

IMPLEMENTAÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS EM AERONAVES PRIVADAS E COMERCIAIS

IMPLEMENTATION OF ELECTRIC MOTORS IN PRIVATE AIRCRAFT AND COMMERCIALS

Paulo Henrique Zenatti Monteiro¹
Luccas Barbosa Carneiro²

¹ UNEF, Bacharel em Engenharia Mecânica, engpaulozenatti@gmail.com

² UNEF, Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial, professor.luccasbarbosa@gmail.com

RESUMO

Introdução: O aumento da necessidade de voos nacionais e internacionais corrobora com a elevação dos índices de gases poluentes, os quais intensificam a camada de ozônio. Além disso, os valores de operações de voo e dos combustíveis fósseis estão cada vez maiores. Em contrapartida, os aviões elétricos surgem como alternativa sustentável, uma vez que não emitem gases poluentes e os custos operacionais são muito baixos. **Objetivos:** O objetivo deste trabalho é apresentar os pontos que dificultam a total substituição dos motores à combustão pelos elétricos, os fatores físico-mecânicos em comparação com os dois motores, realizar uma análise sobre o Estado da Arte que perpassa pelo tema e informar os fatores que limitaram o desenvolvimento desta pesquisa. **Metodologia:** Por ser uma revisão de literatura, esta pesquisa é considerada como exploratória, a qual busca informações em outras bibliografias e alternativas para suprir a necessidade de total substituição dos motores, o que caracteriza um aspecto qualitativo. **Resultados e Discussão:** Através da utilização dos descritivos de busca, como “motores elétricos aeronáuticos”, “aviões elétricos” e “baterias de aviões”, foram encontrados 2820 artigos, dos quais apenas 6 foram escolhidos para aprimoramento de informações desta pesquisa, sendo possível alcançar os resultados planejados nos objetivos. **Considerações finais:** Por fim, nota-se que os objetivos foram alcançados, permitindo a conclusão desta pesquisa.

Palavras-chave: Magni 500; Fluxo axial; Fluxo radial; Implementação;

ABSTRACT

Introduction: The increase in the need for national and international flights corroborates with the increase in the levels of polluting gases, which intensify the ozone layer. In addition, the values of flight operations and fossil fuels are increasing. On the other hand, electric planes emerge as a sustainable alternative, since they do not emit polluting gases and operating costs are very low. **Objectives:** The objective of this work is to present the points that make it difficult to completely replace combustion engines with electric ones, the physical-mechanical factors in comparison with the two engines, carry out an analysis of the State of the Art that permeates the subject and inform the factors that limited the development of this research. **Methodology:** Because it is a literature review, this research is considered

exploratory, which seeks information in other bibliographies and alternatives to meet the need for total replacement of the engines, which characterizes a qualitative aspect. **Results and Discussion:** Through the use of search terms, such as “aeronautical electric motors”, “electric airplanes” and “airplane batteries”, 2820 articles were found, of which only 6 were chosen to improve the information of this research, being possible to achieve the planned results in the objectives. **Final considerations:** Finally, it is noted that the objectives were achieved, allowing the conclusion of this research.

Keywords: Magni 500; Axial flow; Radial flow; Implementation;

INTRODUÇÃO

A aviação surgiu como um meio de revolução dos transportes, visando aperfeiçoar a mobilidade de pessoas entre diferentes localidades, de maneira rápida e segura, assim como uma forma de promover o desenvolvimento econômico através do turismo e transporte de cargas (SILVA; PARRA, 2008).

Em 2021, de acordo com a Agência Nacional De Aviação Civil – ANAC (CNN BRASIL, 2022), aproximadamente 67 milhões de pessoas foram transportadas em rotas nacionais e internacionais, onde voos nacionais representam 62,5 milhões do total. Esse grande fluxo de pessoas, entre diferentes regiões, necessita de motores cada vez mais eficientes, nos quais sejam viáveis economicamente e os custos de operação sejam mais acessíveis para as empresas.

Portanto, essa movimentação de aeronaves, sejam elas comerciais ou privadas, contribui com o aumento da poluição atmosférica, visto que os motores à combustão liberam gases que afetam diretamente o aquecimento global, como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes ambientais que também contribuem para o efeito estufa (GIOVANI, 2020).

Diante do atual cenário, relacionado ao agravamento ambiental e a eficiência das aeronaves, novos estudos foram realizados com o objetivo desenvolver sistemas com tecnologias biosustentáveis. Dessa forma, os motores elétricos ganharam mais espaço no mercado por serem considerados uma das soluções para esses problemas, pois são mais eficientes em relação aos demais motores, possuem um baixo custo de operação e maior vida útil, o que representa um aumento de eficiência energética em 80% (ALVARENGA, 2020).

