aeronave do tipo "tube-and-wing" com motores GTF. Este estudo aborda não apenas os benefícios ambientais, mas também a experiência dos passageiros, uma vez que motores GTF operando a velocidades mais baixas resultam em menor ruído, melhorando o conforto dos viajantes (BERTSCH *et al.*, 2019).

Csank e Thomas (2017) contribuíram com uma análise dinâmica de um motor GTF com bocal de ventilador de área variável, destacando a complexidade do sistema e a necessidade de entender seu comportamento em várias condições operacionais. Já Hou e Cao (2019) realizaram uma análise dinâmica não linear sobre o sistema de engrenagens planetárias em motores GTF, destacando a importância de compreender a mecânica interna desses motores. Vê-se, portanto, que a tecnologia GTF está redefinindo a aviação comercial, proporcionando economia de combustível, redução de emissões e menor ruído.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção, é abordado o percurso metodológico adotado neste estudo, que engloba a estruturação e execução da pesquisa. São detalhadas a abordagem metodológica escolhida, a amostragem, os métodos de coleta de dados e os procedimentos seguidos para obtenção das informações necessárias e as técnicas de análise aplicadas.

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A abordagem metodológica do presente estudo é de natureza quantitativa descritiva. De acordo com Lunetta e Guerra (2023), a metodologia quantitativa descritiva é uma abordagem de pesquisa que se concentra na coleta e análise de dados numéricos com o objetivo de descrever fenômenos, padrões ou relações entre variáveis. É amplamente utilizada em diversas áreas, incluindo ciências sociais, ciências naturais e engenharia, para fornecer uma compreensão detalhada e objetiva de um determinado tópico de estudo.

Para a análise quantitativa de dados operacionais, o presente estudo envolveu a coleta e análise de dados de voos, com registros de informações de desempenho de consumo de combustível das aeronaves A320ceo equipadas com os motores CFM56 e IAE V2500 e das aeronaves A320neo equipadas com motor PW1100G. Compreende-se que nesse tipo de metodologia, os pesquisadores coletam dados por meio de instrumentos como testes, medições ou análise de registros existentes e, em seguida, utilizam técnicas estatísticas para resumir, organizar e interpretar esses dados (PEREIRA *et al.*, 2018).

A ênfase está na geração de informações quantificáveis que possam ser analisadas estatisticamente, permitindo uma compreensão mais precisa e geralmente mais objetiva dos fenômenos estudados. Frente ao principal objetivo deste estudo, a investigação buscou entender de que maneira essas inovações contribuem para a diminuição das emissões de gases poluentes, bem como para a eficiência energética, promovendo uma visão da relação entre a tecnologia aeronáutica e a preservação do meio ambiente.

3.2 AMOSTRAGEM

A amostra de voos para este estudo foi selecionada frente aos voos realizados nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2023, visto que esses meses proporcionam uma amostragem que abarca diferentes condições climáticas e operacionais ao longo do primeiro trimestre do ano. A seleção da rota escolhida foi a rota entre o Aeroporto de Congonhas (CGH) e o Aeroporto de

Brasília (BSB), uma rota de relevância significativa no contexto da aviação brasileira devido à sua natureza comercial com relação a conexão de voos e à importância estratégica que possui para o transporte aéreo doméstico.

Como uma das rotas mais movimentadas do país, ela é frequentemente utilizada por viajantes a negócios e turistas, servindo como uma ligação vital entre duas importantes cidades do Brasil. Além disso, a rota abrange uma distância considerável para voos domésticos de média distância, o que a torna representativa para análises que envolvem aeronaves de corredor único, como o A320neo e o A320ceo. Logo, esta rota foi escolhida por representar uma amostragem relevante de voos domésticos de média distância, operados com aeronaves A320neo e A320ceo

3.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Para a coleta de dados foi utilizada uma planilha do Microsoft Excel especialmente desenvolvida para este estudo, com dados de 379 voos com aeronaves A320ceo e A320neo da rota pré-selecionada entre os meses de janeiro, fevereiro e março de 2023, de uma empresa de linha aérea "A", de aviação civil comercial regular, que atua no Brasil.

