

UMA ANÁLISE DOS MOTORES CONVENCIONAIS A QAV EM ALTERNATIVA AOS MOTORES CONVENCIONAIS A AVGAS EM AERONAVES LEVES: VANTAGENS ECONÔMICAS E AMBIENTAIS

Altessandher Piva¹

Jairo Afonso Henkes²

RESUMO

Este estudo foi elaborado com o objetivo geral de analisar os possíveis benefícios da utilização de motores convencionais a QAV em alternativa aos motores convencionais a Avgas em aeronaves leves. A pesquisa caracteriza-se como exploratória, com procedimento documental e bibliográfico, por meio de documentos oficiais de fabricantes de aeronaves, ANAC, FAA e ANP, com utilização de livros e artigos para a melhor contextualização das ideias. A abordagem utilizada foi quantitativa e qualitativa. A análise dos dados foi realizada por meio de informações obtidas durante a pesquisa documental e convertidas em gráficos para melhor demonstrar as diferenças da utilização de motores convencionais a QAV em alternativa aos motores convencionais a Avgas na aviação leve. Ao finalizar a pesquisa, pode-se concluir que a correta divulgação dos benefícios da utilização de aeronaves com motores convencionais a QAV poderá ajudar a modificar a aviação privada e executiva de pequeno porte que se conhece atualmente, diminuindo as emissões de chumbo tetraetila na atmosfera e reduzindo os custos operacionais para os que desejam ter seu próprio avião, além da possível expansão do mercado de aeronaves leves, visto que o alto custo do Avgas no Brasil é algo que afasta pessoas que tem interesse em possuir seu próprio avião para hobby ou locomoção.

Palavras-chave: Aviação leve. Combustíveis. Redução de custos. Chumbo Tetraetila.

¹ Bacharel em Ciências Aeronáuticas. Unisul. E-mail: altepiva@gmail.com

² Doutorando em Geografia (UMinho, 2019). Mestre em Agroecossistemas (UFSC, 2006). Especialista em Administração Rural (UNOESC, 1997). Engenheiro Agrônomo (UDESC, 1986).

AN ANALYSIS OF CONVENTIONAL ENGINES TO QAV IN ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL ENGINES TO AVGAS IN LIGHT AIRCRAFT: ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ADVANTAGES

ABSTRACT

This study was developed with the general objective of analyzing the possible benefits of using conventional engines that burn kerosene as an alternative to conventional Avgas engines in light aircraft. The research is characterized as exploratory with documentary and bibliographic procedure through official documents from aircraft manufacturers, ANAC, FAA and ANP, as well as the use of books and articles for proper contextualization. The approach used was qualitative and quantitative. Data analysis was performed using data obtained during documentary research and converted into graphics to better demonstrate the differences in the use of conventional kerosene engines as an alternative to conventional Avgas engines in light aviation. At the end of the research it is possible to conclude that the correct disclosure of the benefits of using aircraft with conventional kerosene engines could modify the private and small business aviation that is currently known, reducing tetraethyl lead emissions into the atmosphere and also the operating costs for those who wish to own their own aircraft, in addition to the possibility of the light aircraft market expansion as the high cost of Avgas in Brazil is something that keeps people away from buying their own aircraft for hobby or transportation.

Keywords: Light aviation. Fuel. Cost reduction. Tetraethyl lead.

1 INTRODUÇÃO

É comum pensar que o primeiro voo foi idealizado por Alberto Santos Dumont ou pelos 'Wright Brothers', no entanto poucos sabem que a aviação de asa fixa já era existente no século anterior. Ainda sem a tecnologia de motores

de combustão interna com baixa relação peso/potência, os planadores se destacavam no meio aeronáutico.

Otto Lilienthal, também conhecido como o “pai do voo planado”, foi um grande inventor alemão do final do século XIX. Com seus estudos, Otto foi pioneiro no uso do formato aerodinâmico das asas que inspirou os projetos dos primeiros aviões e que é utilizado até hoje em aeronaves subsônicas. (PEDROSA, 2017).

Figura 1 - Otto Lilienthal, utilizando asas planadoras, em 1894.



Fonte: Airway, 2017.

Anos mais tarde, no início do século XX, o surgimento de motores de combustão interna mais leves e potentes tornou possível os primeiros voos de aeronaves com propulsão própria e, após a primeira guerra mundial, criou-se a necessidade de motores cada vez mais potentes para acompanhar o rápido crescimento para o desenvolvimento de aeronaves militares. Foi neste período que surgiram motores superalimentados e os problemas causados pela detonação, em decorrência da baixa octanagem da gasolina, o que levou à adição de chumbo tetraetila na composição da gasolina de aviação para corrigir esta falha (ARAUJO, 2018).

Após o fim da segunda guerra mundial, os motores a combustão interna estavam próximos ao seu limite de uso e os motores a reação já eram realidade, sendo mais econômicos e eficientes para aeronaves de grandes proporções.