Por outro lado, existem dois dilemas da indústria aeronáutica quanto à autonomia das baterias e ao descarte sustentável das mesmas. O primeiro é que as baterias usuais não conseguem fornecer por volta de 3000 ciclos até atingir 80% da sua vida útil, o que onera grandes gastos para substituição dessas baterias e manutenção da vida útil do motor da aeronave (LIMA; HENKES;GIORDANI, 2021).

Já o segundo dilema está relacionado ao descarte racional das baterias em desuso. Estes materiais possuem componentes como o cádmio, chumbo e outros metais pesados, que quando mal armazenados podem causar danos ao meio ambiente e ao homem. Adicionalmente, estudos demonstram o potencial tóxico de baterias mal armazenadas, podendo levar ao vazamento do lixo tóxico não biodegradável e não decomponível, causando contaminação do solo, lençóis freáticos e rios/lagos (RIBEIRO; SANTOS; CHAGAS, 2022).

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo geral analisar os fatores difíceis na substituição dos motores à combustão interna pelos elétricos. Como objetivos específicos estudar os fatores físico-mecânicos de ambos os motores, explanar o Estado da Arte na implementação dos motores elétricos em aeronaves e analisar os fatores limitantes desta pesquisa.

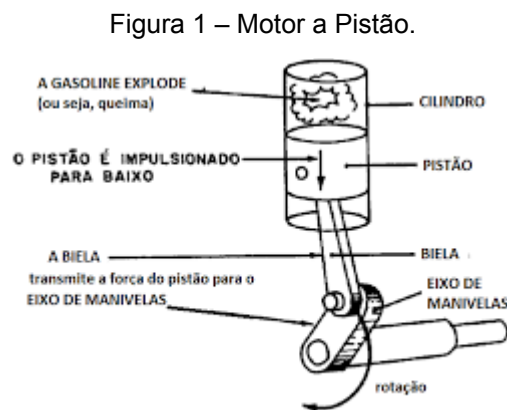
RELATO DE CASO

Atualmente, a Aviação Civil possui classificações de motores presentes nas aeronaves. Diante disso, os mais comuns podem ser divididos em motor a pistão, motor turbojato, motor turbofan, motor turboélice e, a classe mais nova, sendo constituída pelos motores elétricos. Antes de tudo, é importante explanar cada um dos tipos de motores utilizados, para que seja possível analisar as comparações de equivalência entre esses dois princípios (combustão/reação e o elétrico). A seguir, destaca-se o conceito de cada motor e sua estrutura.

Motor a Pistão

Este tipo de motor funciona a partir da conversão de energia química, resultante da queima do combustível, em energia cinética (mecânica). Durante as quatro fases (admissão, compressão, expansão e escapamento) o pistão transmite

essa energia para a biela que, por sua vez, traciona o eixo que acopla a hélice (HOMA, 2013). Conforme representado na Figura 1, é possível identificar as partes que compõem este motor e, a seguir, um breve passo a passo de funcionamento.



Fonte: HOMA, 2013.

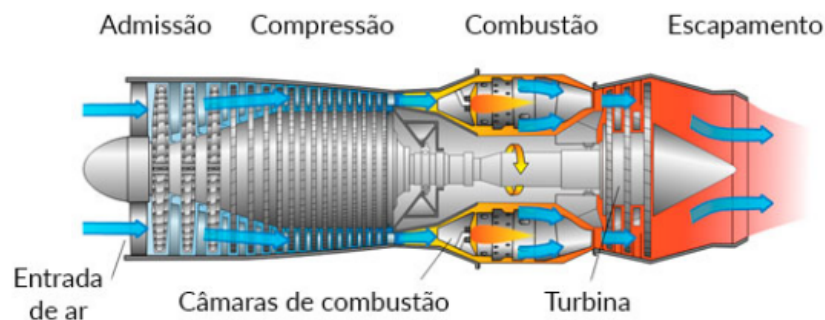
Na imagem proposta, observa-se a terceira fase do motor, conhecida como expansão, na qual a energia gerada é transmitida para a biela, que rotaciona o eixo de manivelas e, conseqüentemente, faz a hélice girar.

