

## ANÁLISE DE MOTORES DA AVIAÇÃO DE PEQUENO E MÉDIO PORTE E A SUA INFLUÊNCIA NA SEGURANÇA DE VOO

Miguel Artur Aresi da Silva<sup>1</sup>

Anna Paula Bechepeche<sup>2</sup>

### RESUMO

A evolução dos motores aeronáuticos, desde os primeiros motores a pistão até os motores a reação, representa um progresso significativo na aviação civil. Paralelamente, o desenvolvimento da sociedade e do mercado aeronáutico elevou as exigências dos consumidores, que priorizam motores eficientes, seguros e sustentáveis. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar as diferenças e benefícios do uso de motores da aviação de pequeno e médio porte, a atuação de cada um na segurança do meio aéreo, de acordo com parâmetros regulamentares para a certificação ETOPS, gráficos de ocorrências do CENIPA, horas voadas e reserva de marcas fornecidas pela ANAC; e apresentar uma projeção de entrada de novas aeronaves e tendência de mercado, no que tange à propulsão das aeronaves nos próximos anos. Quanto à metodologia, são utilizados os procedimentos de estudo bibliográfico e documental em pesquisa qualitativa para identificar os índices citados em sites especializados. Quanto ao método quantitativo, serão apresentadas informações acerca das ocorrências aeronáuticas e horas voadas no Brasil, a fim de esclarecer noções estatísticas da sua segurança, bem como a tendência de mercado, por meio da projeção analítica, com base nas reservas de marcas, àquelas aeronaves que ainda serão licenciadas no registro aeronáutico brasileiro. Os resultados indicam simplicidade e custos de operação mais acessíveis ao pistão, com destaque para o seu conjunto de benefícios em longo prazo, de forma significativa; e que o turboélice requer maior tecnologia envolvida, complexidade e segurança.

**Palavras-chave:** Motores aeronáuticos; Pistão; Turboélice; Segurança de voo.

<sup>1</sup> Graduando em Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO). Piloto Privado de Avião. E-mail: [miguel.aresi@hotmail.com](mailto:miguel.aresi@hotmail.com)

<sup>2</sup> Graduada em física pela Universidade Federal de Goiás (1988), mestre em física pela Universidade de São Paulo (1991), doutora em química pela Universidade Federal de São Carlos (1996). Professora efetiva na Pontifícia Universidade Católica de Goiás e na Universidade Estadual de Goiás. Possui experiência na área de física, com ênfase em física da matéria condensada. E-mail: [abechepeche@yahoo.com.br](mailto:abechepeche@yahoo.com.br)

## **ANALYSIS OF SMALL AND MEDIUM SIZE AVIATION ENGINES AND THEIR INFLUENCE ON FLIGHT SAFETY**

### **ABSTRACT**

*The evolution of aeronautical engines, from the first piston engines to modern and complex jet engines, represents significant progress in civil aviation. At the same time, the development of society and the aeronautical market has raised the demands of consumers, who prioritize efficient, safe, and sustainable engines. Thus, the objective of this work is to analyze the differences and benefits of the use of small and medium-sized aviation engines, the performance of each one in the safety of the air environment, according to regulatory parameters for ETOPS certification, CENIPA occurrence charts, hours flown and the Aircraft Registration Applications provided by ANAC; and to present a projection of the entry of new aircraft and market trends, with regard to aircraft propulsion in the coming years. As for the methodology, the procedures of bibliographic and documentary study in qualitative and quantitative research are used to identify the indexes cited in specialized websites. As for the quantitative method, information will be presented about aeronautical occurrences and hours flown in Brazil, in order to clarify statistical notions of its safety, as well as the market trend, through analytical projection, based on the aircraft register applications, that will still be licensed in the Brazilian aeronautical registry. The results indicate simplicity and operating costs that are more accessible to the piston, highlighting its set of benefits in the long term, in a significant way; and that the turboprop requires greater technology involved, complexity, and safety.*

**Keywords:** Aeronautical engines; Piston; Turboprop; Flight safety.

### **1 INTRODUÇÃO**

Os motores aeronáuticos representam uma das áreas mais significativas de progresso tecnológico da aviação civil. Desde seu surgimento, quando os motores a pistão dominavam o cenário, até os dias atuais, com o expressivo aumento dos

motores a jato. Paralelamente, o desenvolvimento da sociedade e do mercado aeronáutico resultou em mudanças nas exigências dos consumidores, que passaram a preferir motores eficientes, seguros e mais sustentáveis, em vez de apenas potentes (Sá Neto, 2020).

Cabe ressaltar que a busca por aviões de energia limpa precisa ser alcançada, para a redução drástica das emissões de carbono advindas em grande parte pelos combustíveis fósseis utilizados nesse meio. Entretanto, deve-se considerar o tempo significativo necessário para a evolução dos estudos, a certificação dentro dos elevados padrões de segurança exigidos na atualidade e, principalmente, a produção em massa dos aeródinos de zero emissão (Pereira; Silva, 2023).

Dessa maneira, a escolha do tema deste estudo se justifica, ao estimular, de forma imediata, o uso de motores mais eficientes, reconhecidos por sua segurança de voo e que causam menos danos ao meio ambiente.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar as diferenças e benefícios do uso de motores da aviação de pequeno e médio porte, a atuação de cada um na segurança do meio aéreo, de acordo com parâmetros regulamentares para a certificação ETOPS, gráficos de ocorrências do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes (CENIPA), horas voadas e reserva de marcas fornecidas pela Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC).

Diante disso, os objetivos específicos são descritos a seguir.

- Identificar a evolução histórica dos motores da aviação de pequeno e médio porte.
- Entender as diferenças do uso de motores da aviação de pequeno e médio porte, de acordo com a sua regulamentação.
- Entender a aplicabilidade e requisitos de certificação ETOPS;
- Identificar índices de ocorrências por horas voadas e projeções de segurança de voo atuais e futuros.
- Apresentar uma projeção de entrada de novas aeronaves e tendência de mercado, no que tange à propulsão das aeronaves nos próximos anos.

Quanto à metodologia, serão utilizados os procedimentos de estudo bibliográfico e documental e pesquisa qualiquantitativa para identificar os índices citados em sites especializados.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

Ao longo da história da aviação, diversos motores foram desenvolvidos em duas linhas. A primeira, o pistão, como o Ciclo Otto convencional e o Ciclo de Wankel. Já a segunda foi desenvolvida posteriormente, e caracteriza-se pelos motores termoquímicos ou à reação, como: termojato; turbojato; turboélice; turbofan; estatorreator; propfan; pulsojato; scramjet; entre outros (El-Sayed, 2017).

### 2.1 PRIMÓRDIOS: MOTORES A PISTÃO

Em meados de 1900, embora os estudos de aerodinâmica fossem muito vagos, o ser humano já estava próximo do Norte, em relação ao grupo motopropulsor a ser utilizado para a aviação experimental da época, uma vez que os motores eram estudados por séculos (Freitas, 2020).

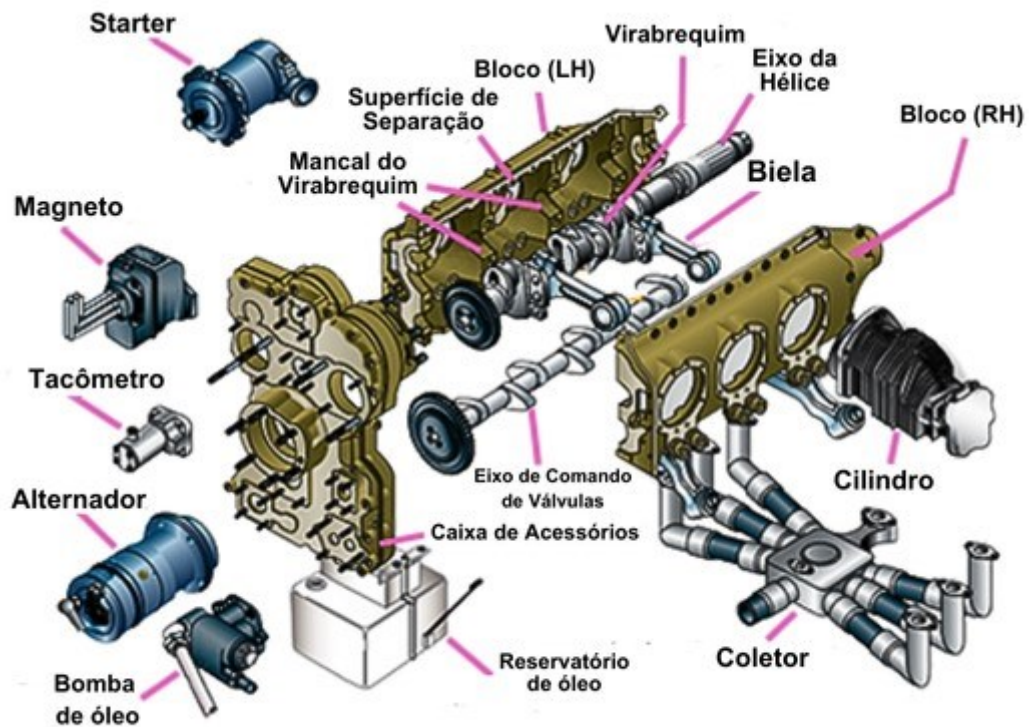
A exemplo, há o aeroplano brasileiro 14 Bis, de Santos Dumont, que utiliza, inicialmente, um motor Antoinette V-8 de quatro tempos (ou Ciclo de Otto), com apenas 24HP (*horse power* ou cavalo-vapor) e incapaz de voar. Após, foi adaptado para outro modelo mais robusto, com seus 50HP, antes utilizados em lanchas de corrida, o que resultou no primeiro voo a ser registrado na história, em 23 de outubro de 1906 (AviTraining, 2021).

Os motores de quatro tempos ou Ciclo de Otto, conforme Figura 1, têm sua operação por meio de cilindros com pistões, que distribuem a energia proporcionada pela combustão interna da gasolina de aviação ao eixo de manivelas ou virabrequim que, no caso de serem distribuídos em formato V, visto no 14 Bis, possuem duas fileiras de cilindros posicionados em 90° uma da outra. Entre os mais conhecidos, existem os motores radiais, posicionados lado a lado com um eixo de manivelas central em uma ou mais fileiras, além dos motores



horizontais de cilindros opostos, utilizados na área até a atualidade (Fayette-Taylor, 1971).