Esta planilha contém informações sobre voos planejados que saíram do aeroporto de São Paulo (SBSP) com destino ao aeroporto de Brasília (SBBR), utilizando como alternado o aeroporto de Belo Horizonte (SBCF). Considerando os voos com o mesmo *GndDistance*, (que em português significa "Distância Terrestre") de 547 milhas náuticas e o mesmo *GCDistance* de 469 milhas náuticas o estudo adotou uma abordagem sistemática de seleção de 116 voos com aeronaves do modelo A320ceo e 25 voos com aeronaves do modelo A320neo.

Quanto ao combustível necessário para esses voos, foram consideradas quatro variáveis: i) o combustível de São Paulo para Brasília (*trip fuel*); ii) o combustível para o aeroporto de alternativa (*alternate fuel*); iii) o combustível para espera (*holding fuel*) e; iv) o combustível para reserva de rota (*reserve fuel*) de acordo com o RBAC 121.645 (ANAC, 2022). Foi desconsiderado para a análise dos

dados o combustível utilizado para o taxi (*taxi fuel*) devido sua grande variabilidade nesses aeroportos.

Compreende-se que o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil - RBAC 121.645 estabelece as normativas que orientam o fornecimento de combustível necessário para a execução segura do voo planejado, incorporando margens para eventualidades e desvios em relação à operação originalmente planejada. Logo, o RBAC foi utilizado como referencial normativo que impacta diretamente nas práticas operacionais e nos resultados obtidos nesta pesquisa.

As principais variáveis-chave avaliadas nesta etapa incluem: i) eficiência no consumo de combustível; ii) emissões de poluentes atmosféricos; e iii) desempenho operacional. Para avaliar a eficiência de combustível das aeronaves A320ceo e A320neo, foram utilizados os dados do consumo médio de quilos de combustível por milha náutica voada e o abastecimento médio para a realização do voo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a introdução do A320neo na aviação comercial adotando os novos motores PW1100G da *Pratt & Whitney* com substancial inovação tecnológica visando a eficiência de combustível e diminuição das emissões de gases, disponibilizou-se para as empresas aéreas uma aeronave mais moderna e econômica. Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados e discutidas suas implicações no contexto da pesquisa sobre inovação tecnológica em motores PW1100G no *Airbus A320neo* e seu impacto na sustentabilidade ambiental na aviação.

As variáveis observadas estão de acordo com o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC 121.645) que determina o suprimento de combustível utilizável para completar o voo planejado com segurança e para permitir desvios com relação à operação planejada (ANAC, 2022). Na Tabela 1, são apresentadas as médias dos principais parâmetros de consumo de combustível e desempenho operacional, com base em um conjunto dos 116 voos das aeronaves A320ceo.

Tabela 1- Médias dos parâmetros de consumo de combustível e desempenho operacional dos 116 voos A320ceo

TripFuel (kg)	ReserveFuel (kg)	AlternateFuel (kg)	HoldAlternFuel (kg)	Fuel (kg/milha voada)
3.565,91	207,25	2.423,52	1.084,73	6,51

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Os resultados indicam que a média do combustível gasto para a realização do trecho de São Paulo (SBSP) para Brasília (SBBR) nas aeronaves A320ceo foi de 3.565,91kg. Em relação ao combustível de reserva, a média foi de 207,25kg. O combustível para aeroporto alternativo de Belo Horizonte (SBCF) teve uma média de 2.423,52kg, enquanto o combustível para espera de alternativa registrou uma média de 1.084,73kg. Por fim, a média do combustível gasto por milha voada no trecho de São Paulo (SBSP) para Brasília (SBBR) foi de 6,51kg/milha voada.

A seguir, na Tabela 2, são apresentadas as médias dos parâmetros de consumo de combustível e desempenho operacional com base em um conjunto de 25 voos das aeronaves A320neo.

Tabela 2- Médias dos parâmetros de consumo de combustível e desempenho operacional dos 25 voos A320neo

TripFuel (kg)	ReserveFuel (kg)	AlternateFuel (kg)	HoldAlternFuel (kg)	Fuel (kg/milha voada)
2.852,44	200	1.999,52	837,04	5,21

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Os resultados indicam que a média do combustível gasto para a realização do trecho de São Paulo (SBSP) para Brasília (SBBR) nas aeronaves A320neo foi de 2.852,44kg. Em relação ao combustível de reserva, a média foi de 200kg. O combustível para aeroporto alternativo de Belo Horizonte (SBCF) teve uma média de 1.999,52kg, enquanto o combustível para espera alternativa registrou uma média de 837,04kg. Por fim, a média do combustível gasto por milha voada no trecho de São Paulo (SBSP) para Brasília (SBBR) foi de 5,21kg/milha voada.