Motor Turbojato

O motor turbojato, representado na figura 2 a seguir, funciona a partir do fluxo de ar que passa pelo compressor axial, que por sua vez permite que esse fluxo seja orientado paralelamente ao motor. Ao passar pelo compressor, o fluxo de ar é comprimido, aumentando a sua pressão e sendo direcionado à câmara de combustão. Nesse momento, ocorre a queima dos gases a alta temperatura, acelerando a turbina, na qual é ligada ao eixo do compressor inicial. Pelo fato do

fluxo de ar ser orientado paralelamente ao motor e por ter mais pontos de contato com o compressor axial, o empuxo gerado é maior, elevando a sua eficiência (VIANA; BONELLI; MAIA, 2022).

Figura 2 – Motor Turbojato.



Fonte: Carvalho, 2018.

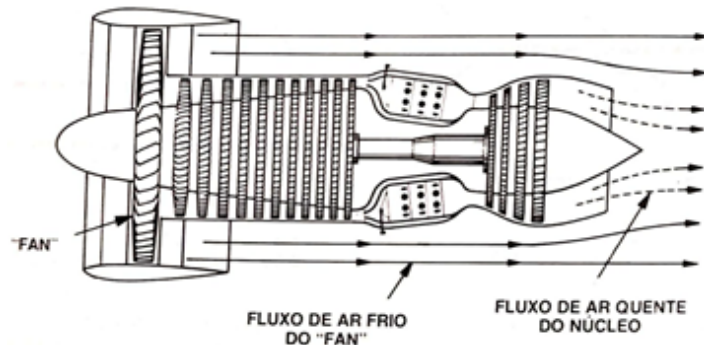
No esquema anterior, é possível identificar, de semelhante modo ao motor a pistão, as quatro fases do ciclo. No início, ocorre a admissão do ar pelo compressor. Em seguida ocorre a compressão, elevando a pressão. Após a mistura do ar comprimido com o combustível, ocorre a combustão, rotacionando a turbina. Por fim, ocorre a exaustão, com a saída dos gases aquecidos pelo processo.

Motor Turbofan

É constituído por um sistema denominado Turbojato, que atua juntamente com o movimento das Fan Blades (pás) que, por sua vez, desempenham um papel equivalente ao da hélice. Esse sistema cria um fluxo de ar a baixa temperatura, onde o mesmo é misturado com outros gases aquecidos internamente. De maneira geral, o seu funcionamento está associado à 3ª Lei de Newton, conhecida como “Ação e Reação”, onde a queima dos gases promove um impulso de sentido contrário a entrada de ar pelas “Fans”, gerando empuxo para tracionar a aeronave (Giovane, 2021).

São motores amplamente utilizados em aviões comerciais no transporte de pessoas/produtos, uma vez que são econômicos, geram menos ruídos e proporcionam maior tração. Na figura 3 a seguir, há a representação deste motor, de forma simplificada e objetiva.

Figura 3 – Motor Turbojato.



Fonte: HOMA, 2013.

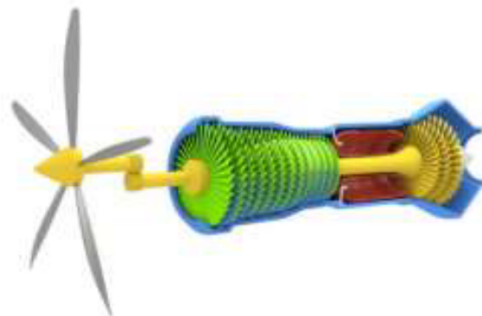
Na figura anterior, observa-se o procedimento descrito, no qual as setas indicam o fluxo de ar que percorre o interior do motor, distinguindo a parte quente que passa pela câmara de combustão da parte fria que passa por fora.

Motor Turboélice

Neste caso, o sistema é dividido em duas partes, sendo o motor principal, similar a um turbojato, e a hélice, a qual gerará tração para movimentar a aeronave. Porém, ao invés de liberar todos os gases quentes pela parte traseira do motor, na qual gera a propulsão, como é o caso do turbojato, esse fluxo de ar é utilizado para girar a turbina. Por sua vez, a turbina está acoplada ao eixo que transmite a potência para a caixa de engrenagens e que, conseqüentemente, gira a hélice (HALL, 2017).

Na figura 4, nota-se a presença dos componentes comuns ao turbojato, como o compressor e a turbina, por exemplo.

Figura 4 – Motor Turboélice.



Fonte: VINHOLES, 2016.

Em verde, destaca-se o compressor, que aumenta a pressão do fluxo de ar e encaminha para a câmara de combustão, em vermelho. Após isso, verifica-se a turbina, destacada em amarelo.