Figura 1 – Esquema de partes do motor a pistão horizontal



REVISTA BRASILEIRA DE AVIAÇÃO CIVIL  
& Ciências Aeronáuticas

Fonte: adaptada de L'avionnaire, 2010.

ISSN 2763-7697

No pós-guerra, aviões como os Blériot XI, de Louis Blériot; e o De Havilland DH-4, de 1915, foram convertidos em aviões de passageiros e carga comercial. Para suprir essa demanda, foram desenvolvidas aeronaves mais robustas, como o popular Ford Trimotor, de Henry Ford, com motores radiais Pratt & Whitney Wasps, de 420 HP, e com pistões dispostos lado a lado em formato de estrela (Eyre, 2019; Fayette-Taylor, 1971).

Após 1930, a aviação teve um desenvolvimento exponencial: a entrada dos multimotores de médio porte e a possibilidade de aeronaves maiores, como o Boeing 247 e o McDonnell Douglas DC-1, que massificaram o uso dos radiais (Wilkinson, 2023).

## 2.2. O INÍCIO DA REAÇÃO: TURBOJATO

Com a Segunda Guerra Mundial, em 1939, foi feito o primeiro voo de uma aeronave movida por propulsão a reação, o caça monomotor turbojato He-178, com o motor HeS 3, da fabricante alemã Heinkel. Em 1941, foi colocado em operação o bimotor também alemão Messerschmitt Me 262, que provou ser, além de possível, muito mais avançado o uso de aeronaves com propulsão de motores de queima contínua, por intermédio dos motores Junkers Jumo 004 Turbojet (El-Sayed, 2016).

Especificamente, esses motores eram turbojato e seu funcionamento ocorria pela compressão e expansão de gases, realizada por um compressor axial (centrífugo). Este recebe o ar vindo do bocal de entrada, comprime-o por meio de pás e envia para a câmara de combustão (combustor). Nela, ocorre a queima da mistura ar-combustível e é expelida para a turbina na área quente. Em seguida, gera torque para o eixo único do compressor, sai pelo bocal de exaustão em alta pressão e velocidade, e, por fim, produz tração, conforme a terceira lei de Newton, da ação e reação (El-Sayed, 2016).

Alguns dos motores utilizados em caças eram equipados com pós-combustor conhecido como *afterburner*, localizado no bocal de exaustão. Esse acessório injeta e queima combustível nos gases de saída para aumentar, significativamente, sua tração – ainda que aumente proporcionalmente seu consumo. Logo, foi observado que, apesar de seu consumo exacerbado, poderia ser útil como um dispositivo de etapa de voo, que permite utilizar somente para decolagem em pistas muito curtas, tal qual um porta-aviões, por exemplo (El-Sayed, 2017).

Novamente, no cenário do pós-guerra, essas tecnologias sofreram adaptações para dar início ao uso civil. Uma prova disso foi a invenção do quadrimotor inglês De Havilland DH-106 ou simplesmente Comet. Este utiliza os motores conhecidos como *Ghost*, e eram muito simples: seu sistema era formado, basicamente, por um compressor axial centrífugo de estágio único, câmaras de combustão e uma turbina axial também de estágio único ligadas por um eixo (BAE Systems, 2023).

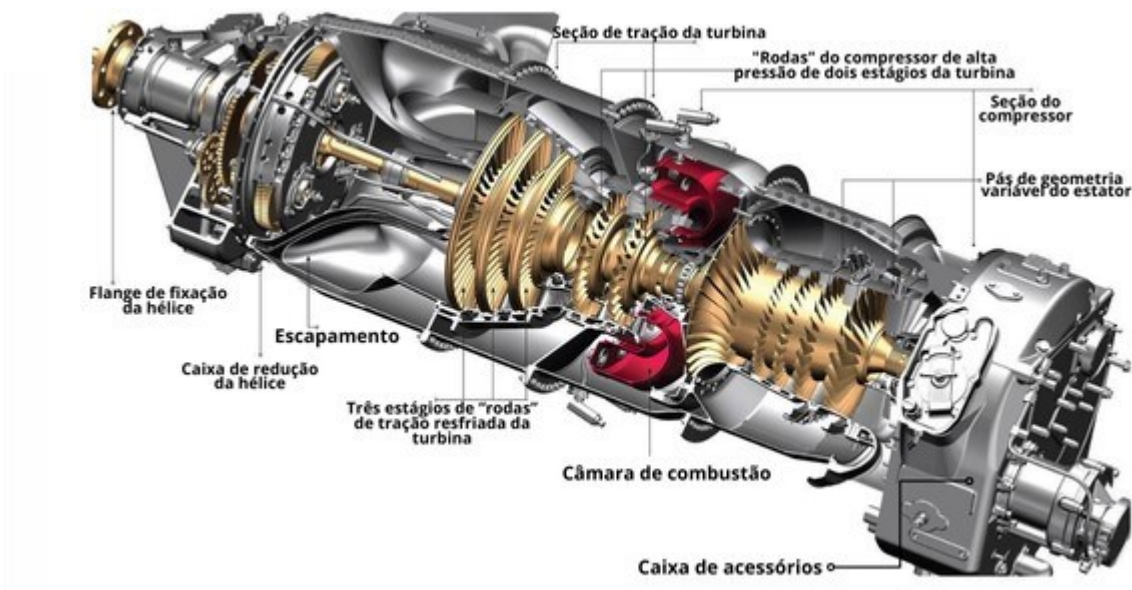
## 2.3 TURBOÉLICES

De acordo com Sweet (2008), somente em 1953, a primeira aeronave turboélice começou a voar comercialmente: o Vickers Viscount VC2, da fabricante inglesa Vickers-Armstrongs. Seu primeiro protótipo contava com motores Rolls-Royce RB.500 series Dart (também utilizados no Avro 748, no Fokker F27, no Gulfstream I, entre outros), e com cerca de 1.250 SHP (ou Shaft Horsepower, trata-se da potência transferida ao eixo da hélice ou turbina), que mantém o princípio do turbojato: um compressor centrífugo de dois estágios. Possui sete câmaras de combustão e uma turbina axial de três estágios, que torna a expansão dos gases mais bem aproveitada para gerar torque ao eixo central, ligado ao compressor e a uma caixa de redução para fornecer menor rotação e mais força à hélice, ou seja, torque elevado.

Iniciado no ano de 1958, o projeto do modelo PT6-A ficou pronto somente em 1960, e seu primeiro voo ocorreu em maio de 1961, embora só tenha operado, efetivamente, após 1964. Sua popularidade ganhou força, logo passou a ser utilizado por diversos fabricantes: Beechcraft, Cessna, De Havilland, Air Tractor, Embraer etc. Além de aviões de pequeno e médio porte, suas variações também passaram a operar em helicópteros, como a Bell; em lanchas; veículos de solo; uso industrial; e outros fins (Araújo, 2023b).

Conforme apresentado na Figura 2, seu funcionamento possui fluxo de ar reverso: a seção quente em vermelho, é localizada na parte frontal; já a fria, em azul, posiciona-se na parte traseira, juntamente com a entrada de ar. Dessa forma, o ar entra pela parte traseira, passa por dois compressores axiais e um centrífugo do primeiro eixo, que rotaciona na casa dos 45 mil RPM (rotações por minuto). Esse ar é comprimido e segue para a câmara de combustão anular, leva os gases após aquecidos à turbina, que eleva a rotação do segundo eixo, próxima dos 30 mil RPM. Em seguida, direciona-se para duas saídas de escapamento laterais. Assim, a energia dos gases é convertida em energia mecânica, por meio de uma caixa de redução de engrenagens acoplada à hélice, que faz com que a rotação reduza para cerca de 1.600 a 2.200 RPM (Araújo, 2023b).

Figura 2 – Esquema de partes do motor turboélice (PT6)



Fonte: adaptada de Araújo, 2023b.

Ainda conforme Araújo (2008b), há outro fator relevante para esse tipo de motor: sua tração é composta por uma soma de forças, chamada potência equivalente, formada pela potência medida no eixo, juntamente com a força dos gases de escapamento ou potência residual, normalmente, entre 10 e 20% da potência total.

& Ciências Aeronáuticas

ISSN 2763-7697

#### 2.4. MOTORES ATUAIS

Atualmente, a maioria dos motores a pistão convencionais possuem cilindros posicionados lado a lado na horizontal. Contudo, esses motores têm perdido lugar nos grupos motopropulsores das aeronaves de pequeno porte. Isso tem ocorrido devido a diversos fatores alinhados à pressão de mercado, como o aumento expressivo da gasolina de aviação (AvGas); a diminuição de produção, devido a pressões ambientais para a extinção do chumbo tetraetila presente nesse combustível; a entrada do motor Ciclo Diesel, desenvolvido recentemente, que usa querosene de aviação (JET A-1); e a forte concorrência por motores a reação turboélices (Araújo, 2023a).



Quanto aos motores turboélice, estes estão em constante aprimoramento, como em suas diversas versões de PT6, os quais foram vistos substanciais melhorias na relação peso-potência, além da tecnologia ser atualizada como a implementação do sistema *Full Authority Digital Engine Control* (FADEC), em outras palavras, gerenciamento totalmente eletrônico do motor (Araújo, 2023b).

### 3 METODOLOGIA

Este é um estudo bibliográfico e documental, com metodologia de natureza básica e descritiva. Para a parte de revisão bibliográfica, utiliza as seguintes bases de dados: *Google Academics*, *Google Search*, *SciELO*, *ERAU Hunt Library*, por meio de publicações, como livros, artigos científicos, monografias, dissertações e teses; além de materiais publicados em sites especializados, como a Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC) e o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes (CENIPA).

