

# **O DESENVOLVIMENTO DOS MOTORES A REAÇÃO AO LONGO DO TEMPO E SEUS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE<sup>1</sup>**

## **THE DEVELOPMENT OF REACTION ENGINES OVER TIME AND THEIR IMPACTS ON THE ENVIRONMENT.**

**Natá Freire Silva<sup>2</sup>**

### **RESUMO**

Os avanços na área da engenharia desde as primeiras descobertas até o que se vê hoje são muito grandes e representam maior conforto, confiabilidade e rapidez nos desafios do mundo do século XXI. Contudo, tal desenvolvimento, inevitavelmente, trouxe consequências para o meio ambiente. Busca-se, hoje, mitigar tais efeitos visando a diminuição de poluentes. Tendo em vista a importância do tema deste trabalho, tal estudo teve como objetivo geral (principal) compreender o histórico da evolução dos motores a reação e suas consequências para o meio. O presente trabalho consistiu numa pesquisa do tipo básica realizada por meio de análise de documentos de diversas fontes. Quanto ao procedimento de coleta de dados, a pesquisa foi do tipo bibliográfica, uma vez que foram realizadas leituras de materiais já publicados. Ao fim desse estudo, concluiu-se que os motores a reação evoluíram muito e concomitantemente seus efeitos ao meio ambiente. Por causa disso, hoje existem diversas medidas em prol da diminuição da emissão dos poluentes tanto por parte das empresas de aviação quanto dos fabricantes de motores de aviação. Esse estudo, no entanto, focou nos motores a reação turboeixo devido aos diversos tipos de motores a reação existentes.

**Palavras-chave:** engenharia; meio ambiente; motores.

### **ABSTRACT**

The advances in engineering from the earliest discoveries to what we see today are very great and represent greater comfort, reliability, and speed in meeting the challenges of the 21st century world. However, such development has inevitably brought consequences to the environment. Today, we seek to mitigate these effects by reducing pollutants. Considering the importance of the subject of this work, this study had as its general (main) objective to understand the history of the evolution of reaction engines and their consequences to the environment. The present work consisted of a basic research carried out through the analysis of documents from various sources. As for the data collection procedure, the research was of the bibliographic type, since previously published materials were read. At the end of this study, it was concluded that reaction engines have evolved a lot and concomitantly their effects on the environment. Because of this, today there are several measures in favor of reducing the emission of pollutants both by aviation companies and by aviation engine manufacturers. This study, however, focused on turboshaft reaction engines because of the many different types of reaction engines that exist.

**Keywords:** engineering; environment; engines.

<sup>1</sup> Artigo apresentado em 10 de outubro de 2022 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército como requisito parcial para obtenção do Grau Tecnólogo em Sistemas Mecânicos de Aeronaves.

<sup>2</sup> Aluno do Curso de Formação e Graduação de Sargentos – Av Mnt. Centro de Instrução de Aviação do Exército (CIAvEx). E-mail: [nata.f.silva@hotmail.com](mailto:nata.f.silva@hotmail.com)

# 1 INTRODUÇÃO

As descobertas realizadas entre o fim do século XVIII e início do século XIX na área da termodinâmica revolucionaram o mundo de modo que nos dias de hoje ainda se vê as consequências. Tais descobertas proporcionaram o desenvolvimento de máquinas dentre as quais se destaca os motores e seus diversos tipos.

Hoje em dia os motores apresentam tecnologias avançadas em diversas partes de sua construção e funcionamento como forma de mitigar as consequências de seu uso, por exemplo, visto que o aumento de poluentes cresceu desde a invenção dos motores, já que os mesmos se valem de combustíveis fósseis para seu funcionamento. (MOREIRA, 2018). Tal avanço só foi possível devido um longo histórico de pesquisas, descobertas e evolução ao longo da história.

Paralelamente ao avanço dos motores movidos à combustão interna, desenvolveu-se também, diante do desejo do homem de voar, os motores à reação, usados principalmente na aviação, como complementa Neto (2020):

“No decorrer da história da humanidade, a busca de novas formas de agir, pensar, comunicar-se, integrar-se e transacionar, que facilitassem a vida em sociedade, sempre foi um constante objetivo do homem. Uma dessas formas é a aeronave, que, desde o final da Segunda Guerra Mundial, passou a contar com motores à reação.”

Os excelentes rendimentos dos motores à reação mantém uma antiga questão: o quanto esses motores impactam o meio ambiente ainda hoje?

