

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DOS MOTORES TURBOFAN PARA AERONAVES
SUSTENTÁVEIS: UMA ANÁLISE NA EVOLUÇÃO DOS MODELOS
E-JETS 195E / 195E-2**Ângela Campos Rodrigues¹Rogério Ribeiro Cardozo²Jairo Afonso Henkes³**RESUMO**

Este trabalho faz uma descrição da evolução dos motores *turbofans*, em especial modelos empregados na primeira e na segunda geração da família E - Jet 195 da Embraer, focando no desempenho e nos impactos gerados pelo uso dos motores na aviação. Descrevem-se também as ações de prevenção que tem sido adotada pelos órgãos governamentais, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), que em conjunto com indústrias como a Embraer, *Pratt & Whitney* e *General Electric*, trouxeram resultados positivos na redução dos impactos das aeronaves. Para chegar aos resultados, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, que identificou alguns dos impactos gerados pela aviação. Também foi realizada uma pesquisa nos documentos e manuais dos fabricantes, para comparar os motores CF34-E10 e

¹ Graduanda em Ciências Aeronáuticas. AEROTD. E-mail: angela_mdo18@hotmail.com

² Administração de Empresas - Anhanguera (2012); Especialização em Gestão de Fatores Humanos e Operacionais na Aviação - ITE (2015) e Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental - Universidade do Sagrado Coração - USC (2019). AEROTD. E-mail: rogerio.coordenador@aerotd.com.br

³ Doutorando em Geografia (UMINHO, 2019). 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

PW1900G, aplicados na primeira e na segunda geração respectivamente. Como resultado observou-se que a indústria aeronáutica e de equipamentos aeronáuticos, estão se empenhando para desenvolver tecnologias sustentáveis nos produtos já existentes, e que a Embraer vem adotando alternativas inovadoras para seus aviões, para atender aos requisitos impostos pelos órgãos reguladores e proporcionar uma geração de aeronaves mais sustentáveis e ambientalmente mais adequadas.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Motores Turbofan. Desenvolvimento. E-Jets. Embraer.

TECHNOLOGICAL INNOVATION OF TURBOFAN ENGINES FOR SUSTAINABLE AIRCRAFT: AN ANALYSIS ON THE EVOLUTION OF MODELS E-JETS 195E / 195-E2

ABSTRACT

This work describes the evolution of turbofan engines, especially models used in the first and second generation of Embraer's E - Jet 195 family, focusing on the performance and impacts generated by the use of engines in aviation. It also describes the prevention actions that have been adopted by government agencies, such as the National Civil Aviation Agency (ANAC) and the International Civil Aviation Organization (ICAO), which together with industries such as Embraer, Pratt & Whitney and General Electric, brought positive results in reducing aircraft impacts. To arrive at the results, bibliographical research was carried out, which identified some of the impacts generated by aviation. Research was also carried out in the manufacturers' documents and manuals, to compare the CF34-E10 and PW1900G engines, applied in the first and second generation respectively. As a result, it was observed that the aeronautical and aeronautical equipment industries are striving to develop sustainable technologies in existing products, and that Embraer has been adopting innovative alternatives for its aircraft, in order to meet the requirements imposed by regulatory bodies and provide a generation more sustainable and environmentally sound aircraft.

Keywords: Environmental impacts. Turbofan engines. Development. E-Jets. Embraer.

1 INTRODUÇÃO

Desde o final da Segunda Guerra Mundial, os aviões usavam motores a reação, os *tubojetos* ou turbo reatores. Após o período da guerra, era preciso aproveitar a ferramenta para uso comercial, portanto Papinha (2019) aponta que todas as desvantagens e problemas dos antigos motores, serviram de grande motivação para o desenvolvimento da engenharia aeronáutica.

Com o crescimento do tráfego aéreo, as alterações na atmosfera influenciaram no meio ambiente e no cotidiano das pessoas. Desenvolver ferramentas e procedimentos que possam minimizar a degradação causada pela atividade aérea tornou-se um dos principais projetos lançados pelos órgãos governamentais, que visem:

[...] minimizar os efeitos prejudiciais da aviação civil sobre o meio ambiente é dever de todos, principalmente dos órgãos, entidades e pessoas vinculados à aviação, particularmente no que diz respeito a ruídos e emissão de gases dos motores das aeronaves e impactos da infraestrutura (BRASIL, 2009, p. 3).

Deste modo, o desenvolvimento da aviação civil, se faz importante, tanto para a sociedade, como também para a economia do país, pois abrange todo transporte de cargas e passageiros. Por isso, tornou-se fundamental conhecer os impactos causados pelos motores na aviação, como consumo de combustível, emissões de gases e ruídos, e apresentar o desenvolvimento dos motores *turbofans*, em especial os modelos utilizados a família de *E-Jets* da Embraer E195, abordando as melhorias incorporadas em sua segunda geração.

Este trabalho aponta os diferenciais analisados dos motores utilizados nas aeronaves *E-Jets*, sendo o GE CF34-10E desenvolvido pela indústria *General Electric* e o motor PW1900G *purepower*[®] *Geared Turbofan*[™]-(GTF) desenvolvido pela *Pratt & Whitney*, descrevendo as vantagens aderidas pelo desenvolvimento da tecnologia *Geared Turbofan*. Para buscar as informações para a pesquisa, optou-se em buscar em todos os meios disponíveis, tais como documentos, manuais, livros, artigos científicos, anais, resoluções, teses, sites das indústrias, anais, revistas,

relatórios, as informações atualizadas sobre as inovações incorporadas pela indústria aeronáutica.

A aviação civil tem uma grande contribuição para a economia do país, e o aumento das operações protagoniza um cenário de avanço dos impactos ambientais e do aquecimento global. Segundo Betiolo, Rocha e Machado (2009), as quantidades de poluentes lançados nas altas altitudes potencializam os efeitos do Dióxido de Carbono (CO₂) no ambiente intensificando o aquecimento global no planeta. Diante disso, as ações desenvolvidas pelos órgãos reguladores têm o intuito de trazer:

[...] O desenvolvimento de aeronaves mais leves e mais eficientes do ponto de vista aerodinâmico, além da produção de aviões capazes de transportar mais passageiros a uma maior distância e ainda, com eficácia adicional (produzindo menos emissões de CO₂ por quilômetro percorrido e por passageiro transportado), são algumas dessas iniciativas (BETIOLO; ROCHA; MACHADO; 2009, p. 403).

Desenvolver aviões mais leves consiste em reduzir os efeitos negativos do ruído aeronáutico, que segundo Sá Neto (2020) além da aerodinâmica, traçar rotas que evitem o sobrevôo nos setores urbanos, também consiste em reduzir esse impacto. Desse modo, ainda segundo o autor, esses problemas impulsionaram o setor industrial, e mobilizou o setor a desenvolver modelos mais adequados e avançados.

A pergunta de pesquisa que se procurou responder é se a adoção de novas tecnologias nas aeronaves *E-Jets* da Embraer proporcionou alguma vantagem em relação à geração anterior? Com isso, este artigo pretendeu desvendar os diferenciais entre os motores *turbofans* CF34-10E e o PW1900G, verificando os impactos gerados na aviação e relatar as soluções desenvolvidas para as novas gerações de motores e aeronaves.

O objetivo geral é apresentar o diferencial dos motores *turbofan* utilizados na primeira e segunda geração dos E-Jets da Embraer, respectivamente o motor GE CF34-8E desenvolvido pelo General Electric e o motor *PW1900G PurePower® Geared Turbofan™* (GTF) *Geared Turbofan™* desenvolvido pela Pratt & Whitney.

Os objetivos específicos foram: Apresentar os principais impactos ambientais da aviação civil; demonstrar os avanços tecnológicos e os benefícios ambientais resultantes das novas tecnologias; e identificar as melhorias adotadas nos E-Jets 195 E2 da Embraer.

Por ser uma das áreas que mais cresce no Brasil, “a aviação civil é fator de integração e desenvolvimento nacional” (BRASIL, 2009, p. 2). Em decorrência da ampliação do setor, houve também o aumento das frotas para atender a demanda de vôos, passando a utilizar mais aeronaves nas operações, o que gerou maiores impactos ambientais.

Devido a isso, houve uma preocupação global por parte dos órgãos aeronáuticos responsáveis, tornando necessárias medidas efetivas para um melhor controle ambiental. Desta forma “uma das iniciativas da indústria aeronáutica para o controle das emissões é o desenvolvimento de tecnologias que visem aumentar o desempenho ambiental de seus produtos e serviços” (BETIOLO; ROCHA; MACHADO, 2009, p. 401).