A pesquisa nas bases citadas foi realizada em 7 de março de 2024, com os seguintes descritores: "análise de motores aeronáuticos", "pistão", "turboélice". Foram considerados estudos das áreas de conhecimento relacionadas à engenharia aeronáutica e segurança de voo, publicados entre 1971 e 2024, em português e inglês. A pesquisa resultou em 104 estudos relacionados à "análise de motores aeronáuticos", "pistão" e "turboélice"; e 3.570 relacionados à "análise de motores aeronáuticos". Dada a limitação deste estudo, foram selecionados sete trabalhos, com base na relevância do seu conteúdo para o estudo, os quais foram lidos na íntegra e resumidos, que são: Taylor (1971); Farokhi (2014); El-Sayed (2017); Raymer (2018); Sá Neto (2020); Pereira e Silva (2023); e Freitas (2023).

Para a fase documental, utiliza dados estatísticos, por meio de análise com base nas informações obtidas nos sites especializados, como o painel SIPAER vinculado ao CENIPA (2024), que demonstra os índices de ocorrências, isto é, de acidentes, incidentes e incidentes graves; o Painel de Horas Voadas de Aeronave da ANAC (2023) que demonstra o quantitativo das horas registradas pelo órgão; além de dados de reserva de marcas também publicados pela Agência (2024c). O

objetivo é traçar uma projeção de entrada de novas aeronaves e tendência de mercado, no que tange à propulsão das aeronaves nos próximos anos.

Para isso, empregaram-se argumentos quali-quantitativos, a fim de analisar e comparar os motores-alvo, seguido pela fundamentação regulamentar, que expõe os níveis de segurança, por meio da certificação *Extended Twin Engine Operations* (ETOPS). Em seguida, emprega métodos quantitativos, com o uso de dados de órgãos oficiais já citados, para avaliar a segurança e mensurar os índices de ocorrências aeronáuticas, além de projetar tendências de mercado e segurança de voo futuras.

No caso das ocorrências coletadas no site do CENIPA (2024), os dados foram filtrados por ano (2019-2023); tipo de ocorrência (falha de motor em voo, falha do motor em solo e falha ou mal funcionamento do motor); tipo de aeronave (avião); número de motores (com exceção daqueles sem tração); e tipo de motor (pistão ou turboélice), a fim de selecionar somente os dados relevantes para a pesquisa.

Dentro do Painel de Horas Voadas da ANAC (2023), foram aplicados filtros para os tipos de motor relevantes em cada gráfico (pistão e turboélice), bem como o tipo de aeronave (avião) e os anos relevantes à pesquisa. Para a projeção de motores usados pelas aeronaves a serem licenciadas no país, foi necessária a aplicação de diversos filtros, devido ao grande número de reservas de marcas (ANAC, 2024c), a fim de se limitar aos dados relevantes para atingir os objetivos desta pesquisa. Isto é, aeronaves da categoria avião, equipados com motores a pistão e turboélice, com exceção de jatos, helicópteros, planadores, ultraleves e outros aeródinos de categorias similares, pois estes não contemplam o objetivo deste estudo.

#### **4 DESENVOLVIMENTO**

A seguir, são apresentados os comparativos teóricos relacionados às diferenças entre os motores da aviação de pequeno e médio porte.

## 4.1 COMPARATIVOS TEÓRICOS

Para a compreensão das diferenças entre os motores a pistão e turboélice, serão listados alguns conceitos, que não tem objetivo de aprofundamento em dados demasiadamente técnicos, como cálculos de eficiência térmica, energética e taxas de compressão, por exemplo (apesar de também demonstrarem grandes diferenças). No entanto, não foram contemplados por não fazerem parte do escopo deste estudo.

As aplicações dos motores a pistão são comumente utilizadas em aeronaves de pequeno porte de uso geral e em operações especializadas como aplicações agrícolas, também vistas em menor escala nos táxis aéreos (El-Sayed, 2017). Os motores turboélice são, frequentemente, usados em aeronaves de transporte regional, cargueiros, operações especializadas e em algumas aeronaves de uso geral (El-Sayed, 2017).

Ambos os motores possuem combustão interna e utilizam a reação química da combustão e expansão dos gases para gerar energia mecânica e cinética. Embora possua um funcionamento mais simples, o motor a pistão possui ciclos temporários, diversas peças maciças e móveis em atrito, além de contrapesos para o balanceamento do eixo de manivelas (El-Sayed, 2017).

Por outro lado, o turboélice é um motor mais complexo, que possui ciclos contínuos, ao longo do eixo quente e frio, que limita a maioria das peças móveis em movimentos circulares ou helicoidais e elimina contrapesos. Isso reduz a inércia dos Ciclos Otto de movimentos alternativos, o atrito entre peças móveis e o desgaste, embora necessite de grande cuidado com as faixas de temperatura em sua operação (El-Sayed, 2017).

Quanto ao desempenho dos motores a pistão, são mais eficientes em altitudes e velocidades mais baixas. Eles tendem a fornecer maior potência em baixas altitudes, pois sua eficiência diminui em altitudes mais elevadas, devido a menor densidade do ar, embora possam melhorá-la, substancialmente, com o uso dos turbocompressores (El-Sayed, 2017).

Já os motores turboélice são mais eficientes em altitudes e velocidades mais altas, são projetados para operar de forma mais eficiente em altitudes de

cruzeiro, devido à sua capacidade de manter um fluxo de ar constante sobre a hélice, por meio das caixas de engrenagens ou de velocidades (*gearbox*) (El-Sayed, 2017).

Apesar de ambos os motores possuírem melhorias com o avanço da tecnologia, como a evolução do estudo de materiais, sensores de gases de escapamento e fluxo de combustível, o motor turboélice, por ser mais complexo e sensível, exige um uso maior de tecnologias. Isso se deve à maior necessidade de precisão e constante monitoramento do seu sistema para possíveis *inputs* atrelados ao sistema de controle FADEC, por exemplo (Farokhi, 2014).

Outro fator relevante são os compressores: o motor a pistão necessita de um equipamento para compensar a queda de densidade do ar em altitude; os turbocompressores, que levam o ar do escapamento até a turbina, que gira o compressor e comprime o ar de admissão (El-Sayed, 2017).

De outro modo, o turboélice comprime, diretamente, o ar de admissão, mais frio e denso, e utiliza a força do eixo da turbina ou lado quente que é ligado ao eixo do compressor ou lado frio. Isso faz com que a eficiência energética seja mais bem aproveitada, e necessite menor deslocamento ou perda energética para a compressão do ar frio (El-Sayed, 2017).

De acordo com Farokhi (2014), o combustível varia conforme o tipo de motor. A maioria dos motores a pistão (salvo exceções) utilizam gasolina de aviação, conhecida como AvGas, a qual possui chumbo em sua composição, que além de ser um metal pesado, tende a diminuir a taxa de compressão dos motores, e apresenta menor eficiência energética e sustentabilidade.

Os turboélices consomem querosene de aviação (QAV, Jet-A ou Jet A-1), de maior disponibilidade mundial, embora haja algumas exceções de motores a pistão que também utilizam este combustível (Farokhi, 2014). Ainda é possível a utilização do bioquerosene conhecido como SAF, que é produzido a partir de biomassa renovável e com menor índice de carbono emitido (Energy.Gov, 2024), com estimativa de até 80% de redução nas emissões por voo (CNT, 2016).

Quanto aos custos de cada combustível, em dezembro de 2019, o AvGas teve um preço médio de US\$ 5,06/galão e o Jet-A, em média, US\$ 4,68/gal nos Estados Unidos, em que um galão americano é igual a 3,78 litros (Herbert, 2024).



Já no Brasil, em 2023 o querosene de aviação (Jet A-1) teve sua cotação entre R\$ 5,00 e R\$ 8,00/litro e o AvGas entre R\$ 10,00 e R\$ 15,00/L (Portal Aero, 2023).

Tendo em vista o consumo específico, isto é, o quanto o motor consome para gerar tal potência, o motor a pistão tende a consumir uma quantidade de combustível um pouco menor que o motor turboélice, para a mesma quantidade de tração exercida, embora voe em velocidades menores e utilize mais tempo para realizar o mesmo percurso. Esse dado ainda é variável, pois ambos os motores voam em faixas de operação diferentes, e variam seu consumo, de acordo com a altitude, densidade do ar e velocidade. Dessa forma, ao comparar ambos em um voo com a mesma altitude, um deles não estaria em seu regime de operação ideal (Raymer, 2018).

Uma vez que a pressão atmosférica diminui, com o aumento de altitude, o sistema de pressurização permite às aeronaves operarem em altitudes mais elevadas, sem a necessidade de suprimento de oxigênio para os passageiros, que mitiga os efeitos de hipóxia, previne a diferença de pressão nos ouvidos e a doença descompressiva (borbulhamento do nitrogênio no sangue como causa do diferencial de pressão). Além disso, torna o voo mais econômico, ao reduzir o consumo para determinada velocidade, e evita, ainda, condições meteorológicas desfavoráveis e turbulência gerada por células de tempestade (FAA, 2023).

Para utilizar este sistema de pressurização nos motores a pistão, normalmente, é realizada a sangria de ar do turbocompressor (quando a aeronave o possui) para a cabine, por intermédio de um tubo de Venturi ou limitador de fluxo e subsistemas responsáveis por controlar sua pressão e temperatura. Assim, a pressão de cabine é mantida mais elevada, em outras palavras, com um maior diferencial de pressão interno/externo. Para isso, é necessário que suas aeronaves possuam uma estrutura ou célula reforçada, capaz de aguentar os efeitos do diferencial de pressão (FAA, 2023).

Nos motores a pistão, a chance de *panes* no sistema é mais alta, devido à utilização de partes e peças que possuem índice de falhas mais elevado, as quais serão apresentadas posteriormente (ANAC, 2020). Ainda conforme dados da *Federal Aviation Administration* – FAA, nos motores turboélice, o sistema de pressurização também consiste em sangria de ar do motor, advindo de seu estágio

de compressão (lado frio). Semelhante ao pistão, o sistema de pressurização também contém subsistemas para o controle de pressão e temperatura, o que garante bem-estar aos passageiros (FAA, 2023).