Este trabalho terá como tema “o desenvolvimento dos motores ao longo do tempo e seus impactos no meio ambiente”.

Nesse sentido, o objeto de pesquisa, ou seja, a delimitação do tema será “o desenvolvimento do motor a reação e seu impacto ao meio ambiente”.

A partir do referido objeto, buscar-se-á resolver o seguinte problema de pesquisa: o motor à reação, utilizado em larga escala na aviação, ao longo da história buscou mitigar os efeitos de seu uso no meio?

Para delinear bem o estudo, este trabalho desdobrar-se-á em 01 (um) objetivo geral e 03 (três) objetivos específicos.

Esta pesquisa tem como objetivo geral (principal) compreender o histórico da evolução dos motores e suas consequências para o meio.

Além do objetivo geral, descrito acima, a pesquisa tem como objetivos específicos: a) Examinar a evolução dos motores à reação ao longo da história; b) Examinar o impacto dos

motores à reação no meio ambiente; c) Identificar os dispositivos para mitigar as consequências ao meio ambiente.

Inicialmente foi realizada uma leitura sobre o desenvolvimento dos motores em geral e dos motores a reação, a fim de proporcionar uma ambientação ao tema escolhido.

Quanto ao procedimento de coleta de dados, a pesquisa será do tipo bibliográfica, uma vez que serão realizadas leituras exploratórias e seletivas dos materiais de pesquisa em fontes já publicadas (portarias, documentos, sítios da internet, artigos etc).

No que diz respeito à finalidade, a pesquisa será do tipo básica, realizada por meio de análise de documentos de diversas fontes, buscando examinar os diversos tipos de motores e suas consequências para o meio. O foco desse tipo de pesquisa é gerar conhecimentos teóricos, valendo-se para isso do método indutivo como forma de se chegar a uma conclusão acerca da referida investigação.

Este estudo se mostra relevante, pois, na medida do possível, ele poderá contribuir para o aperfeiçoamento dos sistemas dos motores, a fim de diminuir a poluição emitida. Assim, este trabalho ganha uma importância considerável, pois poderá vir a ser uma ferramenta de grande utilidade para a sociedade de modo geral podendo evitar maiores consequências ambientais.

## **2 A EVOLUÇÃO DOS MOTORES À REAÇÃO: BREVE HISTÓRICO**

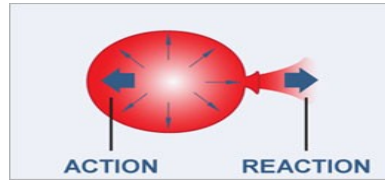
De acordo com Neto (2020) a primeira vez que algo parecido com um motor que utilizava a teoria de reação em vez de explosão funcionou foi em dezembro de 1910, na localidade francesa de Issy-Les-Moulineux, Paris. A partir de então muito se evoluiu.

O próximo passo desse desenvolvimento foram os motores turbojatos. Seu funcionamento consiste na admissão de ar pela sua parte frontal, esse ar é direcionado para um compressor que o comprime antes que o mesmo seja misturado ao combustível e queimado numa câmara de combustão. Após sua queima o ar, em grande velocidade, passa por um conjunto de turbinas onde parte da energia cinética é trocada por energia mecânica. A energia mecânica é utilizada para tocar os acessórios do motor como, em alguns casos, a unidade controladora de combustível entre outros. O ar é expelido em alta velocidade e com grande energia na parte traseira do motor impulsionando todo o sistema no sentido contrário por ação/reação. Daí o nome “motor à reação”.

Uma variação desse tipo de motores são os turboeixos, cuja energia cinética gerada é transformada em energia mecânica que, por meio de uma caixa de redução, se liga a um eixo

de transmissão. É importante salientar que ainda assim existe uma energia cinética residual que impulsiona todo o sistema a frente como nos motores à reação tradicionais. Esse tipo de motores são utilizados geralmente em helicópteros.