Com o uso dessas tecnologias, é possível que a aviação chegue a uma emissão neutra de combustível, tendo em vista que “para um futuro mais sustentável na aviação devem incluir, segundo ela, a redução dos custos do querosene sintético e a criação de regras e regulamentações com foco em melhorar as condições ambientais” (APROBIO, 2021, site). Desse modo, o desafio de obter aeronaves mais seguras e sustentáveis vem se tornado um dos assuntos de grande relevância no mundo hoje, mobilizando as agências reguladoras a estabelecer alguns procedimentos com práticas padronizadas e adotadas para tratar esses casos.

Para a elaboração deste artigo, foi necessário identificar alguns impactos gerados pela aviação, para que houvesse uma orientação para verificar se houve benefícios ambientais resultantes da evolução dos motores *turbofans*. Foi delimitado o estudo dos jatos de médio porte desenvolvidos pela indústria brasileira, no caso a Embraer, em especial a evolução dos modelos *E-Jets* 195-E e o E-Jet 195-E2. Desenvolveu-se uma pesquisa qualitativa, para elucidar os diferenciais, e as inovações que os mesmos receberam entre os anos de 2001 -

2022, observando relatos de desempenho e eficiência dos motores CF34-10E da indústria General Electric e PW1900G da Pratt & Whitney em termos técnicos e ambientais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta sessão é abordado o desenvolvimento do motor a reação, trazendo também o desenvolvimento da aviação e os impactos ambientais gerados pelo aumento das operações aéreas.

2.1 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DO MOTOR A REAÇÃO

Existem muitas teorias em torno do surgimento do motor à reação, Garcia (2022) associa à história do motor à reação com Hero de Alexandria, um matemático e físico que inventou a primeira máquina a vapor conhecida como *Eolípila*. Segundo Andrade e Sampaio (2021), o equipamento consistia em uma bola oca metálica que continha água em seu interior. No equipamento eram fixados canos, que servia para expelir o vapor quando a água era aquecida, isso fazia com a bola girasse, conforme mostra a Figura 1.

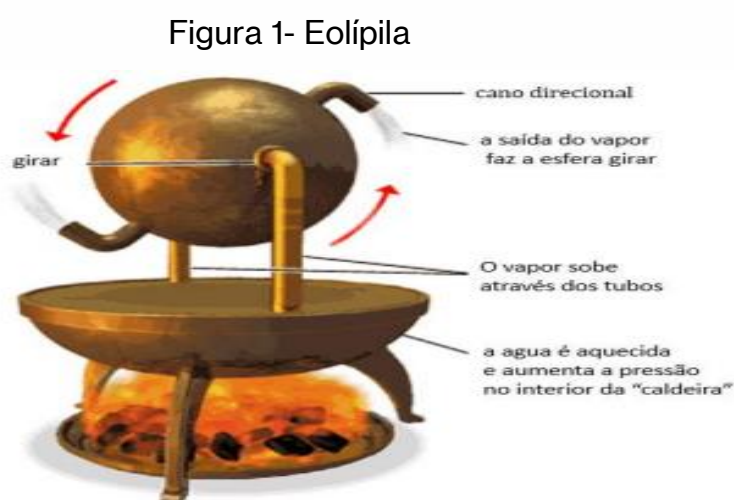


Figura 1- Eolípila

Fonte: Andrade e Sampaio (2021, p. 125).

As turbinas a gás foram desenvolvidas pouco antes da 2ª Guerra Mundial, todavia o projeto do motor a jato pode ter sido desenvolvido, por volta de 1930, como reitera Rodrigues (2022), por dois engenheiros de nacionalidades diferentes, Frank Whittle do Reino Unido e Hans Von Ohain da Alemanha. O motor de Whittle era alimentado por combustível líquido e o de Von Ohain era alimentado por combustível gasoso, como afirmam Couto *et al.* (2017).

Ainda segundo os autores, o motor de Whittle vazava combustível para dentro do motor, o que se tornou um problema, pois o inventor não conseguiu desenvolver um revestimento apropriado para vedar o seu entorno. Felix e Rocon (2008), afirma que o motor de Hans Von Ohain se desenvolveu mais rápido, devido à maior facilidade em seu funcionamento. Na Figura 2, é possível observar o motor J31, que foi um modelo de motor fabricado pela *General Electric* que era uma cópia do altamente secreto motor britânico Whittle” (EUA, 2022, site).

Figura 2- Motor Turbojato *General Electric* J-31



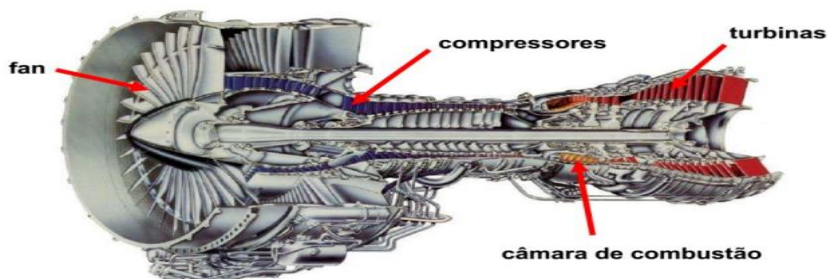
Modelo: J31 (I-16)
Compressor: Centrífugo
Turbina: Único estágio
Impulso: 1.650 libras
Peso: 850 libras
RPM máxima: 16.50

Fonte: Museu Nacional da Força Aérea dos Estados Unidos (2022).

Logo após a tecnologia a jato ter sido estabelecida, surgem as primeiras evoluções, os motores *Turbofans*. Venson (2012) observa que a estrutura do motor *turbofan*, é semelhante ao do turbojato, sendo apenas acrescentado um ventilador na parte frontal. Como funcionamento, o autor explica que “uma parte da energia gerada pela(s) turbina(s) é utilizada para acionamento do(s) compressor (es) e outra parte é utilizada para acionamento de um grande

‘ventilador’ carenado posicionado na parte frontal do motor, chamado de *fan*” (VENSON, 2012, p. 77). Na Figura 3 é possível observar o motor Tubofan usado nas aeronaves comerciais.

Figura 3- Componentes principais de um motor *Turbofan*



Fonte: Venson (2012).

Ribeiro e Silva (2018) reiteram que o *turbofan* inclui tecnologias e alguns detalhes com uma melhor abordagem técnica, sendo incorporado o *bypass ratio*, um mecanismo que emite um nível de ruído consideravelmente menor em relação ao seu antecessor. O emprego do motor *turbofan* na aviação possibilitou um maior desempenho em relação aos motores jato, além disso, “a razão de *bypass* aumenta sua eficiência utilizando a mesma quantidade de combustível” (BARRETO; SLAMA, 2015, p. 26). A partir desta nova tecnologia os investimentos em pesquisa tem tornado o desempenho de motores e aeronaves ainda mais eficientes.

2.2 A AVIAÇÃO CIVIL

Com a expansão da atividade aérea, o volume de combustíveis consumidos, os gases emitidos e problemas com ruídos ficaram cada vez mais emergentes perante a sociedade, pois essas alterações trazem “uma série de consequências, e uma do aquecimento global, a elevação da temperatura global

pelo aumento da radiação que está armazenado no planeta” (PEREIRA *et al.*, 2008, p. 12).

2.3 EMISSÕES DE GASES NA AVIAÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil - (ANAC), a aviação responde por aproximadamente 2% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, o que traz uma preocupação devido aos efeitos nocivos desse gás para os motores “que favorecem a geração dos poluentes, sendo eles: temperatura do motor, o consumo e combustão do querosene de aviação” (MOREIRA; SOUZA; CORRÊA, 2018, p. 20).

A Agência Nacional de Aviação Civil – (ANAC 2019), afirma que a fase que mais consome combustível de uma aeronave é a fase de cruzeiro, onde mais de 85% dos gases são emitidos. Os principais gases emitidos pela aviação são: “dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO), vapor d'água e aerossóis (poeira)” (SIMÕES; SCHAEFFER, 2018, p. 3).

Tendo em vista a preocupação da quantidade acelerada de emissão gases, a Organização Internacional da Aviação Civil (OACI):

[...] elaborou então o Programa de Ação Internacional e Mudança Climática, que estipulou uma cesta de medidas para combater as emissões de gases geradores do efeito estufa lançados na atmosfera pela aviação, e um dos elementos deste programa foi à proposta de desenvolvimento de uma norma de emissão de Dióxido de Carbono (CO₂) que não se aplicasse somente aos motores, mas também levasse em consideração características de projeto e desempenho dos aviões, e solicitou ao CAEP o desenvolvimento de uma proposta de uma norma de emissões de CO₂ baseada no conceito de eficiência de consumo de combustível dentro de um requisito de certificação de aeronave (ANAC, 2018, p. 2).