A seguir na Tabela 3, são apresentadas as diferenças percentuais entre os valores médios dos parâmetros de consumo de combustível e desempenho operacional das aeronaves A320ceo (Tabela 1) e A320neo (Tabela 2).

Tabela 3- Diferença percentual comparativa entre as médias de consumo A320ceo e A 320neo

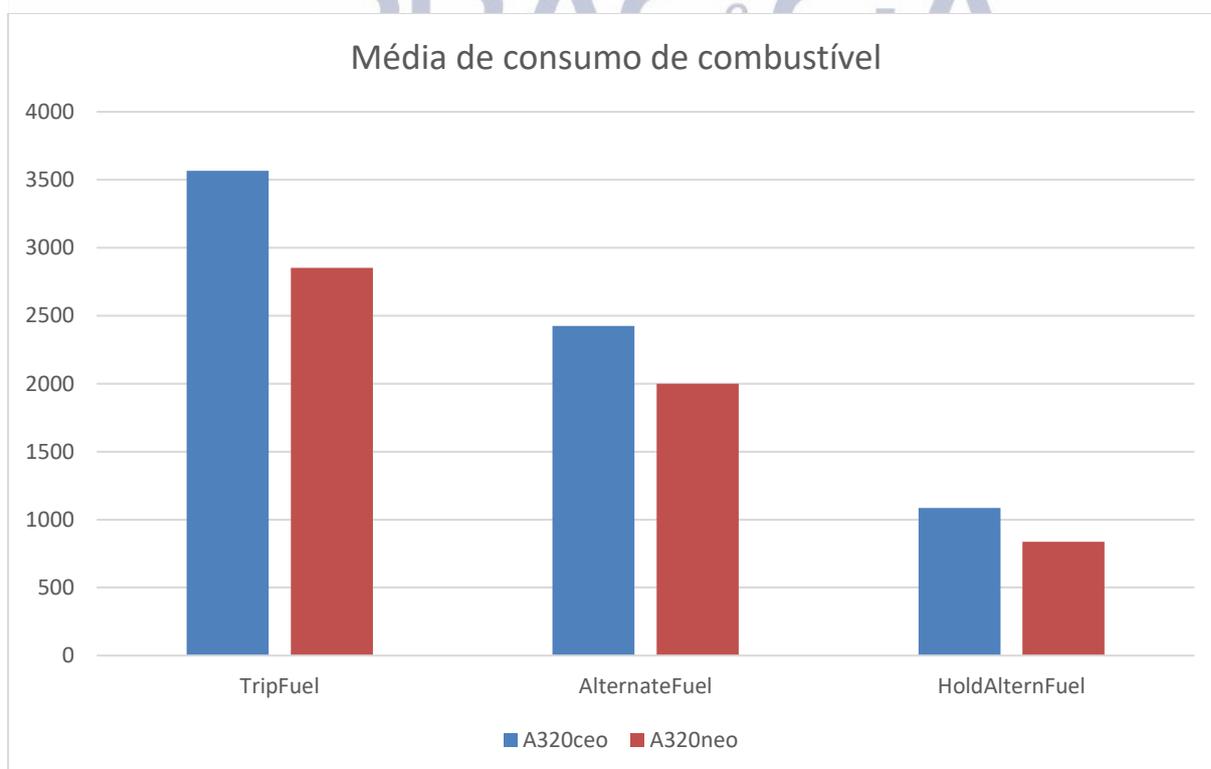
TripFuel	ReserveFuel	AlternateFuel	HoldAlternFuel	Fuel
-20,00%	-3,49%	-17,49%	-22,83%	-19,97%

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Essas diferenças percentuais refletem uma redução significativa nos valores médios de consumo de combustível e desempenho operacional das aeronaves A320neo em comparação com as A320ceo. Na rota CGH-BSB, verificou-se uma diminuição de quase 20% no consumo de combustível de viagem (*TripFuel*) e também reduções notáveis nos outros parâmetros.

Esses resultados destacam os benefícios das inovações tecnológicas implementadas nos motores PW1100G. A seguir no Gráfico 1 apresentam-se as médias de consumo de combustível tanto para A320ceo, quanto para A320neo.