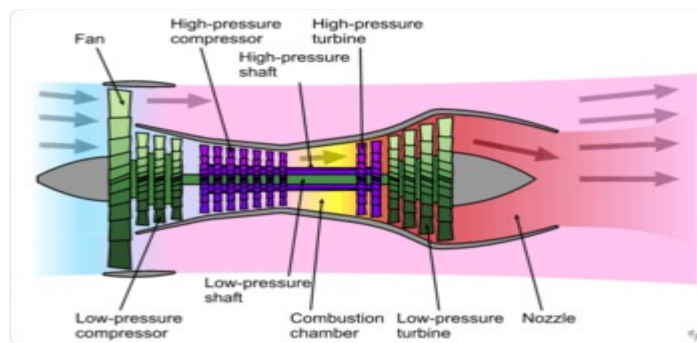
Figura 1 – Ação/reação



Fonte: <https://howthingsfly.si.edu/propulsion>

Outra variação dos motores à reação são os turbofans. Nesse contexto, afirma Neto (2020), os motores turbojato foram substituídos na aviação comercial pelos turbofans, que são mais silenciosos e mais econômicos, além de gerar maiores trações em baixas velocidades. A grande diferença entre os turbojatos e os turbofans no que diz respeito à construção é a presença de “fans” em sua parte frontal – uma espécie de ventoinha por onde passa o ar.

Figura 2 – Motor turbofan



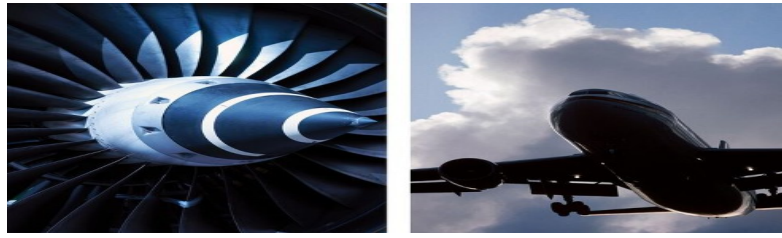
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Turbofan>

### 3 O IMPACTO DOS MOTORES À REAÇÃO NO MEIO AMBIENTE

Os motores utilizados na aviação utilizam combustíveis de origem fóssil cuja queima produz gases maléficis ao meio ambiente. Segundo Freitas (2020) o motor turbofan, por exemplo, produz durante a queima de combustível cerca de 70% de dióxido de carbono e outros 30% são compostos por monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxido de nitrogênio e óxido de enxofre. Esse subproduto proveniente da queima é lançado na atmosfera afetando assim o equilíbrio ambiental. Nesse contexto afirma Costa e Henkes (2021, p. 136):

A aviação é responsável por 3% das emissões globais de CO<sub>2</sub> e cresce a uma taxa de 5% a 10% ao ano, contribuindo para o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), o setor está sendo pressionado a reduzir suas emissões de poluentes.

Figura 3 - poluição



Fonte: <https://www.natgeo.pt/viagem-e-aventuras/2021/01/as-viagens-aereas-mais-sustentaveis-vaio-depender-destas-tecnologias-emergentes>

Como afirma Figueiredo (2013):

Tem-se uma estimativa de que no século 20 a quantidade de monóxido de carbono aumentou em 25% - o que equivale a colocar na atmosfera 270 milhões de toneladas, formando um “cobertor” de 20 km de altitude, que impediria a passagem livre de calor do sol, gerando o chamado efeito estufa. Verifica-se que só entre 1975 e 2003 a aviação colocou na atmosfera pelo menos 180 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Além disso, o combustível fóssil cria outros problemas, tais como névoas e chuva ácida, tendo como agravante ser uma fonte de energia não renovável.

Tal aumento de emissões e consequências para o meio ambiente são tão expressivos que a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) definiu em sua 37<sup>a</sup> Assembleia por meio da resolução A37-19 um plano de ações para redução de emissões. Tal plano contém recomendações para que informações como medidas para diminuição dos poluentes e consumo de combustível, por exemplo, sejam publicados em planos trianuais feitos pelas empresas de aviação. De acordo com o FAPESP (2013) a aviação está comprometida com a redução de seus impactos no meio ambiente e para isso traçou metas que envolvem a redução de 50% de dióxido de carbono até 2050 entre outras medidas.

O comprometimento das empresas de aviação passam também pela busca de combustíveis alternativos, como afirma Figueiredo (2013): “Muitas pesquisas têm sido efetuadas nesse sentido da redução do consumo de combustíveis fósseis e a sua substituição por outros mais sustentáveis.”

Nesse sentido o bioquerosene surge como uma opção que vem sendo estudada. Como afirma Betiolo, Rocha e Machado (2009, p. 3):

Nos últimos anos, significativos avanços vêm sendo alcançados no desenvolvimento de combustíveis alternativos para a aviação, em particular uma nova geração de bioquerosenes sustentáveis. Estes devem garantir à aviação alto desempenho, segurança, que não concorram com a produção de alimentos e que sejam competitivos com o custo do querosene tradicional.