Sá Neto e Monteiro (2020) explicam que o CO₂ é o resultado da mistura do carbono presente nos combustíveis com o oxigênio do ar, tendo em vista que essa mistura contribui para a contaminação do ar, tornando-se um dos principais

gases de efeito estufa emitida pela aviação. Diante disso o maior desafio das indústrias é criar alternativas que diminuam o avanço do aquecimento global por meio de medidas de mitigação compostas por:

[...] desenvolvimento de tecnologias e novos padrões para as aeronaves, melhoria no controle do tráfego aéreo e das operações em solo para economia de combustível, uso de bicomcombustíveis para aviação civil internacional, Mecanismos de mercado e compensação de emissões (CORSIA) (SOARES; CENAMO, 2018, p. 9).

Com isso, Rocha e Tavares (2020), afirmam que para alcançar essas metas é preciso incluir mecanismos de mercado, onde entra a contribuição das indústrias na inclusão de materiais mais leves nas novas aeronaves, o que tem se apresentado um rápido resultado, pois segundo Simões e Schaeffer (2018) é notável a expansão de novas aeronaves no setor. É importante mencionar que *International Civil Aviation Organization* (ICAO), criando padrões para regular as emissões de gases emitidos pela aviação, conforme afirma a Associação Brasileira de Empresas Aéreas (ABEAR) (2021), as metas de redução de poluentes são delimitadas aos voos domésticos, e que as indústrias têm iniciativas para fabricação de combustíveis ecologicamente sustentáveis.

2.4 CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NA AVIAÇÃO

Nos aviões o combustível utilizado é o Querosene de aviação (QAV). O querosene de aviação:

[...] é um derivado de petróleo obtido por destilação direta com faixa de temperatura de 150°C a 300°C, com predominância de hidrocarbonetos parafínicos de 9 a 15 átomos de carbono, utilizado e turbinas aeronáuticas. (PETROBRAS, 2021, p. 4).

O Brasil é um dos maiores consumidores de combustível de aviação da América Latina, de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)-(2023). Segundo a Associação Brasileira das Empresas

Aéreas (ABEAR) entre os anos de 2016 e 2021 o consumo de combustível e emissão de CO₂ foi de aproximadamente 25% (ABEAR, 2021).

2.5 POLUIÇÃO SONORA NA AVIAÇÃO

Sabendo que a aviação é um dos geradores de impacto ambiental, é importante mencionar outro fator que influencia no cotidiano das pessoas, o ruído aeronáutico. Portanto, “o ruído aeronáutico é um dos impactos ambientais de maior preocupação, pois afeta negativamente a vida e a saúde das pessoas, principalmente para aquelas que moram nos arredores dos aeroportos” (COSTA; HENKES, 2021, p. 384).

Conforme afirma Henriques e Slama (2014), o ruído aeronáutico é provocado por vários fatores, variando de acordo com o motor, velocidade e estrutura da aeronave, sendo que o motor é um dos principais componentes geradores desse impacto. Segundo Villa (2010) com as novas tecnologias é possível observar a redução de ruído emitido pelas aeronaves mais modernas, diminuindo também o número de pessoas afetadas pelo barulho.

Apesar dessa evolução, ainda é notável o alto nível de ruído emitido pelos aviões, podendo ser melhorado com as próximas gerações de aeronaves. Costa e Henkes (2021), também afirmam que as tecnologias empregadas nos motores modernos resultaram na diminuição dos níveis de ruídos dos motores.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Pode-se dizer que metodologia é o estudo dos caminhos e das ferramentas necessárias para se elaborar uma pesquisa científica, pois de acordo com Fonseca (2002), método significa organização, estudo sistemático, pesquisa e investigação.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Com o trabalho de investigação o estudante tem a possibilidade investigar uma questão ou uma dificuldade presente em um meio, isso permite que haja o “desenvolvimento da sua capacidade de coletar, organizar e relatar informações obtidas e, mais, de analisar e até de interpretar os dados de maneira lógica e apresentar conclusões” (MARCONI; LAKATOS, 2003, p. 238). Sendo assim torna-se necessário, antes de começar uma pesquisa científica, primeiramente entender e conhecer os seus conceitos.

Uma pesquisa pode ser definida da seguinte maneira: Pode-se definir pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. “A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema” (GIL, 2002, p. 17). Para Gil (2002), pode-se classificar uma pesquisa de diferentes formas de acordo com os objetivos estabelecidos pelo pesquisador.

Em relação aos objetivos, as pesquisas podem ser classificadas como: Pesquisa Exploratória cujo objetivo é obter maior familiaridade com o problema para torná-lo explícito ou a construir hipóteses; Pesquisa Descritiva que objetiva a descrição das características de certa população ou fenômeno ou estabelecer relações entre variáveis com técnicas padronizadas de coleta de dados, tais como questionário e observação sistemática; ou mesmo ser uma Pesquisa Bibliográfica que é elaborada ou desenvolvida a partir de material já publicado, em geral livros, artigos de periódicos e materiais disponibilizados na Internet.

Os procedimentos deste tipo de pesquisa permitem ao pesquisador a cobertura de amplo leque de acontecimentos e de grandes faixas territoriais. A maior desvantagem é o risco de trabalhar com dados coletados e processados de forma inadequada (GIL, 2002); ou ser uma Pesquisa Documental, que tem características semelhantes àquelas referidas para pesquisa bibliográfica, diferindo desta em relação às fontes dos dados. A pesquisa documental é

elaborada utilizando materiais que não receberam tratamento analítico ou que podem ser reelaborados pelo pesquisador. O tipo de análise também depende dos objetivos da pesquisa e podem assumir formas diversas, desde a análise de conteúdo sob a perspectiva qualitativa ou quantitativa (SIENA, 2007).

3.2 PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Conforme Gil (2002) uma pesquisa pode ser classificada segundo os seus procedimentos para coleta de dados, que por sua vez pode ser realizada por levantamentos bibliográficos e de documentação. Desta forma as informações necessárias para este estudo foram obtidas através de pesquisas nas principais plataformas de publicação de materiais bibliográficos, como o Google Acadêmico e SciELO, onde podem ser encontrados livros, artigos, obras de referência, periódicos científicos, dissertações e teses, que relatam a respeito do tema em questão, utilizando-se os descritores: aeronaves sustentáveis; motores *turbofan*; *E-Jets*; e *E Jets* Embraer.

Outros dados foram obtidos através de pesquisas realizadas em sites oficiais de órgãos regulamentadores como a OACI e a ANAC, além da Embraer, Pratt & Whitney e *General Electric*, para a verificação dos documentos e relatórios necessários para atingir os objetivos fixados neste estudo.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados é uma etapa muito importante para a pesquisa que está sendo realizada. Portanto, “a análise deve ser feita para atender aos objetivos da pesquisa e para comparar e confrontar dados e provas com o objetivo de confirmar ou rejeitar a(s) hipótese(s) ou os pressupostos da pesquisa” (SILVA; MENEZES, 2005, p. 35). Depois de verificar a documentação disponível e obter os dados necessários acerca do tema de investigação deste trabalho, foram analisados de forma qualitativa através da análise de conteúdo, “essa técnica possibilita a descrição do conteúdo manifesto e latente das comunicações” (GIL,

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 135-169, jan-mar. 2023.

2002, p. 89). A análise de conteúdo foi utilizada neste estudo com o intuito de descrever o conteúdo encontrado acerca do tema de forma objetiva e sistemática, associando o regramento existente às ocorrências em ascensão nos últimos anos.

Sendo assim, para investigar os avanços tecnológicos incorporados nos motores *turbofans* e nas aeronaves modelo *E-Jets* da Embraer, esse estudo realizou a coleta e investigação de materiais bibliográficos e documentais que foram descritos de forma a atender aos objetivos propostos, contribuindo para a ampliação dos conhecimentos científicos acerca deste assunto. A pesquisa procedeu-se de forma qualitativa, que conforme afirmam Samperi, Collado e Lucio (2013), a abordagem qualitativa utiliza a pesquisa para descobrir resultados durante e depois da coleta e análise de dados. Com isso, a coleta de dados foi delimitada na busca de diferenciais dos motores CF34-10E da indústria *General Electric* e do motor PW1900G da *Pratt & Whitney*, com o intuito de expor a evolução das aeronaves E-Jet 195 da Embraer.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de reduzir os principais impactos ambientais gerados pela aviação: consumo de combustíveis; emissão de gases de efeito estufa e o ruído aeronáutico, a ICAO (2019) desenvolveu padrões para medir o ruído das aeronaves, sendo representados pela Massa Máxima à Decolagem (MTOM¹) e o Ruído Percebido Efetivo em Decibéis (EPNdB²).