Assim, o desenvolvimento de motores aeronáuticos convencionais perdeu lugar para os motores a jato e ficaram restritos à aviação leve, mantendo sua tecnologia quase inalterada por décadas (ARAUJO, 2018).

Em alguns países, como é o caso do Brasil, é relativamente comum alguns empresários se interessarem em possuir o próprio avião pequeno para agilizar viagens a trabalho, porém este setor tem sido impactado nos últimos anos devido ao aumento do custo do Avgas, além da crescente preocupação com o meio ambiente em razão da adição de chumbo tetraetila para garantir melhor funcionamento do motor (ARAUJO, 2018).

Nas últimas décadas, algumas empresas têm trabalhado em soluções para reduzir estes problemas e reduzir os custos de operação. Surgiriam então motores da fabricante Lycoming convertidos para o uso de Etanol e motores aeronáuticos de ciclo diesel, que consomem QAV, eliminando o uso de aditivos como o chumbo e gastando menos combustível (ARAUJO, 2018).

Existem vantagens no uso de motores convencionais a querosene em alternativa aos motores convencionais a Avgas em aeronaves leves, e quais suas implicações? Este artigo tem como objetivo principal analisar os possíveis benefícios da utilização de motores convencionais a QAV em alternativa aos motores convencionais a Avgas em aeronaves leves. Pretende ainda descrever quais são as características desejáveis em motores aeronáuticos, descrever o funcionamento de motores de ciclo Otto e de motores de ciclo Diesel, os tipos de combustíveis aeronáuticos disponíveis no Brasil e ainda comparar o desempenho e custos operacionais, com foco no consumo, de aeronaves da empresa Diamond, modelo DA40, que utilizam motores convencionais a Avgas e a QAV.

Fontes de energias alternativas para a aviação geral têm sido um tema bastante recorrente ultimamente. O combustível Avgas, largamente utilizado em aeronaves de pequeno porte, possui chumbo tetraetila em sua fórmula, elemento este que pode causar danos irreversíveis em organismos humanos.

Por consequência do alto custo e da dificuldade para encontrar Avgas em algumas regiões da Europa, o desenvolvimento de motores aeronáuticos

convencionais a querosene para aeronaves leves ganhou espaço nas últimas décadas. Além da maior facilidade para encontrar QAV na Europa, estes motores têm se mostrado bastante econômicos e de funcionamento mais simples e confiável que motores a Avgas (MARK, 2018).

Este trabalho terá como finalidade divulgar informações a respeito da utilização de motores convencionais a QAV em aeronaves leves para ajudar na decisão de compra de novas aeronaves de pequeno porte. Visto que podem ser uma alternativa interessante para reduzir o uso de Avgas, que já se mostrou bastante prejudicial para a saúde e para o meio ambiente, além de possuir maior rendimento e custo operacional mais baixo que as aeronaves a Avgas.

Este estudo caracteriza-se como exploratório, com procedimento documental e bibliográfico e com abordagens qualitativa e quantitativa. A pesquisa exploratória proporciona ao leitor maior familiaridade com o assunto, de forma que os dados levantados são analisados e organizados (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

O procedimento para coleta de dados caracteriza-se como bibliográfico, pois buscou estudar e explorar contribuições culturais ou científicas do passado sobre determinado assunto, também documental que é bastante similar, porém realizado através de documentos oficiais, jornais, entre outros (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Já a abordagem da pesquisa é qualitativa, devido aos conhecimentos do pesquisador serem parciais e limitados. O objetivo da amostra é aprofundar-se no objeto de pesquisa. (GOLDENBERG, 1997). E é também quantitativa, pois está ligada aos dados imediatos, caracterizando a passividade e neutralidade do pesquisador diante da investigação da realizada (KNECHTEL, 2014).

Os materiais analisados foram bibliográficos: Livros e periódicos que descrevem combustíveis utilizados na aviação; tipos de motores aeronáuticos; e documentais: com vistas a documentos da Agência Nacional de Aviação Civil, sobre a legislações da aviação civil brasileira que oferecem requisitos e padrões

em relação ao tema proposto, reportagens e artigos em revistas entre outros documentos e dados disponibilizados nos sites de órgãos mundiais de aviação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Motores de combustão interna são considerados motores térmicos, pois realizam trabalho através da queima de uma mistura de ar e combustível dentro de um cilindro transformando energia calorífica em energia mecânica (HOMA, 2015).

De acordo com Homa (2015), para uso aeronáutico é desejável que o motor possua: leveza (baixa relação massa/potência); economia (baixo consumo de combustível); pequena área frontal para não comprometer a aerodinâmica; e segurança de funcionamento.

2.1.1 Ciclo Otto

Conforme Homa (2015), motores de ciclo Otto normalmente utilizam combustíveis bastante voláteis como a gasolina e o etanol e funciona nos seguintes tempos:

Admissão: Neste tempo, a mistura de ar e combustível é admitida para o interior do cilindro. Inicia-se com a abertura da válvula de admissão quando o pistão se encontra no PMS e termina com o fechamento da válvula e o pistão passando pelo PMI.