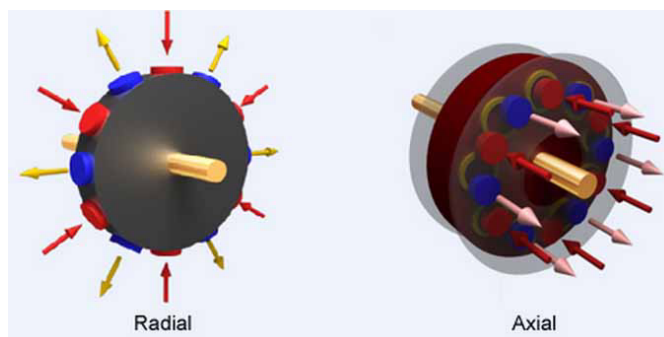
Motor Elétrico

Este, por sua vez, trata-se de um dispositivo que converte a energia elétrica, recebida através de uma bateria ou rede de distribuição, em energia mecânica do tipo cinética (Azevedo, s.d.). É constituído por uma Carcaça que protege os componentes internos e dissipa o calor gerado no seu funcionamento; o Estator que, como o próprio nome sugere, é a parte estática do motor e tem a função criar o fluxo magnético (Imãs) que irá atuar junto com as partes girantes; o Rotor, que é a parte girante do motor e recebe as interações eletromagnéticas que serão transformadas em movimento - Energia mecânica (Abecom, 2022).

Atualmente, os motores elétricos mais utilizados são os de fluxo radial, onde o campo magnético é circundado em todo o estator e apontado, como o próprio nome sugere, para o raio do rotor. Por outro lado, uma nova geração vem ganhando o mercado, sendo caracterizados, ao contrário do anterior, como motores de fluxo axial.

Nesse caso, conforme sugerido na figura 5 a seguir, o campo eletromagnético é gerado paralelamente ao rotor, atuando no mesmo sentido do eixo, não mais ao redor dele, como no de fluxo radial (GASPAR, 2021).

Figura 5 – Fluxo radial vs Fluxo Axial.



Fonte: RUFFO, 2018.

Quando se fala em eletrificação dos propulsores aeronáuticos, a frase de ordem é “motores de fluxo axial”. As empresas estão cada vez mais esperançosas

com o uso desse motor, pois são mais leves (cerca de 5 vezes mais, em relação aos de fluxo radial), possuem eficiência energética superior a 80%, são mais compactos e potentes (Magnix, 2020).

Aeronaves que utilizam motores elétricos

Acreditando nesse sistema, a empresa Magnix, sediada em Washington (EUA), desenvolveu dois protótipos de aviões transformados para propulsão elétrica. Entre eles, destaca-se o “Cessna 208 Grand 13 Caravan”, representado na figura 6 a seguir, que é um avião comercial desenvolvido, originalmente, por um motor turboélice de 750 HP (Pratt & Whitney), movido à querosene de aviação, que recebeu um motor Magni 500 (fluxo axial) de potência equivalente (Aero por Trás da Aviação, 2020).

Figura 6 - Cessna 208 Grand Caravan elétrico.



Fonte: Magnix, 2020.

O outro protótipo foi implementado no hidroavião “De Havilland Canada – 2 Beaver” que, de fábrica, conta com um motor à pistão, do tipo radial de oito cilindros, e também recebeu o Magni 500 de mesma potência. A autonomia dos dois aviões é de 160 km, o que equivale a cerca de 30 minutos de voo (Aero Por Trás da Aviação, 2020). A seguir, na figura 7 há a representação deste protótipo da classe anfíbio, ou seja, o qual detém de flutuadores para pousar e decolar em superfícies aquáticas.

Figura 7 - De Havilland Canada elétrico.



Fonte: Magnix, 2020.

Por outro lado, tratando-se de protótipos desenvolvidos no Brasil, destaca-se o avião “Sora-e”, que foi o primeiro elétrico a voar na América Latina. O mesmo conta com dois motores Emrax, também de fluxo axial, com 35 KW cada. De acordo com a ACS Aviation (2015), empresa responsável pelo projeto, a autonomia de voo é cerca de 90 minutos a 190 Km/h. O seu primeiro voo foi em 23 de junho de 2015, como registrado na figura 8 a seguir.

Figura 8 – Sora-e.



Fonte: ACS Aviation, 2015.

Na imagem, o Sora-e momentos antes de realizar a primeira decolagem, com propulsão totalmente elétrica. Por ter sido a primeira aeronave, na América do Sul, a voar, o protótipo tornou-se um marco para a aviação.

