

**UTILIZAÇÃO DO ETANOL HIDRATADO DE PRIMEIRA
E SEGUNDA GERAÇÃO PELAS AERONAVES T-25 DA
ACADEMIA DA FORÇA AÉREA**

**USE OF FIRST AND SECOND-GENERATION HYDRATED
ETHANOL IN T-25 AIRCRAFT BY BRAZILIAN AIR FORCE
ACADEMY**

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13059/RACEF.V14I3.1066](http://dx.doi.org/10.13059/RACEF.V14I3.1066)

Matheus Nazário da Silva Costa
matheusnazariosc@gmail.com
Força Aérea Brasileira

Luiz Gustavo Antonio de Souza
luizgustavoeco@gmail.com
Universidade Federal Fluminense

Camila Bezerra Calherani Cavalcante
camila.cavalcante2204@gmail.com
Academia da Força Aérea

Data de envio do artigo: 13 de Janeiro de 2023.

Data de aceite: 02 de Agosto de 2023.

Resumo: Um dos grandes desafios da humanidade é conciliar a preservação do meio ambiente com a utilização de combustíveis para a movimentação de veículos, máquinas, aeronaves e outros. Nesse contexto, os combustíveis fósseis com fontes não renováveis estão sendo substituídos por fontes alternativas de combustível (biocombustíveis) que reduzem a agressão ao meio ambiente e dão mais segurança quanto à renovação dos estoques e capacidade de produção. Este artigo busca responder se há viabilidade no uso do etanol de primeira e segunda geração nas aeronaves de instrução da Academia da Força Aérea. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo compreender a utilização do etanol hidratado pelas aeronaves T-25 Universal que são utilizadas na instrução e formação de pilotos e oficiais no Segundo Esquadrão de Instrução Aérea da AFA. Para isso, realizou-se uma abordagem exploratória a partir de bibliografias e documentos acerca de combustíveis que são utilizados atualmente, fontes alternativas, desde a produção até a conversão das aeronaves. Além disso, foi realizada uma análise quantitativa dos dados relacionados com os gastos com combustível nos últimos três anos de voo, comparando os valores encontrados com a utilização de ambos os combustíveis estudados. A partir dos resultados verifica-se que além de trazer maior sustentabilidade na utilização das aeronaves há ganhos econômicos na substituição do combustível.

Palavras-chave: Renovável; Biocombustível; Fóssil; Substituição.

Abstract: *One of humanity's great challenges is to reconcile the preservation of the environment with the use of fuels to move vehicles, machines, aircraft and others. In this context, fossil fuels from non-renewable sources are being replaced by alternative fuel sources (biofuels) that reduce damage to the environment and provide more security regarding the renewal of stocks and production capacity. This article seeks to answer whether it is feasible to use first and second-generation ethanol in Brazilian Air Force*

Academy training aircraft. In this context, this work aims to understand the use of hydrated ethanol by the T-25 Universal aircraft that are used in the instruction and training of pilots and officers in the Second Air Instruction Squadron of the AFA. For this, an exploratory approach was carried out from bibliographies and documents about fuels that are currently used, alternative sources, from production to aircraft conversion. In addition, a quantitative analysis of data related to fuel costs in the last three years of flight was carried out, comparing the values found with the use of both studied fuels. From the results, it appears that in addition to bringing greater sustainability in the use of aircraft, there are economic gains in the replacement of fuel.

Keywords: *Renewable. Biofuels. Fossil. Replacement.*

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, um dos maiores desafios da humanidade no campo das energias utilizadas para a movimentação e funcionamento de veículos e máquinas é conciliar a eficiência com as questões de preservação ambiental. Essa preocupação levou os mais diversos campos de pesquisas a se concentrarem na substituição dos combustíveis fósseis utilizados, que prejudicam e poluem o meio ambiente, por fontes alternativas que reduzem a agressão à natureza e dão mais segurança quanto à renovação dos estoques e capacidade de produção.

Paralelo a isso, a crise mundial do Petróleo que aconteceu em 1973, provocada pelas ações dos países membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), levou o Brasil a um grande investimento na produção de biocombustíveis provindos da cana-de-açúcar, biomassa florestal e resíduos agropecuários (LEITE; CORTEZ, 2018). Nesse contexto, em 1975, foi criado o Programa Nacional do Álcool (PRÓ-ÁLCOOL) com o objetivo de reduzir o uso da gasolina, desenvolvendo de maneira significativa a indústria alcooleira do Brasil (COSTA, 2011).