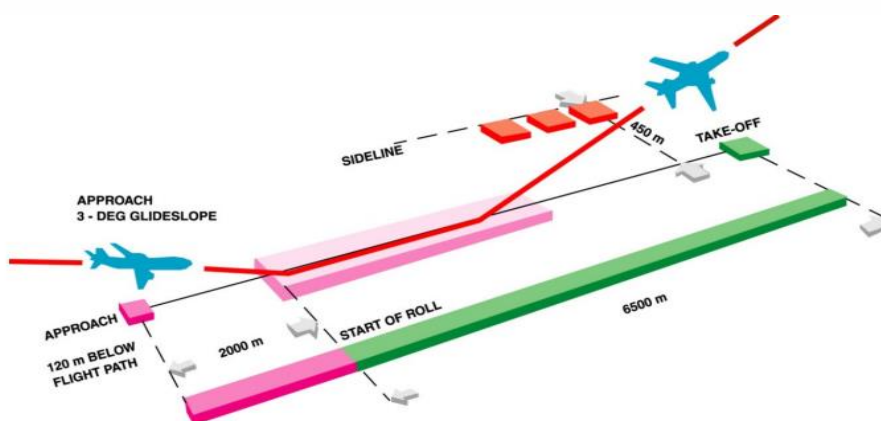
Segundo Dickson (2013) essas normas servem para medir os limites de ruído de uma aeronave, a fim de reconhecer as aeronaves com maior produção de ruídos. É importante salientar que no Brasil já existem restrições regulamentadas pela ANAC, que proíbem a alta taxa de ruído das aeronaves.

¹ (MTOM- Maximum Take-Off Mass) de uma aeronave é o peso máximo com o qual o piloto pode tentar decolar, devido a limites estruturais ou outros. (STRINGFIXER, 2022, site).

² Ruído percebido efetivo em decibéis é uma medida do ruído relativo de um evento de passagem individual de uma aeronave. (STRINGFIXER, 2022, site).

Conforme a ANAC (2018) observa no Anexo 16, onde estão estabelecidos critérios de certificação acústica, para posterior classificação dos aviões, tendo como elemento de análise a tolerância humana aos ruídos e indica procedimentos que podem minimizar o ruído aeronáutico. É possível observar na Figura 4, a seguir, o esquema de ensaio de certificação acústica de aeronaves.

Figura 4 - Esquema de ensaio de certificação acústica de uma aeronave civil



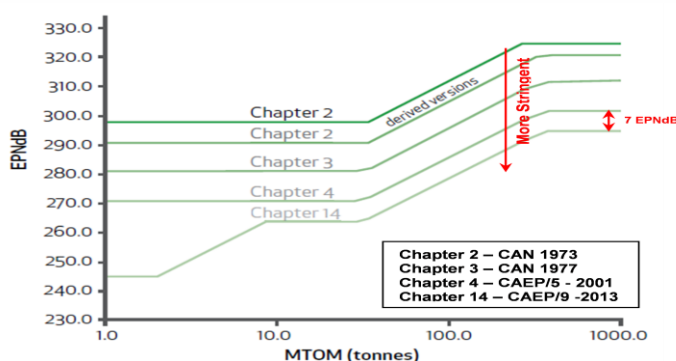
Fonte: Villa (2010).

Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas

Na Figura 5, a seguir, é possível observar os parâmetros definidos para ruídos provocados por aviões estabelecidos pela OACI.

ISSN 2763-7697

Figura 5 - Progressão dos padrões de ruído da OACI para aviões



Fonte: Dickson (2013, p. 11).

Observa-se que a certificação pode ser realizada “mediante ensaios de voo, medindo-se o ruído em três pontos: um situado abaixo da trajetória de decolagem, outro na lateral da pista e o último abaixo da trajetória de aproximação” (VILLA, 2010, p. 2). No mesmo sentido, Dickson (2019) explica que o ruído é calculado usando uma métrica estabelecida pelo órgão regulador, contida no Anexo 16, onde também estabelece um programa de redução e compensação de emissões, denominado CORSIA.

Segundo Rodrigues e Henkes (2021), o programa CORSIA foi instituído pela OACI, como principal objetivo o controle dos impactos da aviação sobre as mudanças climáticas, exercendo uma grande importância para a aviação mundial. Os motores modernos têm incorporado novas tecnologias, como a *Geared Turbofan*, o que vem “ocorrendo em função de desenvolvimentos levados a cabo pelos fabricantes de motores *Pratt & Whitney* (P&W) e *General Electric* (GE), que concorrem diretamente nessa disputa de mercado” (GOMES, 2012, p. 33). Segundo a ANAC (2018), com o propósito de estabilização das emissões de gases e ruídos, a OACI propôs medidas para as indústrias, que incluem avanços tecnológicos, investimentos em infraestrutura aeroportuária, melhorias operacionais, inovação nos biocombustíveis.

& Ciências Aeronáuticas

ISSN 2763-7697

4.1 E - JETS

Gomes (2012) afirma que a EMBRAER, empresa brasileira fabricante de aviões, investiu em pesquisas, buscando inovação em seus produtos, mobilizando recursos para lançar uma nova geração de aeronaves com versão remotorizada. Destacando-se no setor com “a nova geração de jatos a família dos E-Jets, frota de aeronaves de fuselagem estreita de grande porte existente no país seja dimensionada para aeronaves com menos de 150 assentos” (FERREIRA, 2022, site).

Para que todos esses padrões, estabelecidos pelos órgãos reguladores valessem, as ferramentas de planejamento devem ser utilizadas de maneira sustentável (ANAC, 2018). Barroso e Soares (2019) afirmam que os jatos da

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 135-169, jan-mar. 2023.

Embraer foram desenvolvidos para atender as empresas aéreas que necessitavam de aeronaves mais espaçosas e com maior alcance, sendo jatos reconhecidos por sua tecnologia inovadora, eficiência, conforto e economia em manutenção. A família é composta pelos *E-Jets* Embraer 170, 175, 190 e 195, como demonstradas na Figura 6.

Figura 6- A Família dos E-Jets de médio porte



Fonte: Embraer (2016, p. 4).

Konan *et al.*, (2016), reiteram que os quatro modelos de aeronaves, dispõem de uma arquitetura modular, e conseguem conciliar conectividade com a lucratividade das empresas operantes, aproveitando o conforto e a satisfação que essas aeronaves oferecem para o cliente final.

4.1.1 E - Jets: Primeira Geração – 195E

Segundo a ABEAR (2022) a aviação é um dos setores que mais cresce no mundo, contribuindo com 31% da produção econômica do Brasil. Nesse sentido, se faz necessário, que as indústrias e organizações inovem de forma constante. Inspirada com a modernização e desenvolvimento dos motores, a Embraer trouxe uma inovação dos novos jatos conhecidos como *E-Jets*, que compreende em “uma

família completa de modernas aeronaves com desempenho e qualidade que se assemelham as grandes aeronaves comerciais” (GOMES; SANTOS; SILVA, 2013 p. 247). O autor ainda declara que os *E-Jets* são visivelmente mais desenvolvidos tecnologicamente, em comparação com as aeronaves da *Canadair Regional Jet* (CRJs), indústria canadense Bombardier. De acordo com Konan *et al.*, (2016), usando uma arquitetura modular, a família de *E-Jets* (E170, E175, E190, E195), oferece aeronaves que conseguem aliar maior posicionamento, margem de lucros para as empresas operadoras, contando com conforto e satisfação do consumidor final. Estes fatores possibilitam o aprimoramento contínuo dos produtos e serviços oferecidos.

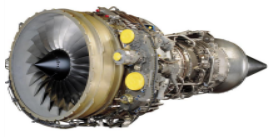
O *E-Jet* 195E está equipado com dois motores *General Electric* CF34 10E, "com controle digital do motor com autoridade total (FADEC), pá do ventilador de corda larga, turbina de baixa pressão de quatro estágios, turbina de alta pressão de estágio único, compressor de alta pressão de 14 estágios e um combustor anual" (AEROSPACE-TECHNOLOGY, 2021, site). Sendo uma extensão do modelo *E-Jets* 175, em que a aerodinâmica da asa e o estabilizador do E195 são maiores em relação a seu antecessor.

4.1.2 Motor CF34-10E - *General Electric*

O motor CF34-10E utilizado na aeronave é considerado a última variante da família de turbofans CF34 atualmente no mercado, segundo a indústria *General Electric* (2020), que apresenta uma taxa mais alta de desvio que os modelos anteriores, e equipa o E195 da Embraer, conforme demonstrado na Figura 7.

De acordo com a indústria *General Electric* (2022), o motor CF34-10E apresenta uma considerável capacidade de aumento de empuxo em relação aos outros modelos da categoria. Basseto (2021) afirma que a fabricante Brasileira Embraer usou tecnologia 3D, que permitiu uma elevada eficiência nos *E-jets* de segunda geração, e como resultado ficaram mais leves.