Descarte das baterias

Além da questão a respeito da autonomia das baterias, existe outro dilema em relação ao descarte sustentável das células de baterias em desuso. Esse descarte é por conta de um mau funcionamento ou pelo fato de terem alcançado o final da sua vida útil. Uma vez descartadas em locais inapropriados, pode ocorrer a liberação do material contaminante, que não é biodegradável, contaminando o solo, os cursos d'água e os lençóis freáticos, afetando a flora e a fauna da região e, mais tarde, o ser humano através da cadeia alimentar (RODRIGUES; SANTANA; ALDIB; RIBEIRO, 2015).

METODOLOGIA

Natureza e tipo da pesquisa

Esta pesquisa possui um âmbito de análise exploratória. Segundo Gil (2019), as pesquisas exploratórias têm, como principal finalidade, desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses a serem testadas em estudos posteriores. Sendo assim, por se tratar de uma análise real, com o objetivo de desenvolver melhorias ao departamento aeronáutico e por se basear em referências bibliográficas existentes, essa pesquisa possui viés qualitativo.

Na figura 9, é possível verificar um fluxograma que demonstra as etapas do trabalho e, em seguida, é realizada uma análise sobre estes tópicos.

Figura 9 - Etapas do Trabalho.



Fonte: Elaboração do autor.

As análises foram desenvolvidas a partir de sites confiáveis, bibliografias existentes, artigos publicados e revistas, nos quais foram utilizadas palavras chaves associadas ao tema, como “físicos”, “mecânicos”, “difícil”, “melhorias”, “avanços”, “motor elétrico” e “aviões elétricos”. Após isso, foi realizado um filtro dos dados obtidos, a fim de obter as informações mais importantes do tema vigente.

Fatores físico-mecânicos

Para o estudo dos fatores físico-mecânicos, foi necessário realizar buscas em diferentes bancos de dados confiáveis, como o Google Acadêmico, SciELO, livros, manuais dos fabricantes, assim como em trabalhos realizados para o desenvolvimento de tal estudo.

Tratando-se dos artigos pesquisados, o foco principal foi em relação aos publicados nos últimos anos, aprimorando os conhecimentos específicos dessa evolução até os dias atuais. Para a identificação desses fatores nos diversos artigos encontrados, as buscas foram realizadas nos resumos, através de palavras chaves, como Aviões, Motores Elétricos Aeronáuticos, Tecnologias na Aviação, Propulsores aeronáuticos, Tipos de Motores dos aviões etc. Após identificar as informações

necessárias, foi feito um estudo em relação à autonomia de voo, potência gerada e dimensões de ambos os motores, conforme a figura 10 a seguir.

Figura 10 – Fatores Físico-mecânicos.

| FATORES FÍSICO-MECÂNICOS | | | |
|--------------------------|------------------|--------------|-----------------------------------------|
| MOTORIZAÇÃO | AUTONOMIA | POTÊNCIA | DIMENSÕES |
| Pistão (Rotax 912 is) | 03 horas ou mais | 100 - 300 cv | Comprimento: 83,3 cm Altura: 35,2 cm |
| Elétrica (Magni 500) | 1h a 1h30 | 560 KW | Comprimento: 72,9 cm Altura: 65,2 cm |

Fonte: Elaboração do autor.

Estado da arte

De semelhante modo, para o desenvolvimento desta análise, foram pesquisados artigos publicados nos últimos 5 anos, os quais realizam abordagens referentes à aplicação dos motores elétricos em aeronaves privadas e comerciais. Para a realização deste feito, buscaram-se identificar os principais tópicos relacionados aos investimentos no âmbito privado e público, as dificuldades associadas ao processo de substituição dos motores e os fatores que ainda limitam a sua total aplicação. Com isso, destacou-se os vieses positivos e negativos na implementação dos motores elétricos.

Fatores limitantes da pesquisa

Dentre os fatores difíceis associados a esta pesquisa, pode-se elencar a falta de artigos, pesquisas, livros e sites que retratem a questão do descarte das baterias de aviões em desuso, apresentando maneiras sustentáveis de realizar este feito. Foram encontradas apenas informações a respeito de baterias comuns. De modo semelhante, notou-se uma dificuldade na procura por informações técnicas do motor elétrico Magni 500, uma vez que é um tema específico e um propulsor atual.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a utilização dos descritores de busca “motores elétricos aeronáuticos”, “aviões elétricos” e “baterias de aviões”, foram observados a presença de 2820 artigos no período de 2013 a 2023. Destes, foi realizado uma análise dos materiais, o que resultou na escolha de 06 artigos. Sendo assim, foi feito um estudo em cada um dos escolhidos, verificando os principais pontos de vista dos autores a respeito da utilização dos motores elétricos em aviões.