Gráfico 1– Média Consumo Combustível A320ceo/ A320neo (kg)



Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

A análise das diferenças entre os valores médios de consumo de combustível e desempenho operacional das aeronaves A320ceo e A320neo revela um cenário marcado por melhorias significativas em relação à eficiência e sustentabilidade ambiental. Observa-se, consoante aos resultados de Hou e Cao (2019), que a implementação da tecnologia dos motores PW1100G nas aeronaves A320neo se traduz em ganhos substanciais não apenas para a indústria da aviação, mas também para o meio ambiente.

A análise da redução percentual estimada CO₂ decorrente das inovações tecnológicas implementadas nos motores PW1100G foi calculada com base na economia de combustível observada, comparando o consumo médio de querosene por milha voada entre as duas variantes. De acordo com o Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, considera-se um fator de conversão médio de aproximadamente 3,5kg de CO₂ por kg de querosene (BRASIL, 2010).

A análise das médias de consumo de combustível entre as aeronaves A320ceo e A320neo revelou uma significativa redução no *TripFuel*, indicando uma eficiência operacional aprimorada no A320neo. A média do *TripFuel* para o A320ceo foi de 3.565kg, enquanto para o A320neo foi de 2.852kg, representando uma redução de 713 kg. Portanto, essa redução, quando convertida considerando o fator médio de 3,5kg de CO₂ por kg de querosene, resulta em uma diminuição estimada de 2.495,5kg de CO₂ (Tabela 4).

Tabela 4 - Emissão de CO₂ A320ceo x A320neo

Média <i>Tripfuel</i> A320ceo o (kg)	Emissão CO₂ A320Ce o (kg)	Média <i>TripFuel</i> A320ne o (kg)	Emissão CO₂ A320Ne o (kg)	Direfenc a média <i>TripFuel</i> (A320ce o - A320neo) (kg)	Diferenç a Emissã CO₂ (A320ce o - A320neo) (kg)	Diferenç a Emissã CO₂ (%)
3.565	12.477,5	2.852	9.982	713	2.495,5	20%

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Em vista disso, frisa-se que a *Airbus* estabeleceu metas específicas para aprimorar a eficiência no consumo de combustível e reduzir as emissões de CO₂. A abordagem da empresa concentrou-se na introdução de inovações tecnológicas, incluindo a implementação de motores NEO, *sharklets* aprimorados (extensões nas pontas das asas) e uma cabine projetada no conceito de espaço aéreo (*Airspace*) inovadora na família A320neo.

O projeto visou alcançar uma redução de 20% no consumo de combustível e redução nas emissões de CO₂ até 2020. Essas metas foram respaldadas por investimentos substanciais em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para criar aeronaves com eficiência de combustível aprimorada, resultando em um melhor desempenho ambiental (AIRBUS, online) (Tabela 5).

Tabela 5 – Comparativo das metas da Airbus com os resultados da pesquisa

Meta da Airbus	Resultado da pesquisa	Alinhamento
Redução de 20% no Consumo de Combustível até 2020	As análises revelaram de uma redução média de aproximadamente 20% no consumo de combustível de viagem (<i>TripFuel</i>) para as aeronaves A320neo em comparação com as A320ceo.	Essa concordância com a meta estabelecida pela <i>Airbus</i> sugere que as inovações tecnológicas, especialmente os motores PW1100G, estão alinhadas com o objetivo de economia de combustível da empresa.
Redução de 20% Emissões de CO ₂ até 2020	As análises revelaram uma diminuição estimada de 2.495,5 kg de CO ₂ (20%)	Esses resultados ressaltam não apenas a eficiência aprimorada do A320neo em termos de consumo de combustível, mas também a contribuição substancial para a redução das emissões de CO ₂ , alinhando-se aos esforços globais em direção à sustentabilidade ambiental na aviação.

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

A redução notável de quase 20% no consumo de combustível e de emissão de CO₂ nas viagens das aeronaves A320neo em relação às A320ceo assim como uma economia significativa nas outras variáveis analisadas representa uma

economia considerável de recursos. Diante dessa premissa, pode-se, portanto, avaliar em que medida os resultados observados nas operações reais das aeronaves A320ceo e A320neo corroboram ou diferem das metas estabelecidas pela *Airbus* sobre a efetividade das inovações tecnológicas na consecução dos objetivos de sustentabilidade e eficiência da indústria da aviação.