Os motores a pistão com ignição por centelha utilizam em geral o ciclo Otto. Tais

aparelhos transformam energia química em energia térmica através da combustão e, em seguida, transformam essa energia térmica em energia mecânica através de processos termodinâmicos. Para que ocorra tal transformação é necessária uma fonte de combustível, que nesse caso é a gasolina de aviação, obtida a partir da destilação do petróleo, uma fonte de energia não renovável e que agride o meio ambiente quando utilizada.

Os combustíveis utilizados pela Força Aérea Brasileira são majoritariamente provindos de fontes não renováveis de combustível. Na Academia da Força Aérea (Unidade Escola do Comando da Aeronáutica), no Segundo Esquadrão de Instrução Aérea (Esquadrão responsável pela primeira parte da formação dos Pilotos Militares da Força Aérea), são utilizadas aeronaves do modelo T-25 UNIVERSAL¹.

A preocupação com o ambiente e com a escassez das energias não renováveis, aliada a alta de preços do petróleo e a tendência da extinção da gasolina de aviação (COSTA, 2011), as fontes de energias alternativas vêm para minimizar os diversos problemas apresentados pelas fontes já utilizadas. Além disso, a dependência por fontes de energia não renováveis com possibilidade de esgotamento e com grandes oscilações de preços, como é o caso do petróleo, coloca o país em vulnerabilidade e diminui a segurança estratégica.

No contexto brasileiro, um possível candidato para a substituição da gasolina de aviação é o etanol hidratado², combustível

produzido a partir da cana-de-açúcar, e fonte de energia renovável, e não obstante, o etanol hidratado de segunda geração, tendo em vista que o Brasil apresenta um grande potencial no setor sucroalcooleiro (COSTA, 2011). O etanol de segunda geração é um combustível obtido a partir do bagaço gerado na produção do etanol de primeira geração. Esse processo acontece de maneira que todo o bagaço de cana-de-açúcar gerado após a produção do etanol pode ser reutilizado através de um processo de hidrólise para a produção de mais etanol (SOUZA, 2013). Este artigo buscar responder se há viabilidade no uso do etanol hidratado de primeira e segunda geração nas aeronaves de instrução da AFA.

Portanto, esse trabalho tem o objetivo analisar a viabilidade da utilização do etanol de primeira e segunda geração pelas aeronaves que são utilizadas para instrução na AFA, levando em consideração as vantagens e desvantagens da utilização do etanol como combustível para o T-25 UNIVERSAL e realizando um estudo comparativo entre as características do etanol de primeira geração e o de segunda geração.

O procedimento metodológico tem caráter exploratório com base em análise bibliográfica e documental a partir de estudos já realizados sobre o desempenho do motor da aeronave e do combustível em questão. Também foi realizada uma análise dos dados coletados para realizar a comparação do uso dos combustíveis.

Este artigo está dividido em cinco seções incluindo esta introdução. Na segunda seção é apresentada uma breve revisão de literatura acerca da viabilidade de conversão das aeronaves T-25 Universal para uso de etanol. Na terceira seção são apresentados os materiais e métodos utilizados. Na quarta seção é realizada a análise dos resultados e finaliza-se com as considerações finais.

2 VIABILIDADE DE CONVERSÃO DA FROTA DE T-25 UNIVERSAL PARA O USO DO ETANOL DE PRIMEIRA E DE SEGUNDA GERAÇÕES

2.1 Gasolina versus etanol

¹ Aeronaves de treinamento, com capacidade para dois ocupantes lado a lado, monomotor, com asa baixa, com a estrutura e revestimentos metálicos. Motor Lycoming de modelo IO-540-K1D5 com potência de 300 HP no nível do mar usando gasolina de aviação com grau de octanagem 100 a 130, é de injeção direta e possui seis cilindros opostos horizontalmente. ² O etanol hidratado é o etanol comum vendido nos postos, enquanto o etanol anidro é aquele misturado à gasolina em percentual determinado pela Agência Nacional do Petróleo - ANP. A diferença entre os dois diz respeito à quantidade de água presente em cada um deles. O etanol hidratado combustível possui em sua composição entre 95,1% e 96% de etanol e o restante de água, enquanto o etanol anidro (também chamado de etanol puro ou etanol absoluto) possui pelo menos 99,6% de graduação alcoólica (NOVACANA, 2023).