Diante disso, foram escolhidos os seguintes artigos: (LIMA; HENKES; GIORDANI, 2022), (VIANA; BONELLI; MAIA, 2022), (KLITZKE, 2021), (SOUZA, 2018), (MARTINS, 2021), (ZANONI, 2018) e (OLIVEIRA, 2022).

Lima, Henkes e Giordani iniciam o artigo trazendo o contexto histórico de criação do primeiro aeroclube brasileiro e escola de instrução de voo, no qual teve influência direta de Santos Dumont. Com a criação da ANAC em 2005, a frota de aviões do Aeroclube aumentou, assim como o número de alunos. Os autores trazem a preocupação existente da escola com os custos de operação de voo e aumento da emissão de gases poluentes, colocando o avião elétrico como alternativa sustentável. Relatam sobre a vida útil das baterias do avião, demonstrando uma estimativa de 3000 ciclos de funcionamento, assim como o valor de R\$ 62.550,00 quando precisarem ser trocadas. Finaliza as abordagens com uma redução de 40% no valor das horas de voo com a utilização do avião elétrico.

Viana, Bonelli e Maia iniciam o seu artigo contextualizando sobre os principais tipos de motores aeronáuticos a combustão existentes. Em seguida, aborda a questão do motor elétrico, destacando que o mesmo teve sua primeira utilização em 1883, sendo utilizado em um dirigível elétrico. Traz o contexto histórico da criação da bateria de níquel cádmio por Fred Militky, a qual forneceu uma autonomia de 15 minutos para o avião elétrico da época. Em seguida, faz uma análise sobre a relação entre peso e autonomia, tratando de uma forma inversamente proporcional, das baterias existentes. Por fim, relatam sobre os pontos positivos dos aviões elétricos e o comparativo com os motores a combustão, no quesito impacto ambiental.

O autor Klitzke, por sua vez, traz à tona a questão de importação do combustível aeronáutico, uma vez que o Brasil deixou de produzir desde 2018. Dessa forma, apresenta as dificuldades na importação deste combustível, assim

como o aumento do preço. Em contrapartida, ressalta a importância da utilização de aeronaves elétricas, as quais reduziriam muito os custos de operação e manutenção. Além disso, informa que a eletrificação de aeronaves não é recente, tendo início em 1973. Por fim, faz uma comparação entre os motores elétricos e a combustão, apresentando as vantagens e desvantagens, assim como uma relação, conforme a figura 11 a seguir.

Figura 11 – Relação de consumo entre os motores.

| TIPOS DE MOTORES | | |
|----------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| MOTORES | ELÉTRICO | COMBUSTÃO |
| DENSIDADE DE ENERGIA | 120 Wh/Kg (Watts-hora por quilograma) | 12.000 Wh/Kg (Watts-hora por quilograma) |
| RESULTADO | 1 Kg de combustível equivale a 25 a 30 Kg de baterias. | |

Fonte: Elaboração do autor.

SOUZA inicia o artigo apresentando as vantagens na utilização do motor elétrico e relata a questão a sua proporção econômica e sustentável. Em um segundo momento, retrata o funcionamento de um motor à combustão e a forma pela qual a energia é transformada durante a movimentação das suas partes. Em seguida, apresenta a simplicidade de um motor elétrico e os vieses positivos da sua utilização, como a não emissão de gases poluentes, a redução de ruídos e a pequena quantidade de partes que o compõe. Por outro lado, destaca os pontos negativos da sua utilização, que estão associados a baixa densidade de carga (autonomia) e o peso das baterias. O autor traz uma breve comparação hipotética entre o consumo e o custo de operação entre ambos os motores, conforme a figura 12 a seguir.

Figura 12 – Comparativo entre os motores.

| COMPARATIVO ENTRE OS MOTORES | | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| TIPO DE MOTOR | HORAS DE VOO P/ DIA | CONSUMO P/ HORA | CUSTO P/ HORA | RELAÇÃO ENTRE OS CUSTOS |
| COMBUSTÃO | 8 horas | 30 litros | R\$ 220,50 | 220,50/14,28 = 15,44 |
| ELÉTRICO | 8 horas | 17 kWh | R\$ 14,28 | |
| CONCLUSÃO | Cerca de 15,44 vezes maior | | | |

Fonte: Elaboração do autor.

Nota-se, na figura 12, a grande diferença proposta pelo autor em seu artigo, no qual tem o objetivo de esclarecer os pontos positivos e negativos de ambos os motores.