De acordo com Csank e Thomas (2017), o combustível é um dos principais contribuintes para as emissões de gases de efeito estufa na aviação. Para Chapman e Litt (2017), essa economia não apenas reduz os custos operacionais das companhias aéreas, mas também contribui diretamente para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes atmosféricos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente trabalho foi atendido através da análise das melhorias tecnológicas nos motores PW1100G do Airbus A320neo. Os resultados obtidos revelaram uma contribuição expressiva dessas inovações no aprimoramento do desempenho das aeronaves, demonstrado pela significativa redução do consumo de combustível por milha voada na rota estudada entre São Paulo (CGH) e Brasília (BSB).

Observou-se que a tecnologia *Geared Turbofan Engine* (GTF) nos motores PW1100G, com o seu *fan* operando a uma velocidade mais baixa, contribuiu expressivamente na redução do consumo de combustível por milha voada no percurso escolhido, viagem entre São Paulo (CGH) e Brasília (BSB) em 19,97%. Esse resultado aponta para uma operação mais enxuta e eficiente, que não apenas economiza combustível, mas também reduz a pegada de carbono da aviação. É um passo em direção à conformidade com as metas globais de redução das emissões de gases de efeito estufa na aviação civil, estabelecidas nos Acordos de Paris e nas iniciativas de sustentabilidade ambiental.

No contexto da performance ambiental e sustentabilidade, esses resultados são altamente relevantes. A indústria da aviação tem sido alvo de crescente escrutínio devido às suas contribuições para as emissões de CO₂ e outros poluentes. As melhorias trazidas pelos motores PW1100G contribuem para o

esforço global de redução dessas emissões. Além disso, estas inovações tecnológicas não apenas atendem às demandas de sustentabilidade ambiental, mas também oferecem benefícios econômicos às companhias aéreas, reduzindo custos operacionais e melhorando a competitividade.

O objetivo específico de identificar as principais inovações tecnológicas nos motores PW1100G do Airbus A320neo em comparação com os motores Airbus A320ceo foi atendido ao longo deste estudo. A análise realizada permitiu uma compreensão das diferenças significativas entre esses dois tipos de motores, destacando as inovações específicas incorporadas nos motores PW1100G, tais como a tecnologia de engrenagem, que permite uma operação mais eficiente e uma maior relação de *bypass*, proporcionando uma redução significativa no consumo de combustível.

O segundo objetivo específico do presente estudo, que visou avaliar o impacto das inovações nos motores PW1100G na redução de emissões de gases poluentes também foi devidamente abordado ao longo deste estudo. Os resultados obtidos revelaram que as melhorias tecnológicas implementadas nos motores PW1100G contribuíram significativamente para a redução das emissões de poluentes atmosféricos, como CO₂ e óxidos de nitrogênio (NO_x).

Em um cenário global onde a consciência ambiental e a pressão para reduzir as emissões de gases de efeito estufa estão cada vez mais presentes, a indústria da aviação enfrenta desafios significativos. O presente estudo destacou como a implementação da tecnologia dos motores PW1100G nas aeronaves A320neo representa um passo concreto em direção à sustentabilidade ambiental e à eficiência operacional na aviação.

Os resultados evidenciam uma redução substancial no consumo de combustível e uma melhora no desempenho operacional das aeronaves A320neo em comparação com as A320ceo. Isso não apenas impulsiona os esforços para reduzir as emissões de CO₂ e outros poluentes atmosféricos, mas também oferece vantagens econômicas para as companhias aéreas.

O terceiro objetivo específico que buscou demonstrar como as inovações tecnológicas nos motores PW1100G no Airbus A320neo podem contribuir para a performance ambiental e a sustentabilidade dessas aeronaves foi integralmente

abordado neste estudo. Os resultados obtidos evidenciaram que as melhorias tecnológicas implementadas nos motores PW1100G desempenham um papel fundamental na melhoria da performance ambiental e na promoção da sustentabilidade das aeronaves A320neo. A redução significativa no consumo de combustível por milha voada, proporcionada pela eficiência aprimorada dos motores PW1100G, não apenas resulta em benefícios econômicos para as companhias aéreas, mas também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes atmosféricos.