Figura 7- Especificação Motor CF34-10E



Performance Specifications	
Maximum takeoff thrust with APR*	20,360 lb
Bypass ratio	5.4:1
Maximum overall pressure ratio	29:1
Thrust/weight ratio	5.4:1
Fan diameter	53 in
Maximum diameter	57 in
Length	145 in
Weight	3,700 lb
Noise	Meets or surpasses ICAO Chap. 4 requirements
Emissions	Meets or surpasses ICAO CAEP/6 requirements
Specific fuel consumption 35K/0.8 Mn max cruise	.64
<small>*Uninstalled, Sea level flat-rated to 86°F/30°C</small>	
Milestones	
First engine to test	Third Quarter 2002
FAA engine certification	Second Quarter 2004
Entry into service	Third Quarter 2005

Fonte: General Electric, (2022, site).

As tecnologias aditivas “são usadas para programar impressoras sofisticadas, e aplica camadas de material para criar peças mais leves e sustentáveis” (BASSETO, 2021, site). Com a adição de novas tecnologias surgiu uma nova geração de jatos mais eficientes.

4.1.3 E-Jets: Segunda Geração

Com o intuito de reduzir o ruído emitido pelas aeronaves da primeira geração, Vasconcelos (2018) afirma que a Embraer desenvolveu várias pesquisas para obter uma aeronave mais silenciosa. Ao longo do caminho, e pelos conhecimentos gerados pela indústria, foi possível chegar a uma aerodinâmica mais leve. O desenvolvimento das aeronaves *E-Jets* da segunda geração começaram em 2013. De acordo com a autora, “projetar e desenvolver aviões mais silenciosos que operem em aeroportos sem incomodar os moradores de seu entorno é um dos desafios da indústria aeronáutica” (VASCONCELOS, 2018, p. 82).

Um grande diferencial nos novos modelos de aeronaves foram os motores, Vasconcelos (2018) destaca que os jatos da segunda geração dos *E-jets*, apresentam motores de alta *performance*, que junto com a nova aerodinâmica as asas, controles de voo *fly-by-wire* e de outros sistemas, geram uma redução no

consumo de combustível, além dos custos de manutenção, emissões de gases controladas e nível baixo de ruído.

Para a aerodinâmica dos jatos, foi adicionada uma nova tecnologia a chamada Tecnologia de manufatura aditiva, que segundo Basseto (2021), a tecnologia aplica materiais mais leves, como o plástico deixando o E195-E2 40% mais leve. Conforme ainda afirma a fabricante, a tecnologia 3D “é apenas mais uma ferramenta que nos ajuda a tornar os E2s os aviões mais ambientalmente responsáveis no mercado” (BASSETO, 2021, site).

O maior responsável pela economia de combustível foram os novos motores da *Pratt & Whitney*, sendo estes “mais eficientes do que os da primeira geração de *E-Jets*. Eles responderam por 69% da melhora inicialmente projetada, seguidos pelo novo desenho da asa (22%) e do sistema *Fly-By-Wire* (9%)” (VASCONCELOS, 2018, p. 82). Ainda sobre a estrutura do E195-E2, a Embraer (2022) ressalta que foram acrescentadas três fileiras de assentos, que leva uma exclusiva configuração de fila única, porém de alta densidade, sendo o maior jato já fabricado no Brasil.

revisi [...] Projetado para maximizar retornos e eficiência em rotas de alta densidade. Com suas asas de alta proporção e pontas varridas, combinadas com outras melhorias aerodinâmicas, o E195-E2 atinge um consumo de combustível de dois dígitos menos em comparação com os *E-Jets* da geração atual (EMBRAER, 2022, site).

A aplicação das tecnologias avançadas diferencia as duas gerações, tendo o jato E195-E2 da segunda geração mais alongado, essa evolução se fez satisfatória para o aumento do rendimento, nas melhorias aerodinâmicas e novos motores. O Quadro 1 mostra um comparativo entre os E-Jets 195 da primeira e 195-E2 da segunda geração e suas principais características.



Quadro 1 - Comparativo dos E-Jets 195E / 195-E2



- **E-JET195 Primeira Geração**

Origem: Brasil
Produzido: 2006 - hoje
Comprimento: 38,65 m
Envergadura: 28,72 m
Altura: 10,55 m
Peso da aeronave: 28,5 toneladas
Peso máximo decolagem/pouso: 48,7/45,0 toneladas
LR: 50,7/45,0 toneladas
AR: 52,2/45,8 toneladas
Capacidade de combustível: 16,1 mil litros
Motores: 2x GE CF34-10E
Empuxo: 18 (2x 9) tonf
Velocidade de cruzeiro: 850 km/h (mach 0.80)
Velocidade máxima: 890 km/h (mach 0.82)
Altitude de Cruzeiro: 12,5 km (41 mil ft)
Pista mínima para decolagem: 2,17 km
Alcance: 2593 km
LR: 3704 km
AR: 4260 km
Passageiros: 100-124

- **E-JET 195E2 Segunda Geração**

Origem: Brasil
Produzido: 2019 - hoje
Comprimento: 41,60 m
Envergadura: 35,12 m
Altura: 10,72 m
Peso da aeronave: 35,7 toneladas
Peso máximo decolagem/pouso: 61,5/54,0 toneladas
Capacidade de combustível: 17,0 mil litros
Motores: 2x Pratt & Whitney PW1900G
Empuxo: 16-20 (2x 8-10) tonf
Velocidade de cruzeiro: 870 km/h (mach 0.80)
Velocidade máxima: 890 km/h (mach 0.82)
Altitude de Cruzeiro: 12,5 km (41 mil ft)
Pista mínima para decolagem: 1,80 km
Alcance: 4917 km
Passageiros: 118-146

Fonte: Embraer, 2022, site.

Além disso, Jumpei (2016) ressalta que os jatos operam com diferente banda de sinal via satélite, incluindo um:

[...] avançado sistema integrado de *aviônicos Honeywell Primus Epic™ 2*, que inclui monitores de grandes dimensões, recursos gráficos avançados e o *Next Generation Flight Management System* (Sistema de Gestão de Voo de Nova Geração), da *Honeywell*, já em desenvolvimento na geração atual de *E-Jets*, fornecerão excepcional consciência situacional para o piloto e flexibilidade para a contínua inovação no *cockpit* (EMBRAER, 2013, p. 2).

Além disso, os jatos são:

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 135-169, jan-mar. 2023.

[...] capazes de ter custo por assento semelhante ao de aeronaves *narrow-body* maiores remotorizadas, com um custo por viagem significativamente menor, criando assim novas oportunidades de desenvolvimento de novos mercados com risco reduzido e o dimensionamento correto da frota pelas companhias aéreas (EMBRAER, 2013, p. 2).

Essa tecnologia elevou os níveis de automação dos aviões, substituindo os sistemas tradicionais usados na geração anterior, investindo em materiais leves, com o desenvolvimento e pesquisa que:

[...] identificou e avaliou o ruído gerado e propagado pela primeira geração de *E-Jets* da empresa. O foco do estudo foi o chamado ruído aerodinâmico, causado pelo fluxo de ar que passa ao redor da asa e pela fuselagem do avião (VASCONCELOS, 2018, p. 83).

Segundo a indústria Embraer (2022) com essas melhorias, o E195-E2 tornou-se a aeronave mais sustentável e silenciosa da categoria de corredor único. A indústria ainda conclui que o jato E2 atendeu aos rigorosos limites de ruído descritos no Anexo 16 da OACI, provando ter "uma redução de até 65% de ruído em comparação com o E-Jet da primeira geração, isso equivale a mais de 20 EPNdB de margem cumulativa para os limites do Estágio IV da OACI, os testes mostraram 4,0 EPNdB melhor que o concorrente direto"(EMBRAER, 2022, site).

De acordo com a Companhia Aérea Azul, ela foi uma das empresas a aderir o jato 195-E2, e admitiu que "a aeronave conta com consumo de combustível por assento reduzido em cerca de 30% em relação ao modelo anterior, E1" (AZUL, 2020, p. 39). Ainda segundo a companhia Azul um dos compromissos da empresa, é operar de forma sustentável, tendo como estratégia a redução das emissões de suas aeronaves.

4.1.4 Motores *Geared Turbofan* (GTF)

Os motores usados na segunda geração do E-Jet 195E2 têm um grande diferencial, sendo aplicada tecnologia de ponta, em sua aerodinâmica e motores.

Foram modernizados os sistemas de aviação, incluindo “uma quarta geração de comandos de vôo 100% *Fly-By-Wire* e os motores com alta razão de passagem *PurePower™ Geared Turbofan da Pratt & Whitney*” (EMBRAER, 2022, site). Ainda segundo a indústria:

[...] O motor Pratt & Whitney GTF™ é o único sistema de propulsão com caixa de redução que oferece os melhores benefícios de sustentabilidade do setor e custos operacionais extremamente competitivos. As aeronaves Embraer E195-E2 que utilizam motores GTF representam a combinação mais ecológica de fuselagem e motor, oferecendo o menor nível de ruído e emissões. (EMBRAER, 2022, site).