Quanto à estrutura da célula, normalmente, as aeronaves que utilizam o sistema de pressurização já possuem um maior reforço de fábrica (FAA, 2023). Quanto à complexidade da operação e treinamento, normalmente, os pilotos iniciam sua formação em aeronaves a pistão, sem grandes diferenças de treinamento na transição entre elas. Porém para a transição de aeronaves turboélice, é necessário, por parte do piloto, maior treinamento e capacitação devido aos diferentes sistemas e procedimentos operacionais. Existe ainda a necessidade de quantidade mínima de horas em tipo de motor exigidos pelas seguradoras aos pilotos de aeronaves turboélices (Pilot Institute, 2023).

Quanto ao custo inicial para a compra exclusiva de um motor a pistão novo, este possui valor relativamente baixo: entre US\$25 mil e US\$100 mil (dólares), como do Continental TSIO-550. Já para os motores turboélices, esse valor é mais expressivo, com um custo mínimo de US\$700 mil para a compra de um *Pratt and Whitney* PT6A novo, por exemplo, o que influencia, diretamente, no valor da compra de uma aeronave turboélice (Herbert, 2024).

Embora o custo inicial para a obtenção do motor turboélice seja mais elevado, o custo de manutenção, em longo prazo, pode se tornar menor e mais próximo do pistão. Isso ocorre porque a maioria dos motores a pistão possuem um tempo entre revisões (TBO), em cerca de 1.800 horas, e para os turboélices, esses números sobem para cerca de 3.600 horas, podendo variar até 8 mil horas, que dilui o valor de compra e o valor de manutenção, ao aumentar a quantidade de hora voada disponível (Herbert, 2024).

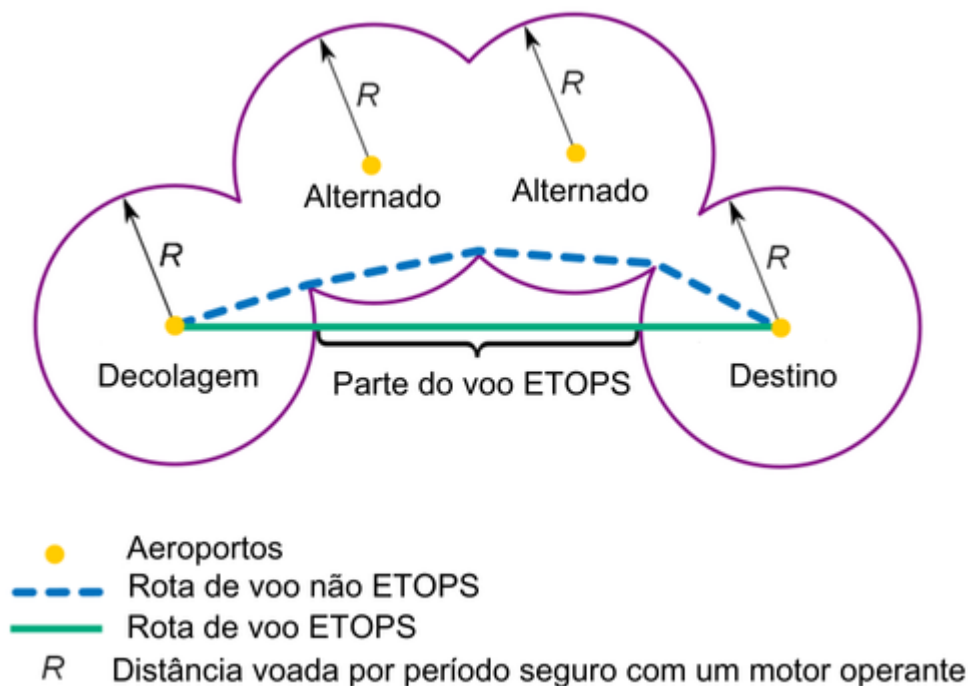
Nos custos de manutenção adversa dos motores turboélices, ainda que mais raros, graças à sua confiabilidade e segurança, estes podem subir, de forma significativa, devido à sua complexidade e tecnologia envolvidas. Da mesma forma, as revisões dos motores a pistão, embora sejam mais baratas, podem agregar custos, devido ao rápido desgaste dos componentes, que eleva a necessidade de revisão e substituição até durante a meia-vida dessas partes (Herbert, 2024).

## 4.2 CERTIFICAÇÃO ETOPS

Embora a Organização da Aviação Civil Internacional – ICAO (ICAO, 2017) tenha atualizado suas concepções de certificações de longa distância para o sistema *Extended Diversion Time Operations* (EDTO) recentemente, a maioria das organizações como a *Federal Aviation Administration* – FAA (FAA, 2008), a *European Aviation Safety Agency* – EASA (EASA, 2010) e a própria Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC, 2024b), mantém suas normas regulamentares no padrão anterior, embora muito semelhante: o ETOPS. Esse termo significa *Extended Twin Engine Operations* e se trata de uma certificação específica para a operação em longas distâncias (geralmente sobre o oceano ou grandes corpos de água), sem alternados em rota (

Figura 3), por meio de aeronaves bimotoras propulsadas por motores a reação, como é caso dos turboélices. As aeronaves bimotoras devem ser capazes de operar em rota, com um motor inoperante, e manter uma velocidade de cruzeiro constante, sob condições atmosféricas padrão e ar calmo.

Figura 3 – Exemplo de operação ETOPS e não ETOPS



Fonte: adaptada de Wikipédia, 2022.

Sua importância na aviação é clara: traz ao operador a oportunidade de voar diretamente ao destino, sem desvios, em rotas mais longas. Isso é relevante para a redução de gastos em combustível, horas de manutenção e, conseqüentemente, o valor das passagens ao cliente, além do fator ambiental em longo prazo, já que reduz o uso dos combustíveis fósseis e a emissão de gases poluentes (Segura, 2017).

#### **4.2.1 Base regulamentar**

De acordo com o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC 25) da ANAC (2014), para que as aeronaves possam ser homologadas e obterem a certificação ETOPS, no Brasil, é necessário que o seu operador comprove a confiabilidade da aeronave, por intermédio do cumprimento de diversos requisitos, os quais estão descritos a seguir.

- Fatores humanos (tripulação: treinamento, carga de trabalho, limitações fisiológicas).
- Limitações de projeto: autonomia, capacidades.
- Manuais de voo: manuais de operação prolongada, procedimentos operacionais.
- Monitoramento do estado do motor: procedimentos de manutenção, como medição de parâmetros de desempenho, temperatura, pressão, vibração e análise de dados (reportes, falhas etc.).
- Requisitos de configuração e manutenção: limitações de peso para operação contínua em pane monomotor, restrições de equipamentos mínimos conforme os manuais (MMEL).
- Sistemas da aeronave: anti-ice e fontes de energia elétrica independentes, por exemplo.
- Sistemas de propulsão e combustível redundantes.

Conforme o RBAC 21, ainda é necessário que o operador comunique a ANAC, mensalmente ou trimestralmente (alínea 1 do parágrafo b, seção 21.4, subparte A), os índices de parada do motor utilizado no conjunto motor-aeronave, em caráter mundial, das aeronaves homologadas que compõem a sua frota, para



a comprovação da segurança e o manutenção do certificado ETOPS. Esses dados devem estar entre as margens estipuladas conforme o tempo de operação em rota sem alternados, em minutos, a ser homologado (ANAC, 2024b).

O RBAC 21 estabelece, na alínea (2) do parágrafo (b), seção 21.4, subparte A (ANAC, 2024b):

- (i) um índice de 0,05 por 1.000 horas do motor da frota mundial de motores, para uma combinação avião-motor aprovada para ETOPS 120 minutos ou menos. Quando todos os operadores ETOPS tiverem cumprido com as ações corretivas requeridas pelo documento de configuração, manutenção e procedimentos (CMP), como condição para aprovação de ETOPS, o índice a ser mantido deve ser igual a ou menor que 0,02 por 1.000 horas de motor da frota mundial;
- (ii) um índice de 0,02 por 1.000 horas do motor da frota mundial de motores, para uma combinação de avião-motor aprovada para ETOPS 180 minutos ou menos, incluindo combinação aprovada de avião-motor para ETOPS 207 minutos, conforme o apêndice P, seção I, parágrafo (h) do RBAC 121; ou (Redação dada pela Resolução nº 364, de 20.10.2015).
- (iii) um índice de 0,01 por 1.000 horas do motor da frota mundial de motores, para uma combinação avião-motor aprovada para ETOPS acima de 180 minutos, excluindo combinação aprovada de avião-motor para ETOPS 207 minutos, conforme o apêndice P, seção I, parágrafo (h), do RBAC 121. (Redação dada pela Resolução nº 364, de 20.10.2015)

Diante disso, os motores e as aeronaves devem, compulsoriamente, ter um nível mínimo de confiabilidade, em caráter mundial, para que possam obter essa certificação e o manutenção dos parâmetros citados, a fim de mantê-la válida.

#### **4.2.2 Aeronaves homologadas**

Embora as aeronaves turboélice tenham menor necessidade de homologação para ETOPS, devido a suas limitações em operações de longa distância, estas podem ser homologadas, uma vez que se enquadram nos índices de segurança exigidos. Prova disso é a utilização dos ATR-72-600 com o motor Pratt & Whitney PW124, já homologados pela EASA para esse tipo de operações (Segura, 2017).

Ainda foram encontrados dados da aeronave King Air B350, homologada ETOPS de 90 minutos, por meio de um operador de taxi aéreo/executivo na África do Sul, que utiliza padrões de voo para o tipo de operação específica, por exemplo, a limitação da quantidade de pessoas embarcadas e a distância possível de voo a velocidade constante, para manter o voo seguro na condição da perda de um motor (AFG, 2024).

Ainda é relevante mencionar a solicitação da comunidade aeronáutica pela homologação de monomotores turboélice, uma vez que as agências reguladoras, como já visto nos casos da ANAC, FAA e EASA, mantêm as operações de longa distância apenas para aeronaves bimotoras, ou seja, a homologação ETOPS. Embora haja estudos que comprovam a segurança dessa operação de apenas um motor e a redução de risco de fatalidade quatro vezes menor, em comparação às bimotoras, devido à assimetria de tração, de acordo com o *National Transport Safety Board* (NTSB), órgão de prevenção e investigação de acidentes americano (Poli, 2019).