No entanto, é fundamental ressaltar que a busca por uma aviação mais sustentável não deve se limitar apenas aos avanços tecnológicos, mas também envolver regulamentações mais rigorosas, investimentos em biocombustíveis e ações coordenadas em todo o setor para alcançar um impacto ambiental significativamente menor. À medida que o setor de aviação continua a crescer e evoluir, a busca por soluções que equilibrem o desenvolvimento econômico com a responsabilidade ambiental se torna imperativa. Os motores PW1100G, com sua eficiência aprimorada e menor impacto ambiental, exemplificam como a inovação tecnológica pode ser essencial na direção de uma aviação mais sustentável.

Como perspectiva para futuras pesquisas, sugere-se a realização de estudos mais abrangentes que investiguem não apenas as diferenças no desempenho operacional e de consumo de combustível entre as aeronaves A320ceo e A320neo, mas também examinem os efeitos de longo prazo das inovações tecnológicas na sustentabilidade ambiental. Isso poderia incluir uma análise detalhada das emissões de gases de efeito estufa ao longo de um período mais extenso, bem como o impacto econômico global das melhorias tecnológicas, considerando custos de manutenção, depreciação de aeronaves e outras variáveis que os avanços tecnológicos podem fornecer para alcançar metas mais ambiciosas de sustentabilidade na aviação.

REFERÊNCIAS

AIRBUS, Aircraft. **A320neo Creating Higher customer value.** Built-in- value and proven reliability. Disponível em: <https://aircraft.airbus.com/en/aircraft/a320-the->

most-successful-aircraft-family-ever/a320neo-creating-higher-customer-value#efficiency. Acesso em: 14 nov. 2023.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC 121 EMD 15**. 2022. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2022/bps-v-17-no-17-25-a-29-04-2022/rbac-121-emd-15>. Acesso em: 14 nov. 2023.

BALLI, Ozgur; CALISKAN, Hakan. Turbofan engine performances from aviation, thermodynamic and environmental perspectives. **Energy**, v. 232, p. 121031, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221012792>. Acesso em: 25 maio 2023.

BANGALORE AVIATION. **Analysis: The PW1100 GTF engine and the Airbus A320neo**. 2017. Disponível em: <https://www.bangaloreaviation.com/2017/01/analysis-pw1100-gtf-engine-airbus-a320neo.html>. Acesso em: 22 set. 2023.

BENITO, Arturo; ALONSO, Gustavo. **Energy efficiency in air transportation**. Butterworth-Heinemann, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128125816/energy-efficiency-in-air-transportation>. Acesso em: 12 set. 2023.

BERTSCH, Lothar, WOLTERS, Florian; HEINZE, Wolfgang. System noise assessment of a tube-and-wing aircraft with geared turbofan engines. **Journal of Aircraft**, 2019, vol. 56, no 4, p. 1577-1596. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322790015_System_Noise_Assessment_of_a_Tube-and-Wing_Aircraft_with_Geared_Turbofan_Engines. Acesso em: 19 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Relatórios de Referência para Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor de Energia: Emissões de Gases de Efeito Estufa no Transporte Aéreo**. ANAC. 2010. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/brasil_mcti_aereo.pdf. Acesso em: 14 nov. 2023.

CHAPMAN, Jeffryes W.; LITT, Jonathan S. Control design for an advanced geared turbofan engine. En **53rd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference**. 2017. p. 4820. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2017-4820>. Acesso em: 22 set. 2023.

CHATTERJEE, Biplab; BHOWMIK, Sumit. Evolution of material selection in commercial aviation industry – A review. **Sustainable engineering products and manufacturing technologies**, 2019, p. 199-219. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Evolution-of-material-selection-in->

commercial-Chatterjee-Bhowmik/5fd768228fc1c24d4369076e1f8f646a2618064f. Acesso em: 10 set. 2023.

COSTA, Hector Breno Mayo; HENKES, Jairo Afonso. Um estudo sobre as alternativas de motores e energias renováveis para a aviação. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, v. 1, n. 4, p. 134-159, 2021. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/download/60/55>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CSANK, Jeffrey; THOMAS, George L. Dynamic analysis for a geared turbofan engine with variable area fan nozzle. En **53rd AIAA/SAE/ASSEE Joint Propulsion Conference**. 2017. p. 4819. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2017-4819>. Acesso em: 23 set. 2023

FERREIRA, Leopoldo Duarte; GARCIA, Cleo Marcus; HENKES, Jairo Afonso. Análise dos processos operacionais da empresa aérea Latam Brasil referente aos impactos ambientais em suas operações com as aeronaves Airbus 320. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 96-119, 2020. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/download/9495/5235. Acesso em: 15 mar. 2023.