A Figura 8, a seguir, apresenta o motor PW1900G usado nos modelos *E-Jets 195-E2*.



Fonte: *Pratt & Whitney* (2019, p. 2).

O motor PW1900G possui um sistema de propulsão com engrenagens GTF, que oferece maior sustentabilidade, com uma pegada ecológica. Com essa aplicação, o motor garante “até 75% na redução de ruído, redução de até 50% nas emissões de Nox e redução de até 20% nas emissões de CO₂, tornando-se uma linha de motores silenciosa, ecológica e eficiente” (PRATT & WHITNEY, 2022, site).

As novas tecnologias aerodinâmicas nos aviões, e entre outras tecnologias usadas nos novos componentes dos motores foram necessárias para que o setor cumprisse com “as normas de certificação adotadas pelo Conselho R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 135-169, jan-mar. 2023.

da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI). Estas estão contidas no Anexo 16 - Proteção Ambiental - da Convenção sobre Aviação Civil Internacional” (ANAC, 2019, site). As normas e diretrizes apontadas pela OACI impulsionaram a inovação e conquistas no setor.

4.2 SOLUÇÕES ALCANÇADAS

De acordo com a pesquisa, a nova geração do E195-E2, atendeu as rigorosas normas de certificação impostas pelos órgãos reguladores, adicionando tecnologias capazes de atingir as metas de consumo de combustível, redução de emissão de gases e ruído, apresentando resultados com uma aeronave:

- Mais silenciosa, por incluir matérias leves, gerando menos ruído aerodinâmico, beneficiando não só a classe usuária, mas as pessoas que residem próximo aos aeroportos;
- Os *FLY-BY-WIRE* de 4ª geração, que garantem mais automatização para o jato;
- Design amplo, o jato é mais espaçoso, sendo acrescentadas ainda mais três fileiras de assentos, acomodando mais passageiros;
- Redução de emissão de gases, que com o uso dos novos motores PW1900G garantiu aproximadamente 30% na redução da queima de combustível por assento, resultando em uma considerável redução de emissão de poluentes;
- Aerodinâmica redesenhada, ampliando as asas e também os compartimentos para acomodar os maiores motores *Pure Power*.
- Mais vôos, pois com toda tecnologia garantiu o tempo para manutenções mais longo que o anterior, isso remete em mais horas voadas. Entre outros benefícios que foram descritos na análise, resultou em um jato mais eficiente e sustentável.

4.3 CONVERSÃO DE *E-JETS* PARA CARGAS AÉREAS

A indústria vem apostando em um novo caminho com o intuito de continuar utilizando as aeronaves da primeira geração de *E-Jets*. Albuquerque Filho e Tavares (2020) destacam que as mudanças estão ligadas aos acontecimentos que envolvem essa atividade. Na Figura 9, observa-se as novas versões de aviões cargueiros Embraer.

Figura 9- Aviões cargueiros E190F e E195F da Embraer



Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas
ISSN 2763-7697

Fonte: Embraer (2022, site).

Com isso, a EMBRAER (2022) apresenta uma nova oportunidade para aproveitar a tecnologia dos *E-Jets*, criando um programa de desenvolvimento conversão para cargueiros, entra para o mercado de cargas, com o lançamento dos jatos E190 e E195 para cargas. O cargueiro "E1 Classe F significa que a aeronave é certificada para transportar cargas na cabine, em *containers* resistentes ao calor e ao fogo, com um sistema inovador de detecção de incêndio através de câmeras térmicas" (AZUL, 2022, p. 1).

A Azul adicionou o cargueiro em sua frota, com o intuito de acrescentar mais flexibilidade e benefícios em suas operações. A introdução desse serviço amplia a capacidade de carga do E195, estabelecendo o ganho de eficiência e redução de toneladas de carbono emitida pelas aeronaves. Ainda segundo a Azul (2022) o jato cargueiro possui uma capacidade de carga útil de 15 toneladas

operando com baixo custo por viagem. Nota-se que a indústria tem aproveitado seu conhecimento técnico para desenvolver tecnologias, e segundo a Revista Globo (2019), estas novas tecnologias ajudam a indústria a desenvolver soluções para seus novos projetos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo pode se descrever a evolução dos motores *turbofan*, em especial àqueles aplicados a aviação de médio porte, principalmente porque a partir dos motores é que se consolidam os principais impactos ambientais gerados pela aviação: consumo de combustíveis; emissão de gases de efeito estufa e o ruído aeronáutico. Todavia a aerodinâmica e a fuselagem também tem uma grande influência sobre o consumo de combustíveis e o ruído aeronáutico. Considerando o avanço da aviação civil, e a expansão na quantidade de aeronaves houve elevação no consumo de combustíveis fósseis, gerando grandes desafios para o setor aéreo que potencializaram a pesquisa e o desenvolvimento dos motores *turbofan*.

Constatou-se que os motores *turbofans* de última geração possuem materiais mais leves e econômicos, o que possibilitou a entrada de uma nova geração de aeronaves sustentáveis no mercado. A criação de normas e regulamentos também influenciou para essa evolução, tanto das aeronaves como de seus componentes, sendo uma alternativa criada pelos órgãos reguladores para estimular novas tecnologias.

Ao analisar os resultados, foi possível observar que a indústria aeronáutica está comprometida com a redução dos impactos ambientais da aviação, adotando novas tecnologias ambientalmente mais sustentáveis. O artigo também descreve a evolução das aeronaves *E-Jets* da Embraer, em especial o modelo E195, o maior jato fabricado no Brasil. A partir das observações realizadas em documentos sobre os motores utilizados nos *E-Jets*, verificou-se que o desenvolvimento foi focado na melhoria dos processos já existentes, ou seja, as aeronaves foram

aperfeiçoadas, focando no desenvolvimento e incorporação de novas tecnologias que ajudam a reduzir os impactos ambientais.

Para que o E195-E2 superasse as expectativas, e atendesse os usuários de forma satisfatória a Embraer investiu em tecnologias mais avançadas que apresentaram retornos positivos em termos de economia e redução de impactos ambientais. Observou-se uma melhor performance em voo, com uma redução no consumo de combustível significativa entre um modelo e outro, especialmente pelos novos motores incorporados na versão E 195E2. Estes motores possuem um sistema de propulsão GTF, ou seja, um motor com engrenagens, que possibilitam uma maior sustentabilidade ambiental, proporcionando também uma redução nas emissões de gases e ruídos.

Para se evitar o desuso e passivo ambiental com o descarte das aeronaves de primeira geração, a Embraer promoveu uma reengenharia na primeira geração dos E190 e E195, direcionando-as para novas operações no mercado aéreo de cargas. Com ajustes nos equipamentos que permite a estas aeronaves operar em outro nicho, tendo sua vida útil prolongada. Por fim, destaca-se que com os avanços tecnológicos, têm-se novas ferramentas que proporcionam bem-estar e conforto aos usuários deste tipo de aeronave, que operam com menor impacto ao meio ambiente. A partir das constatações deste artigo, sugere-se a realização de novas pesquisas para monitoramento dos resultados, no tocante às emissões de gases e ruídos, ao longo da vida útil das novas aeronaves, avaliando a performance a médio e longo prazo.

REFERÊNCIAS

ABEAR, Associação Brasileira das Empresas Aéreas. **Aviação no Brasil**. 2022. Disponível em: <http://panorama.abear.com.br/a-aviacao-no-brasil/impactos-sociais-e-economicos/producao/>. Acesso em: 20 abr. 2022.

ABEAR, Associação Brasileira das Empresas Aéreas. **Panorama 2021: o setor aéreo em dados e análises**. ed. 2021. Brasília: ABEAR, 2021. 59 p. Disponível em: <https://www.abear.com.br/publicacoes/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

AEROSPACE-TECHNOLOGY. Aerospace. **Jato Regional Comercial Embraer E-195**. Disponível em: <https://www.aerospace-technology.com/projects/embraer-e-195-commercial-regional-jet/> . Acesso em: 22 mar. 2022.

ALBUQUERQUE FILHO, Marcelo Oliveira; TAVARES, Ângelo Damigo. **A Aviação Comercial Brasileira: A Gestão Estratégica das Empresas Aéreas em Face aos Fatores Externos as Organizações**. 2020. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Aeronáuticas, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2020. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8374/1/MARCELIO_TCC_revisAo_final.pdf. Acesso em: 30 mar. 2022

ANAC. **Plano de Atuação Internacional – 2018**. Brasília: Agência Nacional de Aviação Civil, 2018. 111 p. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/internacional/publicacoes/plano-de-atuacao-internacional-1/b-plano-de-atuacao-internacional-2018/anexo-ii-organismos-de-aviacao-civil.pdf> . Acesso em: 25 abr. 2022.