Compressão: Com a mistura no interior do cilindro, inicia-se a fase de compressão. Ainda com as válvulas fechadas, o pistão irá fazer um movimento ascendente até o PMS, aumentando consideravelmente a pressão até que uma centelha seja emitida pela vela de ignição, dando início à queima da mistura.

Expansão: Durante a combustão, há uma grande liberação de energia calorífica que será transformada em energia mecânica ao empurrar o pistão para baixo.

Escapamento: Neste tempo a válvula de escapamento irá se abrir para permitir que os gases da queima da mistura sejam retirados do interior do cilindro. Ao final deste tempo, a válvula de escapamento se fecha e o ciclo recomeça.

2.1.2 Ciclo Diesel

Segundo Varella e Santos (2010), em motores de ciclo Diesel, também há 4 tempos, porém são utilizados combustíveis menos voláteis e que tem maior resistência à detonação como o diesel e o querosene. Esta diferença torna o ciclo mais simples que o anterior, pois o uso da vela de ignição não se faz necessário para iniciar a combustão e funciona conforme os tempos a seguir:

Admissão: Durante este tempo, somente ar é inserido no cilindro através da válvula de admissão.

Compressão: Por não haver combustível, é possível obter uma razão de compressão de até 22:1 sem risco de uma combustão acidental. Ao final desta fase o combustível é injetado diretamente no cilindro pelo bico injetor.

Expansão: Diferente do ciclo Otto que é necessária uma faísca para iniciar a queima, a combustão no ciclo Diesel inicia-se em razão da alta compressão que o combustível encontra no interior do cilindro.

Escapamento: Assim como no ciclo Otto, a válvula de escapamento se abre para permitir a saída dos gases da queima.

2.2 COMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO NO BRASIL

Conforme a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP (2019), o Brasil é o maior consumidor de combustíveis da América Latina. Atualmente existem quatro combustíveis certificados para o uso em aeronaves no país que são o Avgas, o QAV, o QAV alternativo e o Etanol.

2.2.1 Avgas 100LL

Segundo definição da FAA (2019), Avgas é um combustível especial usado exclusivamente em aeronaves com motores a pistão. Sua composição é feita de uma complexa mistura de hidrocarbonetos que podem variar física e quimicamente. Adicionalmente, é utilizado chumbo tetraetila (TEL) para aumentar a octanagem do combustível e assim prevenir a detonação devido à alta compressão dentro dos cilindros do motor.

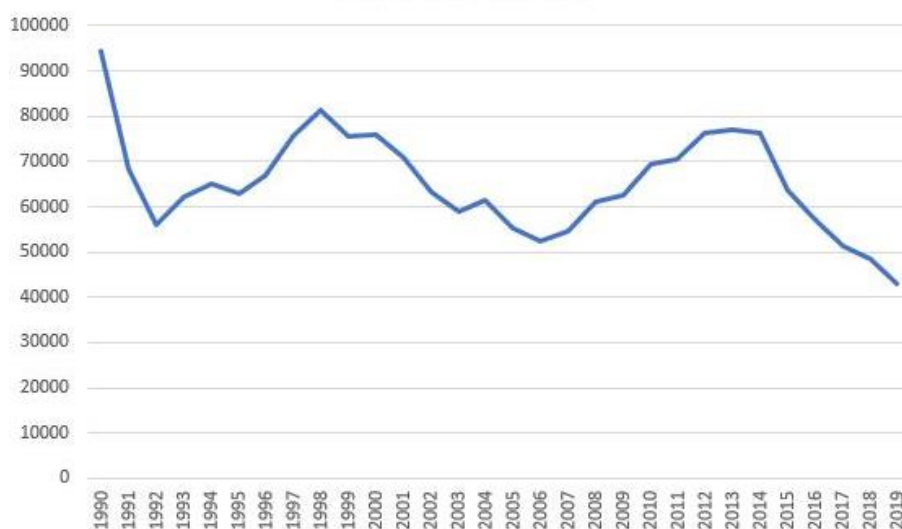
Detonação – A combustão neste caso é praticamente instantânea, ou seja, explosiva. A energia da combustão é liberada instantaneamente, causando superaquecimento em vez de potência mecânica. A detonação é também conhecida como “batida de pinos” (devido ao ruído característico que produz) (HOMA, 2015, p. 77).

Ainda segundo a FAA (2019), o chumbo pode causar efeitos nocivos sobre o sistema nervoso, células vermelhas e sistemas cardiovasculares e imunológicos, além de contribuir para problemas de comportamento e aprendizado em crianças.