O motor utilizado pela aeronave T-25 Universal é um motor Lycoming de modelo IO-540-K1D5. O funcionamento desse motor acontece através do ciclo Otto com a utilização da gasolina de aviação de 100 a 130 octanas, que é um combustível fóssil obtido através da destilação do petróleo. Como todos os tipos de gasolina, a gasolina de aviação em sua forma mais natural possui um ponto de fulgor baixo e é muito inflamável quando está nas temperaturas normais de operação, sendo necessário a adição de produtos químicos para que ela possa ser utilizada como combustível aeronáutico (PANTAROTO, 2007).

Porém, a gasolina de aviação tem sido produzida cada vez em menores quantidades, utilizando componentes com preços elevados e bastante agressivos ao meio ambiente, sem nenhuma perspectiva de investimentos (COSTA, 2011). Um exemplo de produto ainda misturado na gasolina de aviação (AVGAS³), para que ela possua as características necessárias para operação em aviões com motor à pistão é o chumbo tetraetila. Segundo a Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico FISPQ, GAV-100/130 da BR distribuidora, a concentração dessa substância é de 0,56 % (PETROBRAS, 2019). Além disso, devido à toxicidade desse composto, a sua utilização foi proibida na gasolina comum do Brasil (PANTAROTO, 2007).

A principal desvantagem da gasolina de aviação é o impacto ambiental. Na queima de combustíveis fósseis, ocorre a liberação de substâncias nocivas tanto à vida vegetal quanto à vida dos animais e à vida humana. Dentre os produtos gerados pela combustão, os mais prejudiciais são o monóxido de carbono (CO), principal responsável pelo agravamento do Efeito Estufa e Aquecimento Global, devido a sua capacidade de reter o calor refletido do Sol na Atmosfera, os óxidos nitrosos (NOx), principais causadores da chuva ácida e o anidrido sulfuroso (NO₂) (MARTINELLI JR, 2008).

³ A Gasolina de Aviação (GAV ou AVGAS) é o combustível utilizado predominantemente em aviões de pequeno porte, equipados com motor a pistão de combustão interna, com ignição por centelha para movimentação de sua hélice (PETROBRAS, 2023).

Entretanto, com a utilização de combustíveis como o etanol hidratado, os impactos ambientais são reduzidos significativamente uma vez que, o dióxido de carbono produzido na queima diminui e é igual ao utilizado pelas plantas para a fotossíntese, sendo absorvido nesse processo, produzindo o ciclo de carbono nulo ou negativo, diminuindo a contribuição para o aumento do efeito estufa. Ademais, o Etanol produz menos monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC), possui em sua composição 35% de oxigênio e possui maior octanagem, permitindo uma maior taxa de compressão e, por consequência, mais combustível pode ser injetado na câmara, aumentando a potência de saída (SOMAVILA e GOMES NETO, 2003, PONTOPPIDAN et al., 2006).

Uma desvantagem do etanol é que esse tipo de combustível é cerca de 10% mais pesado que a gasolina e possui menor densidade energética. Porém, o aumento do consumo de combustível para manter a potência não é proporcional a esses dois fatores, pois o etanol possui maior potência de saída do que a gasolina. Isso é explicado pelo fato de que a potência de um motor é proporcional à quantidade de oxigênio que entra no cilindro e o etanol permite que entre mais ar durante a queima. Isso acontece devido a dois fatores: o etanol possui moléculas de oxigênio em sua composição e consegue retirar o dobro da quantidade de calor do ar quando comparado à gasolina. Ademais, a queima acontece de maneira mais lenta no interior do cilindro, aumentando o tempo de atuação da pressão da combustão (COSTA, 2011).

Por fim, o etanol possui preço inferior ao da gasolina em geral (COSTA, 2011). Isso pode ser verificado nas séries históricas semanais lançadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em que esse órgão realiza uma pesquisa semanal dos preços pagos pelos consumidores finais. Outrossim, o etanol pode ser produzido a partir de diversas fontes naturais e renováveis, o que representa independência financeira, política e econômica, trazendo mais segurança ao país.

2.2 Etanol hidratado na aviação

No campo da aviação, em 1981 o atual Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) iniciou as pesquisas para o emprego do etanol hidratado na aviação. Após aprimoramentos do estudo, tornou-se possível a utilização desse combustível a partir de modificações feitas nos motores originalmente produzidos para funcionarem com a Gasolina de Aviação. Assim, o primeiro voo realizado por uma aeronave convertida para a utilização do Etanol ocorreu em 11 de dezembro de 1985, com a aeronave T-25 UNIVERSAL (SANTOS, PAVAN, 2006).