Martins, em seu artigo, inicia apresentando um ponto de vista preocupante em relação à emissão de gases poluentes dos motores à combustão e coloca, como os demais autores, o motor elétrico como alternativa sustentável para solucionar esse problema. Em seguida, assim como Klitzke, faz um apanhado histórico sobre as primeiras ideias de um avião elétrico. Em segundo plano, faz um resumo sobre os tipos de motores à combustão e o seu respectivo funcionamento. Explica sobre a constituição do motor elétrico e o seu funcionamento, e faz um comparativo das características do motores. Por fim, faz um apanhado sobre as aeronaves que já possuem uma motorização elétrica, destacando as características de cada um, como desempenho, autonomia e velocidade.

Oliveira inicia o artigo relatando o aumento dos voos pelo mundo e uma perspectiva para dobrar até 2033. Relata a importância do uso dos motores elétricos em aeronaves menores, denominadas experimentais. Em seguida, apresenta a necessidade sustentável do uso dos motores elétricos, devido a não emissão de gases poluentes, redução de ruídos e diminuição dos custos operacionais. O autor também trata das aeronaves leves esportivas (LSA), como oportunidades financeiras, assim como o projeto de eletrificação desses aviões. Em seguida, realiza uma comparação de eficiência dos dois tipos de motores, conforme a figura 13.

Figura 13 – Eficiência dos motores.

| EFICIÊNCIA DOS MOTORES | |
|------------------------|---------------|
| COMBUSTÃO | 20% a 30% |
| ELÉTRICO | 80% em diante |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por fim, apresenta os principais pontos negativos dos motores elétricos, nos quais estão associados à autonomia das baterias e ao seu peso.

Finalizando os resultados obtidos em meio às análises feitas nos artigos escolhidos, notou-se um ponto de vista comum e positivo entre os autores, no qual perpassa pela utilização dos motores elétricos em aviões.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal desta pesquisa foi abordar os fatores dificultosos da substituição dos motores à combustão pelos elétricos, apresentando as causas e as projeções para o futuro. Nos objetivos específicos, foram debatidas algumas informações do funcionamento e especificações dos motores, assim como os fatores que limitaram esta pesquisa, como por exemplo a falta de informações sobre o descarte das baterias. Para a coleta de dados, utilizou-se descritores de buscas, encontrando um total de 2820 artigos com temas semelhantes. Desses, apenas seis foram escolhidos para a defesa dos objetivos desta pesquisa. Por fim, conclui-se que os objetivos, tanto o geral como os específicos, foram alcançados.

REFERÊNCIAS

- ABECOM. **Você conhece quais os principais tipos de motores elétricos?** Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/tipos-de-motor-eletrico/#:~:text=Principais%20componentes%20de%20um%20motor,o%20estator%20e%20o%20rotor>>. Acesso em: 11 de Junho de 2022.
- ACS AVIATION. **Produtos**. Disponível em: <<https://www.acs-solutions.com.br/index.php/produtos>>. Acesso em: 18 de Junho de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: **Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos — Apresentação**. Rio de Janeiro, p.5. 2011.
- AZEVEDO, Pedro. **Motores elétricos**. Página pessoal, disponível em: <<http://web.tecnico.ulisboa.pt/~ist425696/wordpress/ciencia-e-tecnologia/motores-eletricos/#:~:text=Um%20motor%20el%C3%A9trico%20%C3%A9%20um,energia%20el%C3%A9trica%20em%20energia%20mec%C3%A2nica>>. Acesso em: 11 de Junho de 2022.
- CARVALHO, Kimberlly Costa. **SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO NA SEÇÃO DE EXAUSTÃO DO MOTOR PT6A-34**. Monografia. 67p. Uberlândia. UFU, 2018.
- FERREIRA, Evandro. **Geradores e Motores Elétricos de Avião**. Florianópolis: AeroTD, 2015.
- GIL, Antonio. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas S.A, 2022.
- GIL, Antonio. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 7 ed. São Paulo: Atlas S.A, 2019.
- HALL, Nancy. Turboprop Engine. 05 maio 2015. Disponível em: <<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/aturbp.html>>. Acesso em: 27 fev. 2023.
- HOMA, Jorge. **AERONAVES E MOTORES**. São Paulo: ASA, 2013.
- ISIKVEREN, Askin; PORNET, Clément; KAISER, Sascha; VRATNY, Patrick. **Pre-design Strategies and Sizing Techniques for Dual-Energy Aircraft**. Pesquisa Científica. 36p. 2014.
- KLITZKE, Itacir. **USO DE MOTORES ELÉTRICOS NA AVIAÇÃO DE PEQUENO PORTE EM SUBSTITUIÇÃO AOS ATUAIS MOTORES A COMBUSTÃO**. Monografia. 31p. Palhoça. UNISUL, 2021.
- LIMA, Juan Moreira; HENKES, Jairo Afonso; GIORDANI, Lucas Elya Piana. **ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DE AVIÕES A PROPULSÃO ELÉTRICA NA FORMAÇÃO DE PILOTOS, E SEUS POSSÍVEIS IMPACTOS**. Revista Científica. 25p. Florianópolis. 2022.
- MARTINS, Giovane. **A VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS EM AVIÕES COMERCIAIS**. Monografia (Bacharel: Ensino Superior). 29p. Palhoça. UNISUL, 2021.
- MOREIRA, Jerdison Lima. **PROJETO DE UMA AERONAVE HÍBRIDA DE QUATRO ROTORES E ASA INCLINÁVEL**. Monografia. 48p. Mossoró. UFERSA, 2018.
- NASCIMENTO, Elizabeth. **Perspectivas para a utilização de motores elétricos-híbridos na aviação comercial brasileira**. Artigo (Graduação em Ciências Aeronáuticas). 23p. Goiânia. UCG, 2022.
- OLIVEIRA, Henrique. **Propulsão Elétrica em Aeronaves Experimentais: uma perspectiva para o mercado aeronáutico brasileiro**. Dissertação. 30p. Palhoça. Santa Catarina, 2022.
- O maior avião elétrico fez o seu primeiro voo**. Fernando de Borthole. Aero Por Trás da Aviação. YouTube. 2020. 13 min. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=9zEU KG70X20&t=450s>>