Embora o TEL tenha sido banido da gasolina automotiva reduzindo significativamente os níveis de emissão de chumbo no meio ambiente, seu uso continua permitido na aviação, pois ainda não há nenhum substituto tão operacionalmente seguro quanto ao chumbo (FAA, 2019).

Conforme dados da ANP (2019), entre as diversas variações de Avgas existentes apenas o 100LL (baixo chumbo) é atualmente comercializado no Brasil, sendo que no ano de 2019 o país obteve o menor volume de vendas deste combustível desde 1990, conforme o Gráfico 1, a seguir.

Gráfico 1 - Venda de Avgas (m³) entre os anos de 1990 e 2019 no Brasil.



Fonte: Dos autores adaptado de ANP, 2019.

2.2.2 QAV e QAV Alternativo

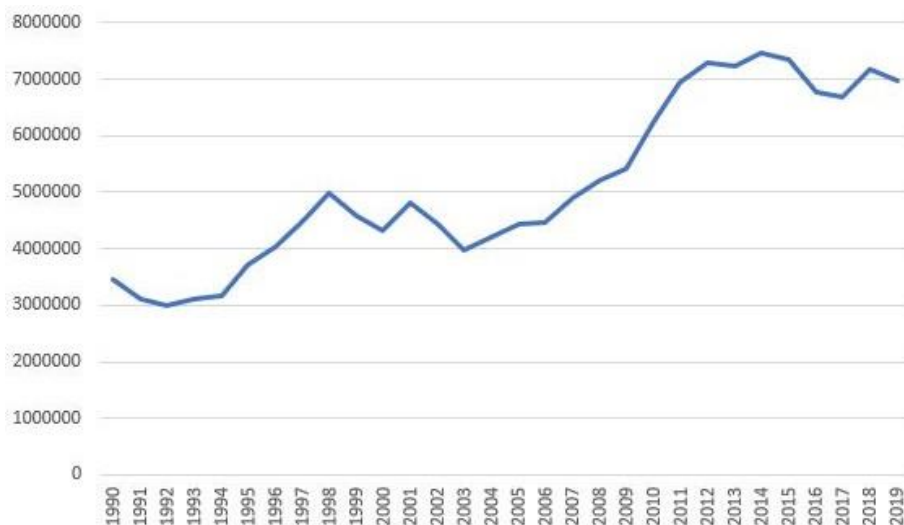
QAV, mais conhecido como JET A-1 ou querosene de aviação, é um combustível derivado do petróleo e é utilizado em aeronaves a jato. Possui características lubrificantes, baixo ponto de congelamento e baixa volatilidade (ANP, 2019).

Em relação ao Avgas, o JET A possui massa em torno de 8,8% superior, porém é capaz de fornecer 13% mais poder calorífico. Outra vantagem do JET A é ser menos explosivo e possuir elevado ponto de ignição em relação ao Avgas (WILSON, 2016).

No Brasil também é comercializado o QAV alternativo. Combustível similar ao QAV comum, porém obtido de fontes alternativas, visando reduzir o impacto ambiental. Conforme a Resolução N^o 778, de 5 de abril de 2019, sua utilização ainda é restrita à condição de ser misturado com o JET A-1 na proporção de 50% do volume total e pode ser encontrado sob o nome QAV-C (ANP, 2019).

De acordo com o Gráfico 2, o QAV teve um considerável aumento no volume de vendas nas últimas décadas, ultrapassando o volume anual de 7 milhões de m³ em algumas ocasiões (ANP, 2019).

Gráfico 2 - Venda de QAV (m³) entre os anos de 1990 e 2019 no Brasil.



Fonte: Dos autores, adaptado de ANP, 2019.

2.2.3 Etanol

Diferente dos combustíveis anteriores que são extraídos de fonte fóssil (petróleo), o etanol é obtido via fermentação de açúcares e é considerado um biocombustível. Este combustível é utilizado em motores de ciclo Otto, normalmente como uma alternativa à gasolina (ANP, 2020).

O etanol surgiu na aviação nos EUA nos anos 90 como uma alternativa menos poluente que o Avgas comum. Nesta época, a FAA emitiu o primeiro certificado para o uso de combustível 100% etanol para aeronaves Cessna 152, a aeronave de treinamento mais popular existente. Entre as vantagens estavam menores emissões de poluentes, menos vibrações e maior tempo entre revisões (TBO). Por outro lado, o motor precisava de uma quantidade maior de etanol para desenvolver a mesma potência que obtinha com Avgas, o que resultava em uma autonomia de voo consideravelmente menor (DECKER, 2007).

No ano de 2000 a empresa Piper obteve a certificação da aeronave PA-25 Pawnee movida a 100% de etanol e não demorou para que o mercado brasileiro começasse a utilizá-la, devido à alta disponibilidade e o baixo preço do etanol no país. Quatro anos depois, foi a vez da Embraer iniciar a produção de aeronaves Ipanema 202A com motor de 320hp a etanol. Esta aeronave (Figura 2) é capaz de reduzir o custo operacional em valores superiores a 35% em

comparação com aeronaves convencionais a Avgas, tornando a operação mais sustentável (DUPIM, 2020).