## 5 RESULTADOS

Considerando que a quantidade de aeronaves com motor turboélice tem crescido – embora seu número ainda seja relativamente baixo, em relação ao pistão (ANAC, 2024c), que pode ter como causa fatores como a inviabilidade operacional ou o desconhecimento das suas diferenças e benefícios de eficiência e segurança –; e para a análise do mercado aeronáutico brasileiro, este estudo teve como um dos objetivos realizar uma projeção de mercado relacionado ao assunto.

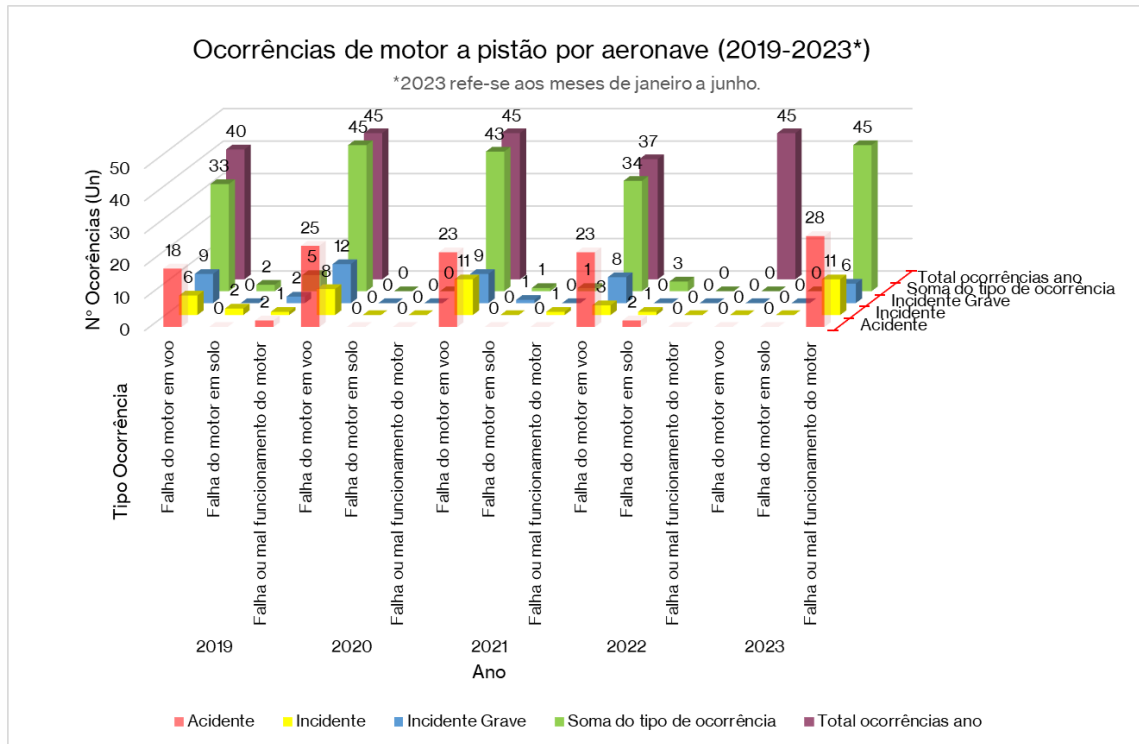
### 5.1 NÚMEROS DE OCORRÊNCIAS

Para a elaboração desta projeção, foi realizado, inicialmente, um estudo do panorama de ocorrências no período recente (de janeiro de 2019 a junho de 2023), conforme dados do painel SIPAER – ferramenta para a visualização de dados de ocorrências aeronáuticas criada pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) –, em que é possível observar os índices de ocorrências, devido ao mau funcionamento dos motores como fator principal (CENIPA, 2024).

Dessa forma, apresenta-se, a seguir, a primeira perspectiva referente aos motores a pistão, de acordo com os dados coletados no painel SIPAER do CENIPA. Na Figura 4, o eixo x se refere aos tipos de ocorrências por ano; o eixo y, o número

de ocorrências; e o eixo z, a gravidade da ocorrência e somatório, semelhante à legenda.

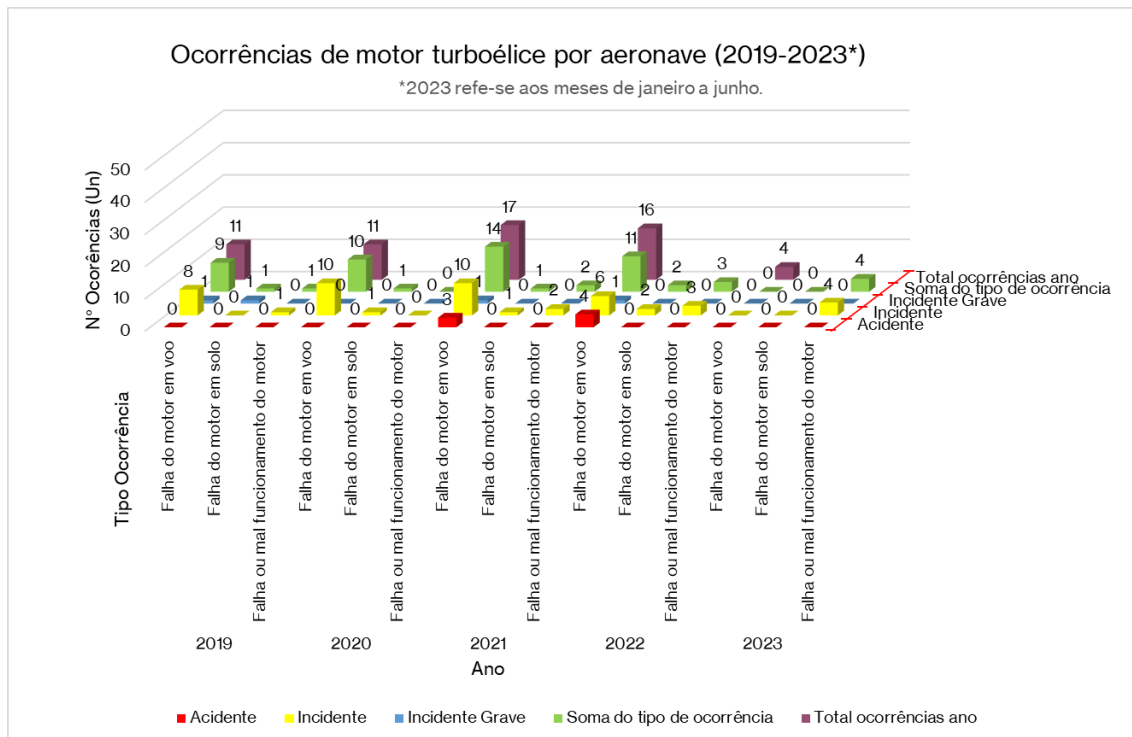
Figura 4 – Ocorrências de motor a pistão por aeronave



Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas  
 Fonte: os autores, com base em dados do CENIPA, 2024.

A seguir, apresenta-se a projeção referente aos motores turboélices, de acordo com os dados coletados no painel SIPAER do CENIPA. Vale ressaltar que os dados da Figura 5 seguem o mesmo padrão da Figura 4.

Figura 5 – Ocorrências de motor turboélice por aeronave



Fonte: os autores, com base em dados do CENIPA, 2024.

Conforme apresentado, é possível identificar uma diferença na quantidade de ocorrências por ano e sua gravidade. Ainda se verifica uma divergência nos dados referentes aos meses do ano de 2023, com um aumento considerável para o motor a pistão (Figura 4), e uma redução para o motor turboélice (Figura 5).

De acordo com pesquisas da ANAC (2020), realizadas entre 2011 e 2019, os números de ocorrências podem ser justificados em 2019 – embora possam apresentar influências aos anos subsequentes – devido aos componentes do motor que apresentam maior índice para desencadear em falha, que são: válvula, magneto, biela, bomba de combustível, cilindro, eixo de manivelas, componentes de comando, governador, vela e eixo de comando de válvulas. Dentre estes, a maioria é utilizada nos motores a pistão.

Ainda conforme a ANAC (2020), é possível verificar a relevância do tipo de ocorrência *falha de motor*, reconhecido pela ICAO como *System/Component Failure or Malfunction Powerplant* (SCF-PP), como o maior contribuinte com acidentes, de acordo com o órgão americano NTSB; e o segundo maior pela ANAC, conforme relatórios de investigações de acidentes.

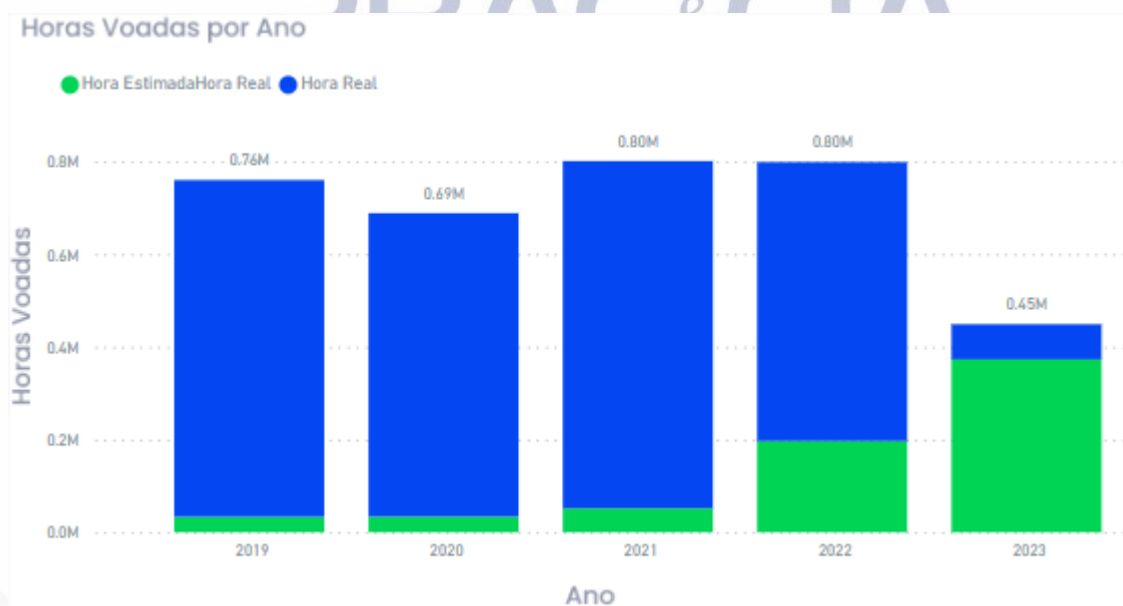


Embora os dados apresentados sejam relevantes para traçar um panorama da situação de ocorrências no Brasil, ainda é difícil comparar as informações dos dois gráficos (Figura 4 e Figura 5), pois as quantidades de ocorrências tendem a ser proporcionais à quantidade de horas voadas, ou seja, quanto mais os aviões voarem, maior a probabilidade de uma ocorrência (ANAC, 2020).