Acesso em: 18 de junho de 2022.

OLIVEIRA, Maxwell. **METODOLOGIA CIENTÍFICA: um manual para a realização de pesquisas em administração**. Dissertação (Pós-graduação em educação: Ensino Superior). 73p. Catalão. UFG, 2011.

OLIVEIRA, Rafael; AFONSO, Jairo. **UMA ANÁLISE SOBRE A POSSIBILIDADE DE USO DOS MOTORES ELÉTRICOS EM AERONAVES COMERCIAIS**. Artigo (Bacharelado em Ciências Aeronáuticas). 29p. Florianópolis. UNISUL, 2020.

REIS, Vanderlei dos. **Teoria e Construção de Motores de Aeronaves**. Florianópolis: Aero TD, s.d.

RIBEIRO, João Gabriel Rodrigues; SANTOS, Matheus Felipe dos; CHAGAS, Nicolas Silva. **O IMPACTO CAUSADO AO MEIO AMBIENTE PELO DESCARTE INCORRETO DE PILHAS E BATERIAS**. Dissertação. 12p. Pouso Alegre. UNA, s.d.

RODRIGUES, Fernanda; SANTANA, Gabriela; ALDIB, Rochin; RIBEIRO NETO, Luciene. **OS RISCOS PARA A SAÚDE HUMANA ORIUNDO DO DESCARTE INADEQUADO DE PILHAS, BATERIAS E LÂMPADAS**. Simpósio de Ciências Farmacêuticas. 3p. São Paulo. CUSC, 2015.

SILVA, Odair Vieira da; PARRA, Cecília de Souza. **A IMPORTÂNCIA DO TRANSPORTE AÉREO PARA O TURISMO E A ECONOMIA MUNDIAL**. Revista Científica. 5p. São Paulo. FAEF, 2008.

SOUZA, Teófilo Miguel de. **INSERÇÃO DE AERONAVES A PROPULSÃO ELÉTRICA EM ESCOLAS DE AVIAÇÃO E AERoclUBES DO BRASIL**. Monografia. 92p. Palhoça. UNISUL, 2018.

VIANA, Igor Ferreira; BONOLLI, Igor Perry Brandão; MAIA, Pedro Henrique Silva. **EVOLUÇÃO DOS MOTORES AERONÁUTICOS VISANDO A ECONOMIA E SUSTENTABILIDADE**. Dissertação. 35 p. São Paulo. UAM, 2022.

VINHOLES, Thiago. **Como funciona o motor turbo-hélice?** AIRWAY, disponível em: < <https://www.airway.com.br/como-funciona-o-motor-turbo-helice/>>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2023.

ZAGO, Igor Paganotto; CROCE, José Antônio Garcia. **Estudo sobre propulsão elétrica na aviação**. Monografia. 95p. São Carlos. Instituto Federal, 2016.

ZANONI, Marcos Pavão. **O uso de motores elétricos na aviação comercial para a redução da emissão de poluentes na atmosfera**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). 36p. Palhoça. UNISUL, 2018.