Figura 2 - Aeronave Embraer Ipanema a etanol.



Autor: Silva, 2016.

Conforme IS nº 137.201-001 Revisão C da ANAC (2020):

O baixo preço do etanol frente à gasolina de aviação aliado à tecnologia já disponível na indústria automotiva despertou o interesse de operadores de aviões equipados com motores aeronáuticos convencionais, notadamente dos prestadores de serviço da aviação agrícola, quanto ao uso desse combustível.

Diante disso, a ANAC emitiu uma resolução que permite aos proprietários de aviões agrícolas fazerem a conversão de aeronaves a Avgas para o funcionamento a etanol, resultando em custos operacionais menores e ainda reduzindo a emissão de chumbo no ambiente (DUPIM, 2020).

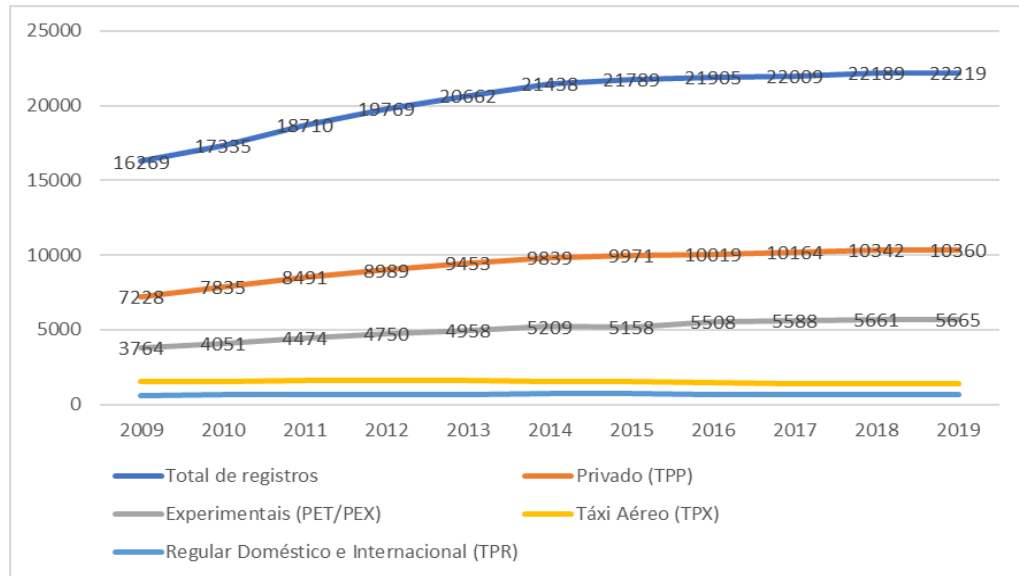
2.3 PANORAMA DA AVIAÇÃO NO BRASIL NA ÚLTIMA DÉCADA

2.3.1 Aeronaves Registradas no Brasil

Segundo dados da ANAC (2019), entre 2009 e 2019 houve o aumento de 36% no número total de aeronaves registradas no Brasil, passando de 16269 para 22219 registros. Deste número, aproximadamente 46% dos registros são de aeronaves classificadas como de uso privado e 25% como experimentais.

Conforme demonstrado no Gráfico 3, a seguir, pode-se notar que estas duas categorias obtiveram maior destaque neste crescimento e foram as únicas que não regrediram após 2015.

Gráfico 3 - Aeronaves registradas no RAB entre 2009 e 2019.

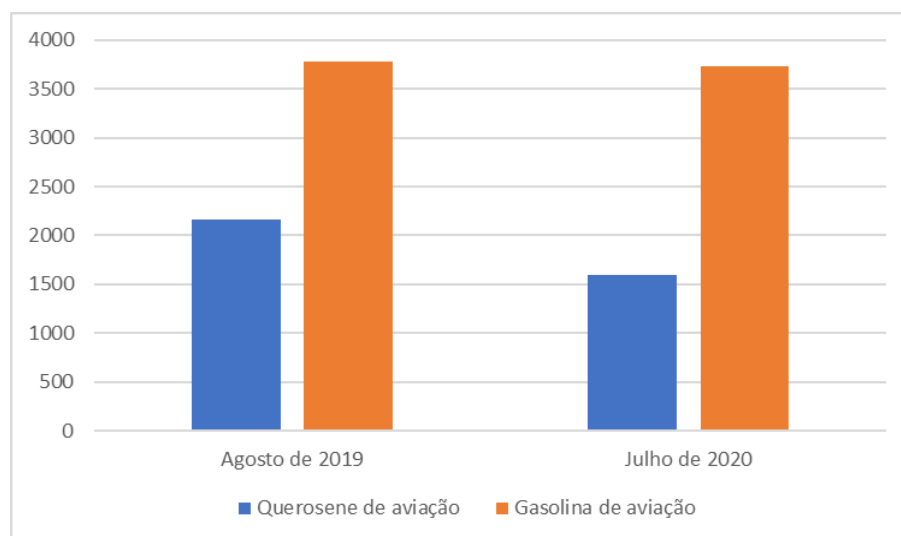


Fonte: Dos autores, adaptado de ANAC, 2019.