Figura 4 - Bioquerosene



Fonte: <https://www.capitalreset.com/o-plano-para-fazer-do-brasil-um-lider-em-querosene-verde-de-aviacao/>

#### 4 DISPOSITIVOS PARA MITIGAR AS CONSEQUÊNCIAS AO MEIO AMBIENTE

Ao longo do tempo tanto as empresas de aviação civil quanto os fabricantes de motores, levando em consideração a poluição emitida, desenvolveram seus projetos e promoveram mudanças visando a mitigação dos efeitos negativos ao meio ambiente.

##### 4.1 Motor Arriel – Dreno de combustível

Por meio do *'Service bulletin'* n° 292 71 0189 a *Safran Helicopter Engines* promoveu uma mudança no projeto (TU 262) de seus motores da família Arriel (1B, 1C, 1C1, C2, 1D, 1D1, 1S e 1S1). Essa mudança tem como finalidade prevenir que o combustível seja derramado nas pistas ou heliportos advindo do dreno de combustível e da válvula de *overspeed*.

Figura 5 – Motor Arriel



Fonte: <https://www.aeroexpo.online/pt/prod/safran-helicopter-engines/product-170453-920.html>

A TU 262 diz respeito ao combustível residual presente na câmara de combustão na fase de corte do motor. Antes da modificação esse combustível, através da válvula purga de parada, retornava para uma tubulação que o levava para um ralo no piso mecânico do motor a partir do qual o combustível era derramado no solo.

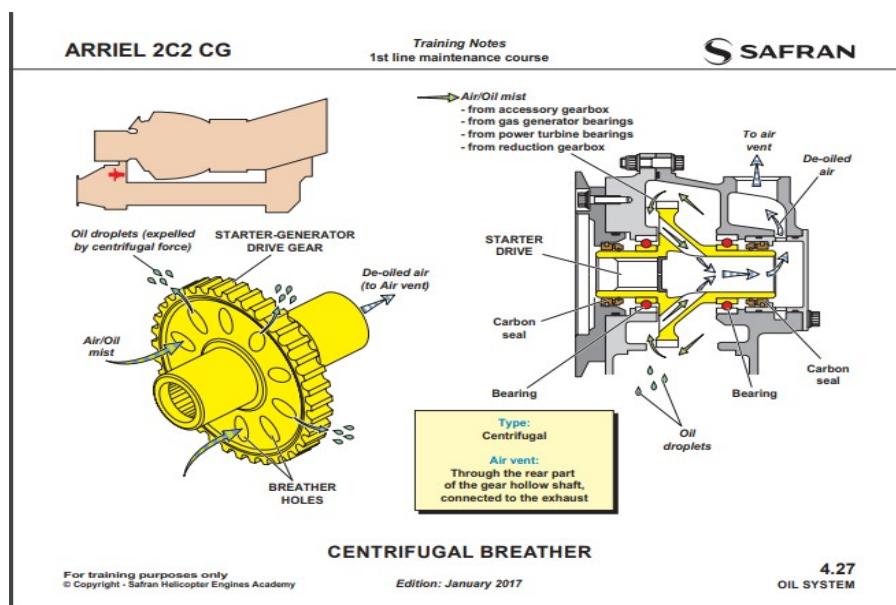
Pós modificação, esse combustível residual, também por meio da válvula purga de parada, retorna não mais para o ralo do piso mecânico do motor mas agora para o tanque de combustível por meio de uma tubulação para ser reaproveitado, evitando com isso seu descarte inapropriado no ambiente externo e a poluição advinda de tal ação.

#### 4.2 Deaerador centrífugo

Outra medida mitigadora dos efeitos negativos ao meio ambiente foi o desenvolvimento da tecnologia do deaerador centrífugo. O deaerador é um componente do motor que é ligado à caixa de acessórios.

Consiste num mecanismo de engrenagem que capta os vapores de ar/óleo que estão em suspensão nos cárteres. A mistura ar/óleo entra pelos orifícios da engrenagem que está girando e a partir de seu movimento centrífugo separa o ar do óleo. O óleo, quando separado do ar, cai por gravidade no fundo do cárter e o ar que se encontra agora mais “limpo” é direcionado por meio de uma tubulação para o meio ambiente.