HENRIQUES, Gonçalo Santos. **Rótulo de sustentabilidade na aviação civil**. 2018. Tesis Doctoral. Repositório Universidade Nova: Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/60959>. Acesso em: 24 set. 2023.

HENSEY, Rory; MAGDALINA, Ana. A320 **NEO vs. CEO comparison study**. FPG Amentum, p. 1-15, 2018. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/79849086/180719-FPG-Amentum-research-A320-NEO-vs-CEO-comparison-study.pdf>. Acesso em: 10 maio 2023.

HOU, Lanlan; CAO, Shuqian. Nonlinear dynamic analysis on planetary gears-rotor system in geared turbofan engines. **International Journal of Bifurcation and Chaos**, 2019, vol. 29, no 06, p. 1950076. Disponível em: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218127419500767>. Acesso em 24 set. 2023

KNIGHT, Amanda Joann. **Next generation commercial aircraft engine maintenance, repair, and overhaul capacity planning and gap analysis**. 2018. Tesis Doctoral. Massachusetts Institute of Technology. Disponível em: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/117979>. Acesso em: 11 set. 2023.

LESMESS CHAVEZ, David Alberto. **Estimation of fuel inefficiencies due to early descents**. 2019. Tesis de Licenciatura. Universitat Politècnica de Catalunya. Disponível em: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/123438>. Acesso em: 10 set. 2023.

LUNETTA, Avaetê; GUERRA, Rodrigues. Metodologia da pesquisa científica e acadêmica. Revista OWL (OWL journal). **Revista interdisciplinar de ensino e educação**, 2023, vol. 1, no 2, p. 149-159.

MAIA, Pedro Henrique Silva. Evolução Dos Motores Aeronáuticos Visando a Economia e Sustentabilidade. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 1-15. 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/26377>. Acesso em: 11 mar. 2023.

NASCIMENTO, Elizabeth Mateus Franca do, et al. **Perspectivas para a utilização de motores elétrico-híbridos na aviação comercial brasileira**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. 2022. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/4341>. Acesso em: 12 set. 2023.

NASLAUSKI, Matteo Grimberg; HENKES, Jairo Afonso. Fontes alternativas de energia para a aviação: uma análise sobre o uso de energias renováveis. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, v. 1, n. 1, p. 103-126, 2021. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/download/8/7>. Acesso em: 13 mar. 2023.

PAFAERO. Training Solutions. **Engineering Purposes CFM56**. Disponível em: <https://pafaero.com/cfm56-sgp/>. Acesso em: 09 dez. 2023.

PEREIRA, Adriana Soares; SHITSUKA, Dorlivete Moreira; PARREIRA, Fábio José; SHITSUKA, Ricardo. Metodologia da pesquisa científica. 2018. **Manancial**. Repositório Digital da UFSM. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/15824>. Acesso em: 28 set. 2023.

RIBEIRO, Pedro Miguel Albino. **Análise de Performance da Família de Motores de Avião CFM56**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Área Departamental de Engenharia Mecânica. 2012.

RODRIGUES, Sérgio Luiz de Miranda; HENKES, Jairo Afonso. Sustentabilidade Ambiental na Aviação: O Programa Corsia e sua aplicação no Brasil. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, 2021, vol. 1, no 3, p. 145-164. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/47>. Acesso em 24 set. 2023

SILVA, Fernanda C.; GRINET, Marco; SILVA, Andre R. A Machine Learning Approach to Forecasting Turbofan Engine Health Using Real Flight Data. In: **AIAA SCITECH 2022 Forum**. 2022. p. 0491. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2022-0491>. Acesso em: 29 maio 2023.

SOUZA JUNIOR, Edmilson Ferreira. **Educação e gestão ambiental na aviação brasileira.** Ânima. Repositório Universitário da Ânima. 2023. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/33343>. Acesso em: 22 set. 2023.

VALDÉS, Rosa Arnaldo; COMENDADOR, Víctor Fernando Gomez; SANZ, Álvaro Rodríguez; CASTÁN, Javier A. Pérez. Aviation 4.0: more safety through automation and digitization. **En Aircraft technology.** IntechOpen, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.73688. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327628887_Aviation_40_More_Safety_through_Automation_and_Digitization. Acesso 26 set. 2023