2.3.2 Custos dos Combustíveis

Um ponto importante a ser explorado é o custo de aquisição de combustíveis para a aviação que, segundo dados da Petrobrás (2020), entre agosto de 2019 e julho de 2020, como pode-se observar no Gráfico 4 (abaixo), houve a redução de 26% no valor do QAV na distribuidora, enquanto o preço do Avgas teve redução de apenas 1% no mesmo período.

Gráfico 4 - Média de preços de combustíveis para aviação (R\$/m³).



Fonte: Dos autores, adaptado de Petrobrás, 2020.

Além desta redução do custo sem tributos na distribuidora, o Governo Federal adotou ainda medidas para zerar impostos sobre o querosene de aviação a partir de 2021 como forma de incentivo ao setor da aviação comercial. Esta decisão reduzirá até R\$ 0,07 por litro de QAV (UBIRATAN, 2020).

2.4 DADOS DE AERONAVES DIAMOND DA40 A AVGAS E A QAV

A fabricante austríaca Diamond Aircraft Industries, conhecida por fabricar e comercializar aeronaves leves com motorização a QAV, oferece o modelo DA40 (Figura 3), monomotor com capacidade para 4 pessoas, com a opção de motorização a Avgas ou a QAV. Embora estas opções possuam algumas diferenças em sua construção como o comprimento das asas, altura da cauda e detalhes no trem de pouso, são uma boa fonte de comparação para a eficiência dos diferentes motores (POPE, 2018).

Figura 3 - Aeronave Diamond DA40 TDI em voo.



Autor: AirPilot_Photography, 2020.

No Quadro 1, abaixo, constam dados de performance encontrados nos manuais das aeronaves disponibilizados no site da fabricante Diamond Aircraft Industries. Pode-se notar que, em comparação com o modelo DA 40 XLT (equipado com motor convencional a Avgas), o DA40 NG (equipado com o

motor convencional a QAV) consome 20% menos combustível em condições de voo similares.

Quadro 1 - Comparativo entre aeronaves Diamond DA40 com motor a Avgas e a QAV.

Aeronave	DA 40 XLT	DA 40 NG
Motorização	Lycoming IO-360-M1A	Austro Engine AE300
Potência	180hp	168hp
Combustível (Brasil)	Avgas 100LL	JET A-1
Velocidade de Cruzeiro (75% potência / 6000ft)	137kt	129kt
Consumo (75% potência / 6000ft)	31l/h	25l/h
Peso vazio	792kg	900kg

Fonte: Dos autores, adaptado de Diamond Aircraft Industries GMBH (2004) e Diamond Aircraft Industries GMBH (2014).

Apesar de motores convencionais a QAV terem maior massa que motores a Avgas por utilizarem um sistema de combustível mais complexo e serem sempre superalimentados (possuem turbocharger), a diferença no consumo torna possível decolar com menos combustível nos tanques, resultando em pesos de decolagem similares para ambas as motorizações. Ou seja, devido à necessidade de sistemas mais avançados, o gasto de produção do motor convencional a QAV e, conseqüentemente, o custo de aquisição são presumivelmente maiores em relação aos motores a Avgas, porém seu custo operacional é menor (WILSON, 2016).

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos dados coletados, passou-se a fazer um comparativo entre o consumo das aeronaves dos dois modelos, de forma que este consumo constatado demonstrou proporcionar até 65% de diferença em relação ao custo dos combustíveis por hora de voo, conforme exemplificado a seguir.

Com base nos dados expostos no Quadro 2, abaixo, utilizando apenas os custos dos combustíveis sem tributos fornecidos pela Petrobrás (2020) e o consumo por hora de voo em regime de cruzeiro, fornecidos pelos manuais das

aeronaves, chega-se ao valor de R\$ 39,90/h em JET A-1 para o DA40 NG, enquanto o DA40 XLT custaria o equivalente a R\$ 115,90/h em Avgas nas mesmas condições de voo.

Quadro 2 - Comparativo de custo de combustível por hora de voo das aeronaves DA 40 XLT e DA 40 NG.

Aeronave	DA 40 XLT	DA 40 NG
Consumo horário em litros	31	25
Combustível utilizado	Avgas 100LL	JET A-1
Preço do litro de combustível sem tributos	3,73876	1,59626
Custo de combustível (R\$) por hora de voo	115,90	39,90

Fonte: Dos autores adaptado de Diamond Aircraft Industries GMBH (2004), Diamond Aircraft Industries GMBH (2014) e Petrobrás (2020).