Figura 6 – Deaerador Centrífugo



Fonte: Safran Helicopter Engines Academy; Manual de treinamento do 1º nível de manutenção do motor Arriel 2C2CG;

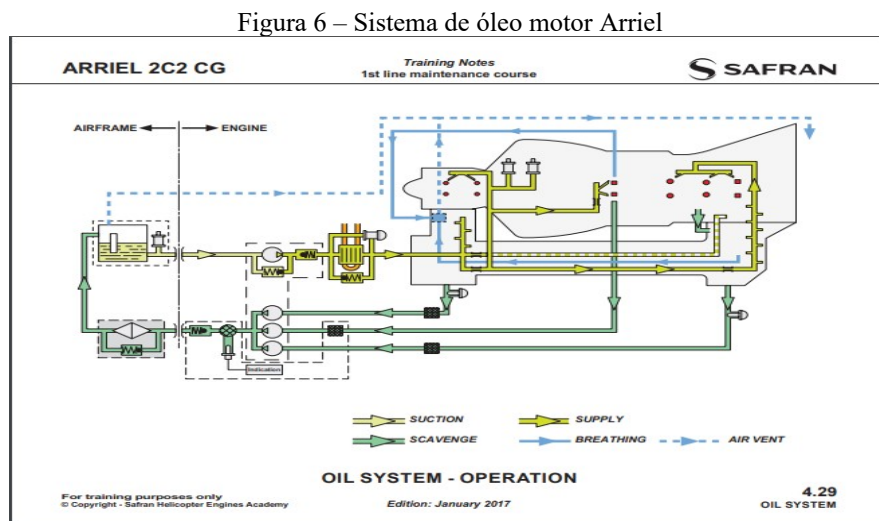


O deaerador centrífugo é uma solução ecológica pois impede que grandes quantidades de vapores de óleo sejam despejados na atmosfera contribuindo para uma atmosfera mais limpa.

### 4.3 Tubulação de óleo

Além do supracitado, motores à reação como os da família Arriel de fabricação da Safran possuem também em seu sistema de óleo mecanismos que visam diminuir o impacto ao meio externo.

Tais mecanismos consistem em tubulações por onde são canalizados o vapor de óleo que, após resfriar e lubrificar diversas partes do motor como rolamentos, é direcionado à parte traseira do motor onde se encontra o exaustor. É pelo exaustor que sai grande quantidade de energia em forma de calor, portanto, é uma região que atinge altíssimas temperaturas.



Fonte: Safran Helicopter Engines Academy; Manual de treinamento do 1º nível de manutenção do motor Arriel 2C2CG;

O vapor de óleo quando em contato com a região mais quente do motor é evaporado. Isso evita que o vapor de óleo bruto que sai do motor seja lançado na atmosfera poluindo com isso muito mais do que somente seus vapores.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por causa da importância das novas tecnologias e de seus avanços, aliado ao cuidado com o meio ambiente no contexto de um mundo cada vez mais inovador, este trabalho teve como objetivo compreender o histórico da evolução dos motores e suas consequências para o meio. Neste trabalho, analisaram-se a evolução dos motores à reação, seus impactos na atmosfera e soluções mitigadoras. Para este estudo, o Manual de treinamento do 1º nível de manutenção do motor Arriel 2C2CG da *Safran Helicopters Engine* foi de grande valia e teve papel fundamental pois foi a principal fonte de consulta quando se tratou de modificações e acessórios presentes em motores que visam a diminuição da poluição na atmosfera. Para tanto, além do referido manual, foi realizada uma revisão bibliográfica, tendo como fontes: artigos científicos e sítios da internet que dizem respeito ao estudo proposto.

Por meio de leituras exploratórias sobre o meio ambiente e sobre motores em geral, foi possível verificar que existe uma preocupação geral por parte das empresas de aviação, bem como dos fabricantes de motores com o tema do meio ambiente. A preocupação redundava em ações práticas em prol de uma atmosfera mais limpa.

Dessa maneira, entende-se que o objetivo geral foi inteiramente atingido e, devido à elucidação dos dados obtidos por este Trabalho Científico e pela análise dos resultados a que se chegou, conclui-se que ainda existem muitos desafios diretamente relacionados ao meio ambiente, onde o desenvolvimento de combustíveis menos agressivos compreende a próxima fronteira a ser investigada mas que apesar disso existem esforços por parte de todos envolvidos em aviação para um menor efeito negativo na atmosfera e meio ambiente. Para tanto, sugere-se que os estudos sobre combustíveis alternativos, bioquerosene e biomassa sejam incentivados e recebam investimentos para que logo tal capacidade possa ser empregada em larga escala na aviação em todo mundo. Isso, sem dúvida, proporcionará uma aviação mais limpa.