ANAC. **Plano de Ação para a Redução das Emissões de CO2 da Aviação Civil Brasileira**. 3. ed. Brasília: Anac, 2019. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/PlanodeAo2019ptbr.pdf> . Acesso em: 22 abr. 2022

ANAC. **Plano Aeroviário Nacional 2018 - 2038**: objetivos, necessidades e investimentos. Brasília: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil Secretaria Nacional de Aviação Civil, 2018. 140 p. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/pan2018_ebook.pdf. Acesso em: 12 maio 2022.

ANDRADE, Wellington Gonçalves de; SAMPAIO, Thiago Alves de Sá Muniz. A Máquina de Heron: Desenvolvimento de um procedimento experimental para o ensino da Termodinâmica a fim de entender as máquinas térmicas. **Revista Semiárido De Visu**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 121–130, 2021. DOI: 10.31416/rsdv.v9i2.214. Disponível em: <https://semiaridodevisu.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/214/195>. Acesso em: 18 mai. 2022.

APROBIO. **Inovações tornam a aviação mais sustentável**. 2021. Disponível em: <https://aprobio.com.br/noticia/pinovaccedilotildees-tornam-a-aviaccedilatildeo-mais-sustentaacutep> . Acesso em: 15 mai. 2021.

AZUL. **Relatório de Sustentabilidade 2020**. São Paulo: Azul, 2020. 93 p. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/ed78542a-4e01-429a-8926-03d69ccfa307/ec0195bc-be94-6064-a2a9-2446768c8083?origin=2> . Acesso em: 12 mai. 2022.

AZUL. **Azul lança primeiro cargueiro Classe F do mundo.** São Paulo: Azul, mar. 2022. Disponível em: <https://revistaazul.voeazul.com.br/universo-azul/azul-lanca-primeiro-cargueiro-classe-f-do-mundo/>. Acesso em: 25 mai. 2022.

AZUL. Cargueiro Inovador. **Azul Revista Digital**, Barueri, v. 96, n. 1, p. 01-51, mar. 2022. Disponível em: <https://www.voeazul.com.br/revista-azul>. Acesso em: 20 jul. 2022.

BARRETO, Thamiris de Oliveira; SLAMA, Jules Ghislain. **Impacto Ambiental Sonoro da Aviação Regular em Grandes Aeroportos com Ênfase no Aeroporto de Guarulhos.** 2015. 94 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013304.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2022.

BARROSO, Denys Sodré; SOARES, Teresia Diana Lewe van Aduard de Macedo. **Implicações estratégicas do portfólio de alianças/redes de empresas globais orientadas à inovação: o caso da Embraer S.A.** 2019. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Administração de Empresas da PUC-Rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/47722/47722.PDF>. Acesso em: 22 maio 2022.

BASSETO, Murilo. **Embraer explica a tecnologia que deixou peças dos aviões E2 até 40% mais leves.** 2021. Disponível em: <https://aeroin.net/embraer-explica-a-tecnologia-que-deixou-pecas-dos-avioes-e2-ate-40-mais-leves/>. Acesso em: 01 abr. 2022.

BASSETO, Murilo. **Futuro da aviação.** 2021. Disponível em: <https://igarapenews.com/materias/110/futuro-da-aviacao.html>. Acesso em: 20 mar. 2022.

BETIOLO, Camila Renzetti; ROCHA, Guilherme Conceição; MACHADO, Paulo Roberto de Carvalho. **Iniciativas da Aviação para Redução das Emissões de CO2. In: VIII SITRAER / II RIDITA**, 8., 2008, São Paulo. Congresso. São Paulo: Editora da Unicamp, 2009. p. 401-402. Disponível em: https://www.ridita.org/Archivos/Actas_II_RIDITA.pdf. Acesso em: 09 out. 2021.

BRASIL, Brasília, **Decreto nº 6780.** Aprova a Política Nacional de Aviação Civil (PNAC) e dá Outras Providências. Brasília DF, 18 fev. 2009. MD. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6780.htm. Acesso em: 25 abr. 2022.

COSTA, Bruno Bismarck Wanderley; HENKES, Jairo Afonso. Uma análise dos Impactos provocados pelo ruído aeronáutico nos habitantes do entorno do aeroporto internacional Zumbi dos Palmares - Maceió - AL. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 370-407, abr. 2021. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/16>. Acesso em: 12 mai. 2022.

COUTO, Alan Pitthan; SILVA, Arthur Reckelberg Borges da; MORCELLI, Augusto Cargin; MESQUITA, Bruno; GONÇALVES, Jonas Muller; DEMARCO, Giuliano. **Concepção de um motor a reação didático**. 2017. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Aeroespacial. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2017. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/428/2018/11/Relatorio_group2_cpio1.pdf. Acesso em: 02 abr. 2022.

DICKSON, Niel. *ICAO Noise Standards*. In: **ICAO SYMPOSIUM ON AVIATION AND CLIMATE CHANGE DESTINATE GREEN**, 14., 2013, Montreal. Simpósio. Canadá: Icao, 2013. p. 1-17. Disponível em: <https://www.icao.int/Meetings/Green/Documents/day%201pdf/session%202/2-Dickson.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2022.

EMBRAER. **Embraer e Pratt & Whitney completam teste de voo 100% SAF com motor GTF em um jato E195-E2**. 2022. Disponível em: <https://embraer.com/br/pt/noticias?slug=1207055-embraer-e-pratt-whitney-completam-teste-de-voo-100-saf-com-motor-gtf-em-um-jato-e195-e2>. Acesso em: 02 abr. 2022.

EMBRAER. **Embraer lança E2 a segunda geração de E-Jets**. 2013. Disponível em: <https://embraer.com/br/pt/noticias/?slug=409-embraer-lanca-e2-a-segunda-geracao-de-ejets>. Acesso em: 05 maio 2022.

EMBRAER. **E195-E2 PROFIT HUNTER**. São José dos Campos: Embraer, 2022. Disponível em: [file:///C:/Users/Angela/Downloads/Embraer_Spec_E195-E2_web-EN%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Angela/Downloads/Embraer_Spec_E195-E2_web-EN%20(4).pdf). Acesso em: 20 mar. 2022.

EMBRAER. **E195-E2**. Disponível em: <https://www.embraercommercialaviation.com/e2-profit-hunter-a-force-with-nature/>. Acesso em: 20 mar. 2022.

EMBRAER. **E190F & E195F Freighter**. 2022. Disponível em: <https://www.embraercommercialaviation.com/commercial-jets/e190f-e195f-freighter/>. Acesso em: 20 maio 2022.

EMBRAER. **Guerreiro de Negócios E-JETS**. Disponível em: <https://www.embraercommercialaviation.com/fleet/e-jets/>. Acesso em: 01 fev. 2022.

EMBRAER. **Relatório Anual 2016**. Disponível em: https://www.embraer.com/relatorio_anual2016/pt/clientes.htm. Acesso em: 12 Abr. 2022.

EUA. Força Aérea dos Estados Unidos. **General Electric J31**. 2022. Disponível em: <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/195718/general-electric-j31/>. Acesso em: 21 mar. 2022.

FELIX, Anderson Barboza; ROCON, Leonardo Quintino. **Modelo Matemático do Processo Termodinâmico de um Motor Pulso Jato**. 2008. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008. Disponível em: https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2008-2_anderson_barboza_felix_e_leonardo_quintino_rocon.pdf. Acesso em: 21 abr. 2022.

FERREIRA, Carlos. Avião Embraer E195-E2 participa de demonstração no Japão. Disponível em: <https://aero.in.net/aviao-embraer-e195-e2-faz-demonstracao-no-japao/>. Acesso em: 26 mar. 2022.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GARCIA, Ricardo C. **OJT – Motor a Reação GE Modelo CFM56-7B**. Florianópolis: Issn, 2022. Disponível em: file:///home/eletro/Downloads/pdfcoffee.com_motor-a-reao-ge-modelo-cfm56-7-pdf-free.pdf. Acesso em: 20 mar. 2022.

GENERAL ELETRIC. **O turbofan CF34-10**. 2022. Disponível em: <https://www.geaviation.com/propulsion/commercial/cf34>. Acesso em: 23 abr. 2022.

GENERAL ELETRIC. **General Electric CF34/TF34: turbofans**. Cincinnati: General Electric, 2020. Disponível em: <http://tealgroup.com/images/TGCTOC/sample-babeng.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2022.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: http://www.uece.br/nucleodelinguasitaperi/dmdocuments/gil_como_elaborar_projeto_de_pesquisa.pdf. Acesso em: 25 de maio de 2022.

GLOBO. **Indústria 4.0: saiba como a Embraer entrou na revolução tecnológica**. São Paulo, 18 nov. 2019. Disponível em: R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 135-169, jan-mar. 2023.