Esta notável diferença é resultado do menor custo por litro de combustível e da maior eficiência da motorização convencional a QAV sobre a motorização a Avgas. Estes dois fatores tornam a opção a QAV bastante interessante aos operadores de aeronaves, uma vez que se mostram tão confiáveis e seguros quanto aos motores convencionais a Avgas e, observando as Tabelas 1 e 2, é possível notar que as vendas de Avgas vem caindo nas últimas décadas enquanto as vendas de QAV indicam o oposto. Estes dados, em conjunto com os dados de crescimento do setor de aviação privada (TPP) demonstrados no Gráfico 3, indicam a diminuição nas operações de aeronaves a Avgas e o aumento de aeronaves a QAV, possivelmente devido ao alto custo de aquisição que o combustível Avgas alcançou.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou analisar os possíveis benefícios da utilização de motores convencionais a QAV em alternativa aos motores convencionais a Avgas em aeronaves leves, vindo a atingir os seguintes objetivos específicos: Descreveu o funcionamento de motores de ciclo Otto e ciclo Diesel e características desejáveis; identificou os combustíveis atualmente homologados

no país; comparou o desempenho e custos operacionais, com foco no consumo, de aeronaves da empresa Diamond, modelo DA40, que utilizam motores convencionais a Avgas e a QAV.

Conforme demonstrado, o Avgas é um dos combustíveis homologados para a aviação no Brasil e é facilmente encontrado em território nacional, porém há a incógnita de ter um alto valor de aquisição, problema similar ao que ocorre em algumas partes da Europa, e ainda o fato de conter em sua fórmula o chumbo tetraetila, produto químico associado a diversos problemas de saúde e que tem sido um tema de várias discussões sobre a manutenção ou não de seu uso em combustíveis para a aviação. Estes fatores levaram o mercado a buscar alternativas menos poluentes e que fossem mais econômicas, resultando no desenvolvimento de motores a pistão para aviação movidos a etanol e a querosene.

No decorrer do estudo foram demonstradas vantagens de ambas alternativas e foi identificado que motores convencionais a etanol se mostram pouco eficientes no consumo em relação aos motores a Avgas e, embora tenha alta disponibilidade deste combustível no país e seja menos poluente, sua homologação é restrita ao setor agrícola, fato este que direcionou o foco deste estudo aos motores convencionais a querosene que já são utilizados há décadas e demonstram grandes vantagens em relação aos motores convencionais a Avgas.

De acordo com o material pesquisado, motores aeronáuticos devem ter equilíbrio (baixa vibração), baixo consumo de combustível, confiabilidade e leveza. Motores de ciclo Otto tem como principal característica a necessidade de utilizarem uma centelha para iniciar a combustão enquanto que motores de ciclo Diesel utilizam somente a alta taxa de compressão e, em razão disto, necessitam de maior tecnologia e mais matéria em sua construção, tornando-os mais pesados em relação aos motores convencionais de ciclo Otto, porém esta desvantagem é compensada pela menor quantidade de combustível requerida para o voo, visto que o consumo de motores convencionais a QAV é significativamente menor em comparação aos motores a Avgas.

Considerando que o número de aeronaves registradas para uso privado (TPP) está em constante crescimento desde 2015 e o Avgas possui, além do alto valor de aquisição, uma formulação altamente prejudicial à saúde e ao meio ambiente devido à adição de chumbo tetraetila, pode-se esperar que o mercado de aeronaves leves para uso privado tenha boa aceitação de aeronaves com motorização convencional a QAV, visto que este combustível possui alta distribuição pelo país e é comercializado por preços bem inferiores que o Avgas, tornando a operação muito mais econômica e ainda ocasionando uma singela redução na emissão de poluentes na atmosfera, enquanto outras tecnologias mais sustentáveis como aeronaves elétricas ou a etanol não tornarem-se realidade para a aviação geral no país.

Desta forma, os possíveis benefícios da utilização de motores convencionais a QAV em alternativa aos motores convencionais a Avgas em aeronaves leves foram demonstrados e analisados, vindo a atingir o objetivo geral deste estudo.

REFERÊNCIAS

AIRPILOT_PHOTOGRAPHY, **Diamond DA-40D Diamond Star**. 2020. Disponível em: <https://www.jetphotos.com/photo/9806326>. Acesso em: 13 ago. 2020.

AIRWAY, **Otto Lilienthal, o homem que ousou voar no século 19**. 2017. Disponível em: https://www.airway.com.br/otto-lilienthal-o-homem-que-ousou-voar-no-seculo-19/lilienthal_1/. Acesso em: 13 ago. 2020.

ARAÚJO, Daniel. **Motores a pistão aeronáuticos, um panorama**. 2018. Disponível em: <https://www.autoentusiastas.com.br/2014/08/motores-a-pistao-aeronauticos-um-panorama/>. Acesso em: 05 ago. 2020.