## 5.2 HORAS VOADAS

Diante disso, para permitir a comparação, são demonstrados dados de horas voadas totais por ano, de acordo com o tipo de motor das aeronaves. Os anos de 2019 a 2022 compreendem todos os 12 meses, já o ano de 2023, são considerados apenas os meses de janeiro a junho, conforme publicado pela fonte de dados (ANAC, 2023). A Figura 6 apresenta os dados de horas voadas de motores a pistão.

Figura 6 – Horas voadas – motores a pistão (ANAC)

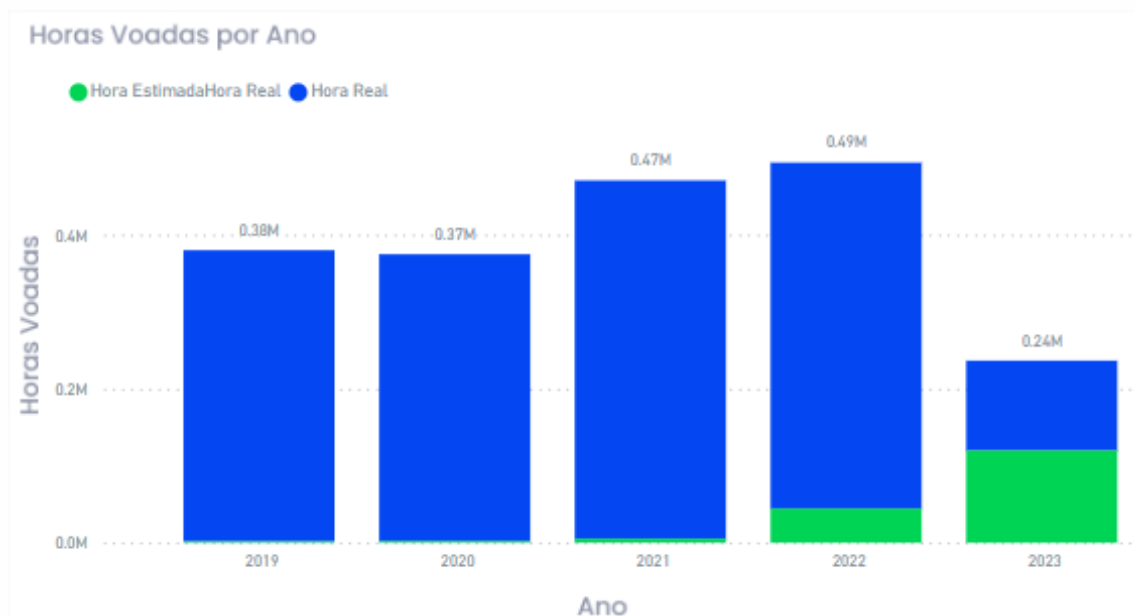


Fonte: adaptada de ANAC, 2024a.

Essas horas são computadas pelo Painel de Horas Voadas da ANAC que coleta informações por meio de seus diferentes sistemas, dentre eles, o Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade (CVA), que registra a execução

da verificação de aeronavegabilidade e o total de horas voadas de cada aeronave anualmente. A Figura 7 apresenta os dados de horas voadas de motores turboélice.

Figura 7 – Horas voadas – motores turboélice (ANAC)



Fonte: adaptada de ANAC, 2024a.

### 5.3 ÍNDICES DE OCORRÊNCIAS

Os dados apresentados demonstram que as aeronaves portadoras de motor a pistão registraram tempo de voo substancialmente maior, em comparação a aquelas que possuem motores turboélice, com um total de quase o dobro de horas totais. Todavia, esses dados não contemplam informações de incidência.

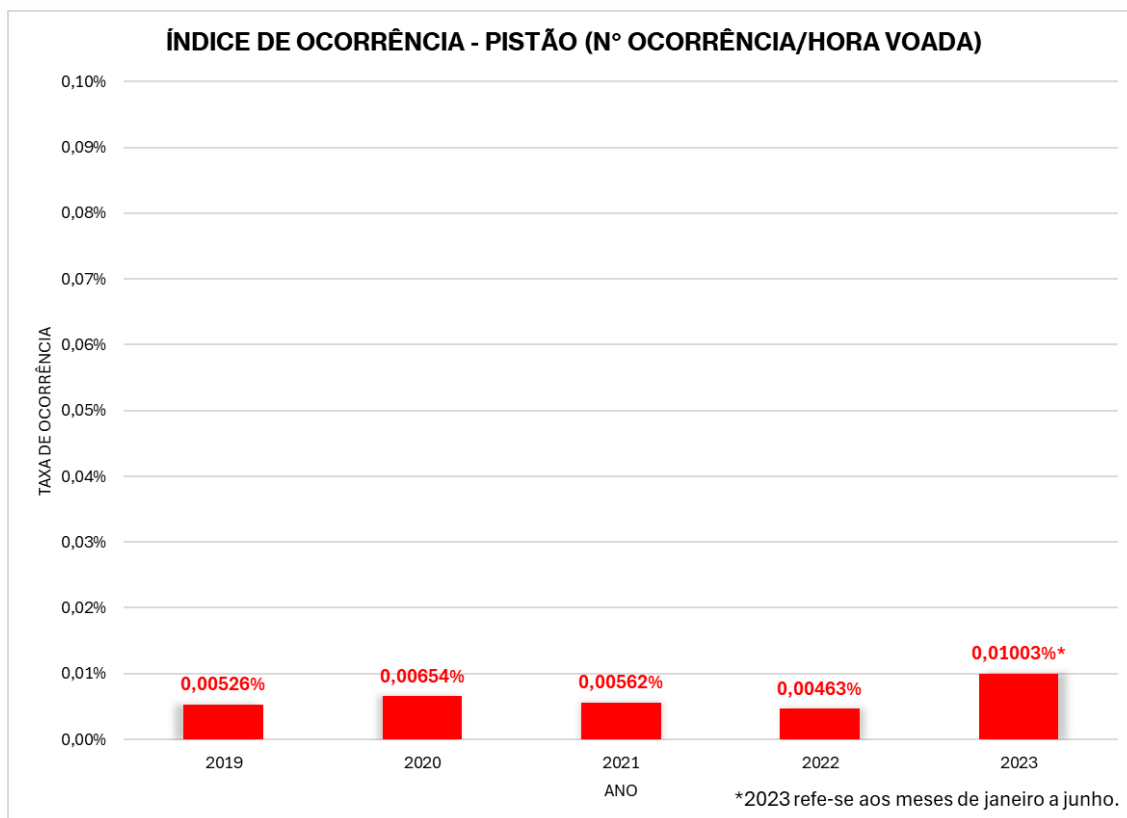
Após, realizou-se uma análise mais detalhada dos índices de ocorrência, em relação à quantidade de horas voadas, e da segurança dos equipamentos, em caráter operacional. Para isso, foram selecionados os dados dos últimos cinco anos (2019-2023) para os dois tipos de motores.

Com o intuito de obter a taxa ou relação de ocorrências por hora voada, correlacionou-se os dados apresentados nas Figura 4 e Figura 5, bem como as Figura 6 e Figura 7, por meio da fórmula  $\frac{n^{\circ} \text{ de ocorrências}}{\text{horas voadas}}$ .

Assim, foram obtidos os resultados demonstrados a seguir, que expressam a incidência anual em porcentagem para cada tipo de motor em operação. A Figura

8 apresenta os dados referentes ao número de ocorrência por hora voada de motores a pistão.

Figura 8 – Índice de Ocorrência – Pistão (nº de ocorrências/hora voada)

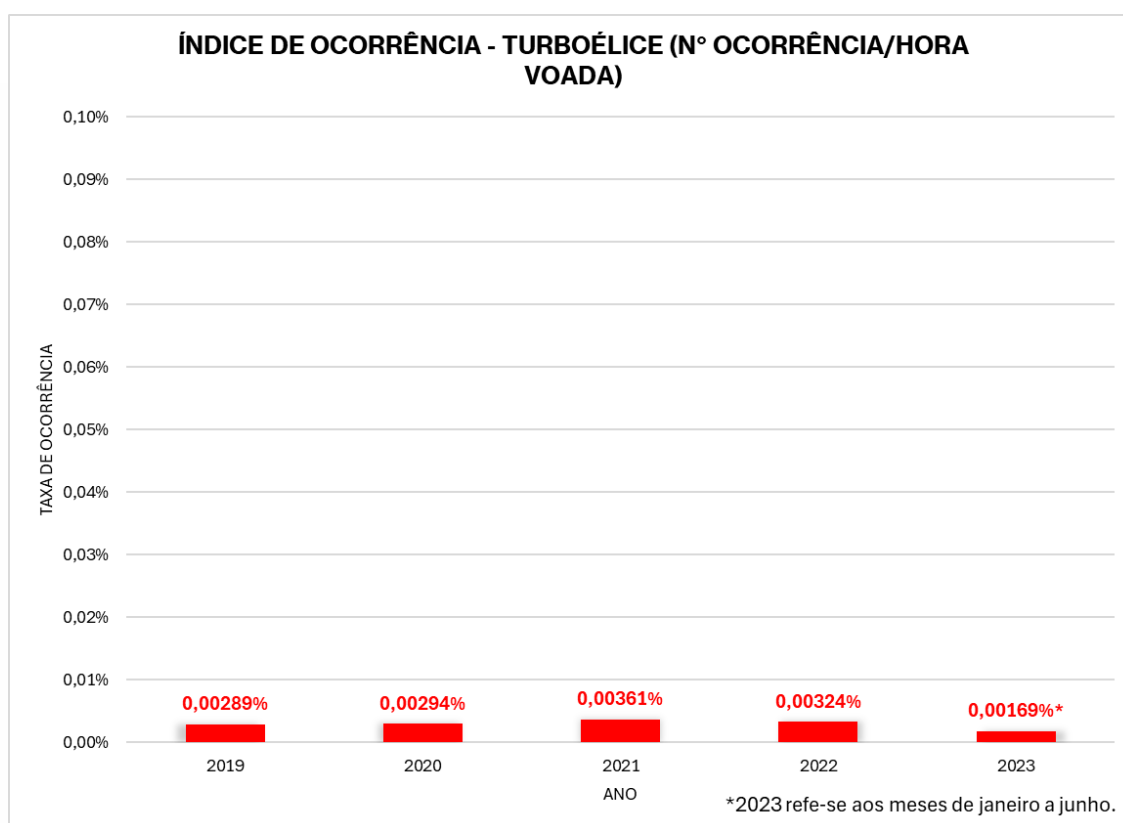


Fonte: os autores, com base em dados da ANAC (2024) e do CENIPA, 2024.