No que diz respeito aos objetivos específicos, pôde-se descrever e examinar, ao longo do artigo, a evolução dos motores à reação ao longo da história a partir de um breve histórico, bem como examinar os impactos desses motores no meio ambiente a partir de dados coletados sobre a aviação em todo mundo além de identificar os dispositivos instalados em motores de aviação que visam mitigar os efeitos negativos ao meio ambiente. Além disso, a explicação para o problema levantado nessa pesquisa foi inteiramente contemplada.

Este trabalho se debruçou sobre os motores utilizados em aviação, pesquisas futuras

nessa mesma área vão enriquecer e contribuir ainda mais para o tema proposto. Nesse sentido, cabe destacar: Estudos de diferentes tipos de motores e o uso de combustíveis mais limpos.

## REFERÊNCIAS

ANAC. **Plano de ação para redução das emissões de GEE da aviação civil.** *In*: Plano de ação para redução das emissões de GEE da aviação civil. [S. l.], 6 dez. 2019. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/plano-de-acao#:~:text=O%20plano%20de%20a%C3%A7%C3%A3o%20para,metas%20relativas%20%C3%A0%20mudan%C3%A7a%20clim%C3%A1tica>. Acesso em: 17 set. 2022.

ANAC. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil**, [S. l.], v. Único, n. 1, p. 1-44, 6 dez. 2019. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/inventario-nacional-de-emissoes-atmosfericas-da-aviacao-civil>. Acesso em: 16 set. 2022.

COSTA, H. B. MOREIRA, Rafael Vaz Fernades. **Análise de Emissões Aeronáuticas: Estudo de caso em um aeroporto da cidade do Rio de Janeiro**. 1. ed. Rio de Janeiro: Revista Sustinere, 2018.

*ENVIRONMENTAL Protection*. [S. l.], 30 jun. 2022. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/default.aspx>. Acesso em: 30 jun. 2022.

*ENVIRONMENTAL Protection*. [S. l.], 30 jun. 2022. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/default.aspx>. Acesso em: 30 jun. 2022. M. .; HENKES, J. A. **Um Estudo Sobre as Alternativas de Motores e Energias Renováveis para Aviação**. Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 134–159, 2021. Disponível em: <https://rbaccia.emnuvens.com.br/revista/article/view/60>. Acesso em: 17 set. 2022.

FREITAS, Wanderson Pires de, **Sustentabilidade Ambiental dos Motores Aeronáuticos**. 1. ed. Goiânia: PUC-GO, 2020

LAURENCE, Nathan. **Grupo Motopropulsor: Turbofan**. *In*: Turbofan. [S. l.], 13 jul. 2011. Disponível em: <http://grupomotopropulsor.blogspot.com/2011/07/turbofan.html>. Acesso em: 17 set. 2022.

MOREIRA, Rafael Vaz Fernades. **Análise de Emissões Aeronáuticas: Estudo de caso em um aeroporto da cidade do Rio de Janeiro**. 1. ed. Rio de Janeiro: Revista Sustinere, 2018.

NETO, Wilson Craveiro de Sá. **A evolução dos Motores à Reação e Seu Impacto no Meio Ambiente**. 1. ed. Goiânia: PUC-GO, 2020.

RENTES, Victor Cattani. **Gestão de gases de efeito estufa (GEE) no setor de aviação: o caso do Grupo Latam Airlines**, [S. l.], p. 1-37, 9 mar. 2015. Disponível em: <https://mudarfuturo.fea.usp.br/artigos/estrategias-reducao-gee-2014/gestao-de-gases-de-efeito-estufa-gee-no-setor-de-aviacao-o-caso-do-grupo-latam-airlines/>. Acesso em: 17 set. 2022.

TURBOMECA. **Manual de Instrução do Motor ARRIEL 1**. Bordes: TURBOMECA, 2014.

TURBOMECA. **Manual de instrução do Motor ARRIEL 2C2CG.** TURBOMECA,ed. 2017

TURBOMECA. **Manual de Manutenção do Motor ARRIEL 1.** Tarnos: TURBOMECA, 2014.