<https://g1.globo.com/especial-publicitario/embraer/noticia/2019/11/18/industria-40-saiba-como-a-embraer-entrou-na-revolucao-tecnologica.ghtml>. Acesso em: 13 maio 2022.

GOMES, Sérgio Bittencourt Varella. A indústria aeronáutica no Brasil: evolução recente e perspectivas. In: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). **BNDES 60 anos: perspectivas setoriais**. Rio de Janeiro: ISBN: 9788587545442 2012. p. 138-185. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/919/1/A%20ind%c3%baustria%20aeron%c3%a1utica%20no%20Brasil_P-final_BD.pdf . Acesso em: 22 abr. 2022.

GOMES, Bruno da Silva; SANTOS, Murilo Batista dos; SILVA, Pedro Henrique de Alcântara e. Jogos tecnológicos e a inserção da Embraer perante a nova família de aeronaves para aviação comercial. **Revista de Literatura de Transporte**, Manaus, v. 8, n. 1, p. 235-264, jan. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jtl/a/sPscnq6rrk5xDfD35KgsGym/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2022.

HENRIQUES, Isadora Ruas; SLAMA, Jules Ghislain. **Impacto do Ruído Aeroportuário no Sono da População – Caso dos Aviões Cargueiros no Aeroporto Internacional de Viracopos**. 2014. 164 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://1library.org/document/qmjn10v4-universidade-federal-do-rio-de-janeiro.html> Acesso em: 22 mar. 2022.

ICAO. **50 anos do Anexo 16 – A Reunião Especial sobre Aeronaves Barulho nas proximidades de Aeroportos**. Montreal, 2019. 5 p. Disponível em: https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019_pg39-43.pdf. Acesso em: 25 abr. 2022.

JUMPEI, Márcio. Embraer E 190 E2 Pronto para Outra. **Revista High**, São Paulo, v. 58, n. 1, p. 5-12, 08 maio 2016. Disponível em: <http://revistahigh.com.br/edicoes/>. Acesso em: 22 mar. 2022.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos da Metodologia Científica. 5ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003. ISBN 85-224-3397-6. Acesso em: 02 fev. 2023

MOREIRA, Rafael Vaz Fernandes; SOUZA, Simone Lorena Quitério de; CORRÊA, Sergio Machado. Análise de Emissões Aeronáuticas: Estudo de caso em um aeroporto da cidade do Rio de Janeiro. **Revista Sustinere**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 6, p. 3-23, jun. 2018. Disponível em: [file:///C:/Users/Angela/Downloads/33346-120184-1-PB%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Angela/Downloads/33346-120184-1-PB%20(2).pdf). Acesso em: 22 abr. 2022.

PAPINHA, Dinis *et al.* Aviação após a 1ª Guerra Mundial. In: SEMINÁRIO AEROESPACIAL II, 2., 2019, Lisboa. **Seminário**. Lisboa: Meaer, 2019. p. 1-27. Disponível em: [file:///home/eletro/Downloads/Grupo%2012%20\(1\).pdf](file:///home/eletro/Downloads/Grupo%2012%20(1).pdf). Acesso em: 10 abr. 2022.

PEREIRA, Alessandro Sanches, *et al.* **Mudanças climáticas e mudanças socioambientais globais: reflexões sobre alternativas de futuro** / coordenação de Eda Terezinha de Oliveira e organização de Emília Wanda Rutkowski. – Brasília: UNESCO, IBICC, 2008. 184 p. ISBN: 978-85-7652-083-2 Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4103484/mod_resource/content/1/mudancas%20socioambientais%20globais.pdf. Acesso em: 10 maio 2022.

PETROBRAS. **Querosene de Aviação**: Informações técnicas. Rio de Janeiro: Petrobras, 2021. 15 p. Disponível em: <https://petrobras.com.br/data/files/9A/47/97/3E/104ED7105FC7BCD7E9E99EA8/Manual%20de%20Querosene%20de%20Aviacao%202021.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2023.

PRATT & WHITNEY. **Pratt & Whitney GTF Geared Turbofan Commercial engine PW1700G e PW1900G: Powering the Embraer E-Jets E2**. 2019. Eua: Pratt & Whitney, 2019. 2 p. Disponível em: <https://pwgtf.com/-/media/project/pw/pw-internet/commercial-aircraft/gtf-engine/gtf-site/pdf/product-card/pw-gtf-pw1700g-pw1900g-product-card-june-2019.pdf?rev=1&hash=D7331BF7AA1ABBBF7BE5BD2F05B67407> Acesso em: 25 mar. 2022.

PRATT & WHITNEY. **Turbinas: menos estágios, mais para amar**. 2022. Disponível em: <https://pwgtf.com/family>. Acesso em: 25 mar. 2022.

RIBEIRO, Lucas; SILVA, Orlando Flávio. **História da Aviação Civil e origem do setor de transportes aéreos no Brasil**. 2018. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Aeronáuticas, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2018. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8120/1/TCC%20Lucas%20Ribeiro.1.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2022.

ROCHA, Denis Rodrigues; TAVARES, Ângelo Damigo. **Estruturas de Aeronaves: Análise do aumento da utilização de materiais compósitos**. 2020. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Aeronáuticas, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2020. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/15940/1/Denis_Rocha_monografia_2020.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.

RODRIGUES, Orlando Dutra. **Simulação Computacional de uma Microturbina a gás utilizando um turbocompressor**. 2022. 81 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de

Ouro Preto - Ufop, Ouro Preto, 2022. Disponível em:
<https://monografias.ufop.br/handle/35400000/3984>. Acesso em: 24 mai. 2022.

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**, Florianópolis, v. 1, n. 3, p. 145-164, jun. 2021. Disponível em:
<https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/47>. Acesso em: 12 jun. 2022.

SAMPERI, Hernandez; COLLADO, Carlos Fernandez; LUCIO, Maria del Pilar Baptista. **Metodologia de Pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013. 617 p. Disponível em:
[file:///home/eletro/Downloads/Metodologia%20De%20Pesquisa%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](file:///home/eletro/Downloads/Metodologia%20De%20Pesquisa%20(%20PDFDrive%20).pdf). Acesso em: 01 set. 2022.

SÁ NETO, Wilson Craveiro de; MONTEIRO, Raul Francé. **A evolução dos Motores a reação e seu impacto no meio ambiente**. 2020. 20 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Aeronáuticas, Pontifícia Universidade Católica de Goiás Escola de Ciências Exatas e da Computação, Goiânia, 2020. Disponível em:
<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/306>. Acesso em: 22 fev. 2022.

SIENA, Osmar. **Metodologia da pesquisa científica: elementos para elaboração e apresentação de trabalhos acadêmicos** /Osmar Siena. Porto Velho: [s.n.], 2007. 200 p. ISBN ISBN 978-85-7764-023-2

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estela Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4 ed. Revisada. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância/UFSC, 2005.

SIMÕES, André Felipe; SCHAEFFER, Roberto. Emissões de CO2 devido ao transporte aéreo no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 1-9, jan. 2018. Disponível em:
<https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/161/144>
Acesso em: 03 mai. 2022.

SOARES, Pedro; CENAMO, Mariano. **Esquema de Redução de Emissões da Aviação Civil Internacional (Corsia/Icao): Desafios e Oportunidades para o Brasil**. Idesam, Manaus. 2018. 32 p. Disponível em:
<https://idesam.org/publicacao/corsia-oportunidades-para-o-brasil-v2.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

STRINGFIXER. **Peso máximo de decolagem**. 2022. Disponível em:
<https://stringfixer.com/pt/MTOW>. Acesso em: 30 jul. 2022.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 135-169, jan-mar. 2023.

STRINGFIXER. **EPNdB**. 2022. Disponível em: <https://stringfixer.com/pt/EPNdB>. Acesso em: 30 jul. 2022.

VASCONCELOS, Yuri. Um jato mais eficiente. **Revista Fapesp**, [s. /], v. 265, n. 19, p. 81-83, mar. 2018. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2018/03/080-083_embraer_265.pdf. Acesso em: 23 abr. 2022.

VENSON, Giuliano Gardolinski. **Introdução a motores baseados em turbinas a gás: componentes de motores de turbinas a gás, motores turbo-jato e motores turbo-fan, motores turbo-hélice e turbo-eixo**. São Paulo: Universidade de Taubaté - Unitau, 2012. 119 p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/14306437-Introducao-a-motores-baseados-em-turbinas-a-gas.html> . Acesso em: 09 mar. 2022.

VILLA, Benito Ruiz de. O impacto ambiental do transporte aéreo. **Jornal da Formação Aérea**. São Paulo, p. 1-15. mar. 2010. Disponível em: https://oa.upm.es/9538/1/INVE_MEM_2010_88087.pdf. Acesso em: 22 abr. 2022



**Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas**
ISSN 2763-7697