Como se pode observar, o índice obtido para o motor a pistão foi entre 0,0046% e 0,01003% entre janeiro de 2019 e junho de 2023. Isso resulta em uma média de 0,00006416 ocorrência/hora, ou seja, aproximadamente uma ocorrência para cada 15.586 horas voadas.

A Figura 9 apresenta os dados referentes ao número de ocorrências por hora voada de motores turboélice.

Figura 9 – Índice de Ocorrência – Turboélice (n° de ocorrência/hora voada)



Fonte: os autores, com base em dados da ANAC (2024) e do CENIPA, 2024.

No mesmo período, os motores turboélice demonstraram um percentual entre 0,00169% e 0,00361% de ocorrências/hora. Isso gera uma média de 0,000029, ou uma ocorrência para cada 34.482 horas voadas, aproximadamente.

Assim, é possível identificar a diferença dos números, de forma clara, entre ambos os motores, em que o motor a pistão apresenta, aproximadamente, o dobro de incidência de casos do motor turboélice.

#### 5.4 TENDÊNCIA DO MERCADO

Para verificar a tendência de mercado e a possível evolução da segurança do espaço aéreo brasileiro, por meio da atualização da frota do país, foram analisados dados da reserva de marcas on-line, fornecidos pela ANAC (2024c), que demonstra a solicitação de matrículas destinadas a aeronaves específicas, que podem adentrar o país no período de um ano, a partir da data do pedido inicial, embora este possa ser renovado.



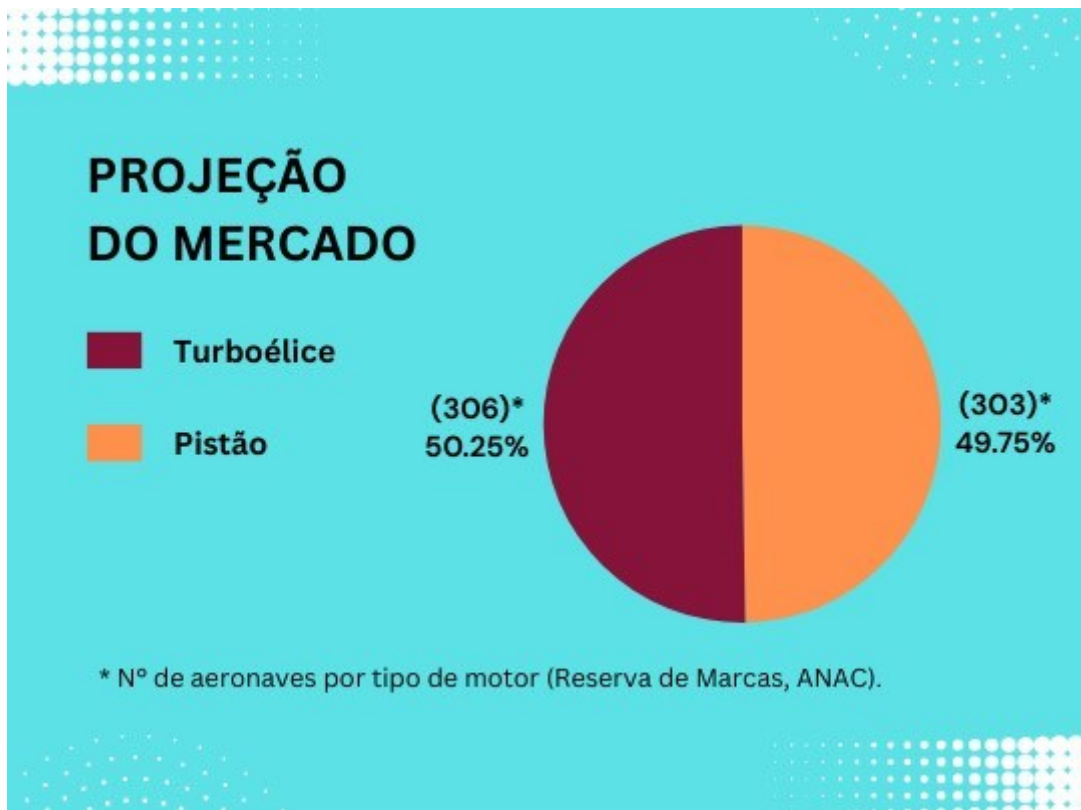
Para entrada de futuras aeronaves, de acordo com o registro de reserva de marcas da ANAC, solicitados pelos operadores, antes que seja licenciada no país. Com esses dados, é possível verificar a tendência do mercado de migrar para os motores turboélice ou manter a operação de aeronaves a pistão (ANAC, 2024c).

Para a projeção de motores usados pelas aeronaves a serem licenciadas no país, foi necessária a aplicação de diversos filtros, devido ao grande número de reservas de marcas, mais precisamente, 2.027 pedidos (ANAC, 2024c), a fim de delimitar os dados relevantes para atingir os objetivos desta pesquisa. Isto é, aeronaves da categoria avião, equipados com motores a pistão e turboélice, com exceção de jatos, helicópteros, planadores, ultraleves e outros aeródinos de categorias similares, pois estes não contemplam o objetivo deste estudo. Diante disso, o recorte foi de 609 registros relevantes.

Enfatiza-se que a filtragem teve objetivo de reduzir e concentrar os resultados para os aviões que contém os motores foco desta pesquisa. Os resultados são resumidos na Figura 10, que contém o número de aeronaves entre os dois tipos de motores, conforme cores e legenda, bem como sua porcentagem entre o somatório das duas classificações alvo. Na parte inferior, contém ainda notas de rodapé para elucidar os números expostos e como foram obtidos.

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

Figura 10 – Projeção de mercado: turboélice e pistão



Fonte: os autores, com base em dados da ANAC, 2024c.

Assim, é possível observar que os números de reservas de matrículas são um pouco maiores para aeronaves turboélice. Esse resultado sugere que o mercado tende a introduzir ambos os tipos de motores, com discreto aumento dos motores a reação em relação àqueles de Ciclo Otto.

### 5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esses resultados sugerem uma série de diferenças, inclusive no funcionamento, na complexidade, na operação, nos custos fixos e variáveis, além de benefícios ambientais. Dessa forma, é notável que cada equipamento conta com suas peculiaridades, vantagens e desvantagens, que devem ser considerados para a melhor escolha de operação a ser demandada.

Identificou-se também, diante das diferenças no valor de compra e operação como manutenção e combustível, que o motor a pistão pode ser

considerado mais viável que o turboélice, a priori. Porém, em uma análise mais detalhada, que varia conforme o treinamento e o bom uso do equipamento pela tripulação, verificou-se que as revisões ou TBO desse motor a reação podem ser estendidas, de forma significativa, o que dilui o valor de custo e manutenção no custo de hora voada, ao voar mais com menor necessidade de manutenções gerais.

Essencialmente, o fator segurança é imensurável; por isso, deve ser considerado quando da tomada de decisão da compra de um equipamento. Entretanto, a superioridade da segurança do turboélice é evidenciada por meio da base regulamentar dada pela certificação ETOPS, além de índices de ocorrência por hora voada expressivamente menores que os motores a pistão – mais de duas vezes menor.

Conforme a projeção de mercado apresentada, é possível entender que o mercado tende a receber ambos os tipos de equipamento, com pouco aumento dos motores turboélices. Esse fato indica, indiretamente, que pode haver um congelamento na análise de segurança, uma vez que a introdução de equipamentos mais confiáveis diminui os índices de ocorrência por hora voada gerais, reduz, ainda, o número de ocorrência geral, no caso da substituição entre os dois motores – que voam a mesma quantidade de horas ou mais, com menores números de ocorrências.

Por fim, considera-se relevante a análise dos fatores apresentados neste estudo, quando na escolha de tal equipamento, com vistas a não somente os custos, mas todo o seu conjunto de fatores agregados à operação, com ênfase na segurança. Também é indicada a inspeção e manutenção mais constante daqueles principais componentes do grupo motopropulsor responsáveis pelos números de ocorrência vistos.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com o objetivo de elucidar as diferenças entre os motores de pistão e turboélice, foi necessário estabelecer noções quali-quantitativas a respeito do tema, a fim de tratar tanto suas aplicabilidades na operação, quanto os dados de

segurança de voo. Os resultados desta pesquisa contribuem com a comunidade aeronáutica e demais membros da sociedade interessados, e apresenta a necessidade de equipamentos mais eficientes e benéficos para si e para o planeta, enquanto se busca o desenvolvimento de aeródinos com zero emissão e com os mesmos elevados padrões de segurança.

Os estudos indicam simplicidade e custos de operação mais acessíveis ao pistão, com destaque para o seu conjunto de benefícios em curto prazo, de forma significativa; e que o turboélice possui maior tecnologia envolvida, complexidade e segurança.

Para estudos futuros, sugerem-se pesquisas de ocorrências e segurança de voo para a aviação agrícola, com o uso de ambos os tipos de motores estudados, devido ao seu alto índice de ocorrências.