BRASIL. ANAC. **Aeronaves**. 2019. Superintendência de Aeronavegabilidade (SAR). Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/aeronaves>. Acesso em: 27 ago. 2020.

BRASIL. ANAC. **IS Nº 137.201-001 Revisão C**. 2020. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-137-201-001-1>. Acesso em: 31 ago. 2020.

BRASIL. ANP. **Combustíveis de aviação**. 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1856-combustiveis-de-aviacao>. Acesso em: 05 ago. 2020.

BRASIL. ANP. **Etanol**. 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/etanol>. Acesso em: 05 ago. 2020.

BRASIL. ANP. **RANP 778 - 2019**. 2019. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2019/abril&item=rانp-778-2019>. Acesso em: 28 jul. 2020.

BRASIL. ANP. **Vendas Gasolina de Aviação (metros cúbicos) 1990-2019**. 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/dadosabertos/vendas-gasolina-aviacao-m3-1990-2019.csv>. Acesso em: 27 jul. 2020.

BRASIL. ANP. **Vendas Querosene de Aviação (metros cúbicos) 1990-2019**. 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/dadosabertos/vendas-querosene-aviacao-m3-1990-2019.csv>. Acesso em: 27 jul. 2020.

BRASIL. PETROBRÁS. **Outros produtos**, Combustíveis de Aviação. 2020. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/precos-de-vendas-as-distribuidoras/outros-produtos/>. Acesso em: 27 jul. 2020.

DECKER, Jeffrey. **Corn to run: can ethanol be used as a clean alternative?**. 2007. Disponível em: <https://www.flightglobal.com/corn-to-run-can-ethanol-be-used-as-a-clean-alternative/71449.article>. Acesso em: 27 jul. 2020.

DIAMOND AIRCRAFT INDUSTRIES GMBH. **Airplane flight manual**, DA 40 NG. Wiener Neustadt. 2014. 326 p. Disponível em: http://support.diamond-air.at/da40_ng_afm_bas+M52087573ab0.html. Acesso em: 27 jul. 2020.

DIAMOND AIRCRAFT INDUSTRIES GMBH. **Airplane flight manual**, DA 40. Wiener Neustadt. 2004. 304 p. Disponível em: http://support.diamond-air.at/da40-180_afm_bas+M52087573ab0.html. Acesso em: 27 jul. 2020.

DUPIM, Tiago. **Um voo do etanol à eletricidade**. 2020. Disponível em: <http://plantproject.com.br/novo/2020/03/um-voo-do-etanol-eletricidade/>. Acesso em: 05 ago. 2020.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. FAA. **Fact Sheet: leaded aviation fuel and the environment**. 2019. Disponível em: https://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story.cfm?newsId=14754. Acesso em: 28 de Jul. 2020.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

HOMA, Jorge M.. **AERONAVES E MOTORES**: conhecimentos técnicos. 35. ed. São Paulo: Asa, 2015. 189 p.

KNECHTEL, Maria do Rosário. **Metodologia da pesquisa em educação**: uma abordagem teórico-prática dialogada. Curitiba: Intersaberes, 2014.

MARK, Rob. **Inside the Diesel Revolution**: Piston diesels are coming to America, but will they ever catch on?. 2018. Disponível em: <https://www.flyingmag.com/inside-aviation-diesel-revolution/>. Acesso em: 11 ago. 2020.

PEDROSA, Mariana. **Otto Lilienthal, o homem que ousou voar no século 19**. 2017. Disponível em: <https://www.airway.com.br/otto-lilienthal-o-homem-que-ousou-voar-no-seculo-19/>. Acesso em: 28 jul. 2020.

POPE, Stephen. **What It's Like to Fly the Diamond DA40 NG**. 2018. Disponível em: <https://www.flyingmag.com/we-fly-diamond-da40-ng/>. Acesso em: 11 ago. 2020.

SILVA, Charin de. **Embraer EMB-203 Ipanema**. 2016. Disponível em: <https://www.airliners.net/photo/Untitled/Embraer-EMB-203-Ipanema/2789972>. Acesso em: 31 ago. 2020.

UBIRATAN, Edmundo. **Bolsonaro quer zerar PIS/Cofins sobre o combustível de aviação**. 2020. Disponível em: https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/bolsonaro-quer-zerar-incidencia-de-pis-cofins-sobre-o-querosene-de-aviacao_4994.html. Acesso em: 05 ago. 2020.

VARELLA, Carlos Alberto Alves; SANTOS, Gilmar de Souza. **Noções básicas de motores diesel**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/No%20E7%F5es%20B%E1sicas%20de%20Motores%20Diesel.pdf. Acesso em: 05 ago. 2020.

WILSON, Tom. **Engine Theory: Diesel Engines**, The details of burning Jet A. 2016. Disponível em: <https://www.kitplanes.com/engine-theory-diesel-engines/>. Acesso em: 31 ago. 2020.