## REFERÊNCIAS

AFG – Africa Flight Group. **Turbo Prop Beechcraft King Air 350**. AFG, [S.l.]. 2024. Disponível em: [https://www.africaflight.co.za/fleet/turbo-prop-aircraft/beechcraft-king-air-350/?doing\\_wp\\_cron=1713293156.7125749588012695312500](https://www.africaflight.co.za/fleet/turbo-prop-aircraft/beechcraft-king-air-350/?doing_wp_cron=1713293156.7125749588012695312500). Acesso em: 22 mar. 2024.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC 25, resolução 303, emenda 136** – Requisitos de aeronavegabilidade: aviões categoria transporte. Brasília: ANAC, 2014. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2009/16s/rbac-25-2013-22-04-2009>. Acesso em: 21 mar. 2024.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. **Análise Qualitativa dos Relatórios Finais das ocorrências com aeronaves de matrícula brasileira nos últimos 10 anos (2010-2019) classificados como Falha de Motor em Voo (SCF-PP)**. Brasília: ANAC, 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/relatorios-de-analises-de-ocorrencias/anac\\_relatorio\\_final\\_scf\\_pp.pdf](https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/relatorios-de-analises-de-ocorrencias/anac_relatorio_final_scf_pp.pdf). Acesso em: 20 abr. 2024.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. **Base de dados de aeronaves**. Brasília: ANAC, 13 mar. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/sistemas/rab/relatorios-estatisticos>. Acesso em: 9 abr. 2024.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. **Relatórios e Estatísticas de Segurança Operacional: Horas Voadas**. Brasília: ANAC, 2024a. Disponível em:



<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/seguranca-operacional>. Acesso em: 22 abr. 2024.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC 21, resolução 733, emenda 10** – Certificação de produto e artigo aeronáuticos. Brasília: ANAC, 2024b. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-21>. Acesso em: 21 mar. 2024.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. **Reserva de marcas online**. Brasília: ANAC, 2024c. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aeronaves/reserva-de-marcas-online#:~:text=A%20Reserva%20%C3%A9%20v%C3%A1lida%20por,m%C3%AAs%20antes%20de%20seu%20vencimento.&text=Voc%C3%AA%20dever%C3%A1%20receber%20um%20e,%40anac.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ARAÚJO, D. **Mais detalhes do interessante motor ae300/330 aeronáutico**. AE, [S./], 12 fev. 2023a. Disponível em: <https://autoentusiastas.com.br/2023/02/mais-detalhes-do-interessante-motor-ae300-330-aeronautico/>. Acesso em: 11 abr. 2024.

ARAÚJO, D. **Pratt & Whitney PT6: um motor que merece uma matéria**. AE, [S./], 14 jun. 2023b. Disponível em: <https://autoentusiastas.com.br/2023/06/em-elaboracao-o-pratt-whitney-pt6-um-motor-que-merece-um-post/>. Acesso em: 11 abr. 2024.

AVITRAINING. **Antoinette V-8: O motor do 14 Bis**. 06 de junho de 2021. Disponível em: <https://www.avitraining.com.br/blog/antoinette-v-8-o-motor-do-14-bis>. Acesso em 23 de setembro de 2023;

CENIPA. **Painel Sipaer: ocorrências aeronáuticas na aviação civil brasileira**. CENIPA. 2024. Disponível em: <https://painelsipaer.cenipa.fab.mil.br/extensions/Sipaer/Sipaer.html>. Acesso em: 22 abr. 2024.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Certificação de aeronaves deverá priorizar menos emissões de CO2**. Brasília: Agência CNT, 6 jul. 2016. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/novo-padrao-de-certificacao-de-aeronaves-devera-reduzir-emissao-de-co2-cnt>. Acesso em 2 maio 2024.

BAE SYSTEMS. **De Havilland DH106 Comet 1 & 2**. BAE Systems, [S./], 2023. Disponível em: <https://www.baesystems.com/en/heritage/de-havilland-comet-1---2>. Acesso em: 11 abr. 2024.

EASA – European Union Aviation Safety Agency. **Decision n. 2010/012/R of the Executive Director of the European Aviation Safety Agency, of 16 December 2010**. AMC 20-6 rev.2 Extended Range Operations with Two-Engine Aeroplanes ETOPS Certification and Operation. 2010. Disponível em:

<https://www.easa.europa.eu/en/document-library/agency-decisions/ed-decision-2010012r>. Acesso em: 21 mar. 2024.

EL-SAYED, A. F. **Fundamentals of Aircraft and Rocket Propulsion**. London: Springer, 2016. DOI 10.1007/978-1-4471-6796-9.

EL-SAYED, A. F. **Aircraft Propulsion and Gas Turbine Engines**. Boca Raton: CRC Press, 2017.

ENERGY.GOV. **Sustainable Aviation Fuels**. Energy.Gov. Painel Sipaer: Panorama, [S.l.], 2024. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/sustainable-aviation-fuels>. Acesso em: 3 maio 2024.

ETOPS. *In*: WIKIPÉDIA. 14 set. 2022. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/ETOPS>. Acesso em: 7 abr. 2024.

EYRE, D. C. **De Havilland DH.4**. Aeropedia, [S.l.], 19 maio 2019. Disponível em: <https://aeropedia.com.au/content/de-havilland-dh-4/>. Acesso em: 12 mar. 2024.

FAA. **AC 120-42B** – Extended Operations (ETOPS and Polar Operations). 2008. Disponível em: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/advisory\\_circulars/index.cfm/go/document.information/documentid/73587](https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentid/73587). Acesso em 21 de março de 2024;

FAA. **Aircraft Systems**. *In*: Transportation, U.S. Department Of. **Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge**: FAA-H-8083-25c. Oklahoma City: FAA, 2023. p. f1-f42. Disponível em: [https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/09\\_phak\\_ch7.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/09_phak_ch7.pdf). Acesso em: 11 abr. 2024.

FAROKHI, S. **Aircraft Propulsion**. 2. ed. Wiley: Chichester. 2014.

FAYETTE-TAYLOR, C. Aircraft Propulsion: A Review of the Evolution of Aircraft Piston Engines. Smithsonian Institution Press. **National Air and Space Museum**, Washington, v. 1 n. 4, 1971. DOI: 10.5479/si.annalsflight.4.

FREITAS, W. P. **Sustentabilidade ambiental dos motores aeronáuticos**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Aeronáuticas) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/1026>. Acesso em: 11 abr. 2024.

HERBERT, A. **Piston vs. Turboprop**: Performance, Efficiency, and Safety. Airplane Academy, 2024. Disponível em: <https://airplaneacademy.com/turboprop-vs-turbofan-safety-efficiency-and-performance/>. Acesso em: 3 maio 2024.

ICAO – International Civil Aviation Organization. **DOC 10085**: Extended Diversion Time Operations (EDTO) Manual. Quebec: ICAO, 2017. Disponível em:

[https://www.icao.int/MID/Documents/2020/EDTO%20Workshop/10085\\_cons\\_en.pdf](https://www.icao.int/MID/Documents/2020/EDTO%20Workshop/10085_cons_en.pdf). Acesso em: 21 mar. 2024.

L'AVIONNAIRE. **Piston Engine**. L'avionnaire, [S./], 2010. Disponível em: <https://www.lavionnaire.fr/AngPistonEngine.php>. Acesso em: 21 mar. 2024.

PEREIRA, V. A. C.; SILVA, T. A. Aeronaves EVTOL como um novo conceito de aviação no Brasil: desafios, implementação e perspectivas. **Revista Brasileira de Aviação Civil; Ciências Aeronáuticas**, [S. /], v. 3, n. 3, p. 7–31, 2023. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/150>. Acesso em: 27 maio 2024.

PILOT INSTITUTE. **Piston vs. Turboprop: What's the Difference?** Pilot Institute, [S./], 28 ago. 2023. Disponível em: <https://pilotinstitute.com/piston-vs-turboprop/#basics-of-operation>. Acesso em: 4 maio 2024.

POLI, F. **How many engines should my private aircraft have?** 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/how-many-engines-should-my-private-aircraft-have-fabrizio-poli>. Acesso em: 1 abr. 2024.

PORTAL AERO. **Análise dos custos de abastecimento de aeronave**. Portal Aero, [S./], 20 dez. 2023. Disponível em: <https://aeroportrasdaaviacao.com/analise-dos-custos-de-abastecimento-de-aeronave/#:~:text=Tipos%20de%20Combust%C3%ADveis%20na%20Avia%C3%A7%C3%A3o&text=A%20gasolina%20de%20avia%C3%A7%C3%A3o%2C%20Oconhecida,a%20R%2415%20por%20litro>. Acesso em: 12 maio 2024.

RAYMER, D. **Aircraft Design: A Conceptual Approach**. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 6. ed. AAIA: Playa Del Rey. 2018.

SÁ NETO, W. C. **A evolução dos motores a reação e seu impacto no meio ambiente**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Aeronáuticas) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/306>. Acesso em: 26 set. 2023.

SEGURA, J. C. **FAA regulation analysis for ATR ETOPS validation**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Telecomunicação Aeroespacial) – Universidade Politécnica de Catalunha, Catalunha, 2017. Disponível em: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/109258>. Acesso em: 13 abr. 2024.

SMITHSONIAN. Aircraft propulsion; a review of the evolution of aircraft piston engines. **Smithsonian**, [S./], p. 1-11, 1971. Smithsonian Institution Scholarly Press.

SWEET, G. **The Turboprop World-Beater VISCOUNT**. Vickers Viscount Network, Norwich, Norfolk, jul. 2008. Disponível em:

[http://www.vickersviscount.net/Pages\\_History/The\\_Turboprop\\_World-Beater\\_VISCOUNT.aspx](http://www.vickersviscount.net/Pages_History/The_Turboprop_World-Beater_VISCOUNT.aspx). Acesso em: 13 abr. 2024.

WILKINSON, S. **Was the Boeing 247 really everything it's supposed to be?** Historynet, [S.l.], 18 jan. 2023. Disponível em: <https://www.historynet.com/boeing-247-failures/>. Acesso em: 7 abr. 2024.