Em 2004, foi certificado pelo DCTA o primeiro avião com motor movido a etanol do mundo. Essa é a aeronave agrícola Ipanema, que compõem a maior parte das aeronaves agrícolas do país (DEFESANET, 2004). Esse avião foi produzido pela Indústria Aeronáutica Neiva que é subordinada à Empresa Brasileira de Aeronáutica (Embraer), o que mostra que o país também é precursor na utilização do etanol hidratado como combustível de aviação.

Nesse contexto, para que ocorra a troca do combustível utilizado por um avião, é necessário levar em consideração diversos fatores, uma vez que, após as adaptações e trocas feitas, o motor precisa atender às especificações determinadas na criação e montagem da aeronave e funcionar perfeitamente mesmo após as mudanças. No mesmo sentido, Silva et al (2020) ressaltam que a operacionalidade é a chance de um sistema atender o desempenho mínimo exigido durante um determinado período e, sob determinadas condições, estar disponível quando acionado aleatoriamente, além de poder ser realizada a manutenção em condições definidas através dos recursos e procedimentos disponíveis para tal.

Segundo Maluf (1987), após 520 horas de funcionamento do motor convertido para o uso do etanol, as peças estavam de acordo com as especificações do manual do motor, e o óleo lubrificante não apresentou nenhum indício de contaminação, provando a viabilidade da utilização do etanol em motores aeronáuticos.

O etanol hidratado possui octanagem maior que a AVGAS (COSTA, 2011). Essa característica permite ao motor trabalhar com maiores taxas de compressão dentro do cilindro, injetando mais combustível na câmara de compressão, aumentando a potência de saída e melhorando o rendimento do motor (PONTOPPIDAN et al., 2006). Segundo Zaghetti (2006), esse aumento da taxa de compressão causa um aumento na potência do motor em cerca de 5 a 10%. Além disso, o Etanol permite que o motor trabalhe em temperaturas mais baixas, o que colabora para a diminuição do desgaste e para maior preservação das peças do motor (ZAGHETTI, 2006), influenciando positivamente quanto a aspectos ligados à segurança e manutenção dos motores.

Para Costa (2011), a temperatura da cabeça do cilindro onde acontece a queima do combustível nos motores de combustão interna é um fator crítico para esse tipo de motor e, com a utilização do Etanol, a temperatura de operação é reduzida, colaborando para a redução do desgaste da cabeça do cilindro.

Além dos fatores técnicos da aeronave e do motor utilizado, é importante levar em consideração os fatores financeiros da troca do combustível. Oliveira (1990) ressalta que a economicidade está diretamente relacionada ao resultado final do projeto, isto é, se os recursos financeiros disponíveis serão utilizados da melhor maneira e serão gastos da maneira mais eficiente. Como já citado anteriormente, o Etanol possui menor densidade energética por possuir menor poder calorífico do que a Gasolina de Aviação, cerca de 40% a menos segundo Costa (2011), e é 10% mais pesado que a AVGAS. Porém, isso é compensado pela maior octanagem do etanol, que permite maior compressão dentro do cilindro e, conseqüentemente, maior injeção de combustível na câmara, oferecendo mais potência de saída. Ademais, o etanol possui oxigênio em sua formação, colaborando para o aumento da potência.

Na conversão do motor IO-540-K1D5, utilizado pelas aeronaves T-25 UNIVERSAL, para a utilização do etanol, a partir dos estudos realizados por Maluf (1987), concluiu-se que

o volume de combustível aumentaria de 30 a 35%, porém o custo financeiro de cada hora de voo seria reduzido devido ao preço do etanol hidratado ser inferior ao da gasolina.

Outra vantagem ligada a economicidade da utilização do etanol é o fato de que esse combustível pode ser obtido a partir de diversas fontes naturais. A cana de açúcar é a principal fonte, sendo que, além de oferecer o etanol de Primeira Geração, ela também pode ser utilizada para a obtenção do etanol de Segunda Geração. O Brasil é um dos maiores produtores dessa matéria prima no mundo (COSTA, 2011), o que representa independência com relação ao mercado internacional dos combustíveis fósseis e traz mais segurança financeira, econômica e política ao país.

Outro dado que traz de maneira positiva a economicidade do etanol como combustível é que os motores que utilizam esse combustível trabalham em temperaturas mais baixas, ajudando na conservação das peças do motor. Segundo Silveira (2016), o uso do Etanol pode expandir de 20% a 80% o ciclo entre revisões do motor, aumentando o tempo entre inspeções de 1,5 mil horas para até 2 mil horas.

Como já dito anteriormente, um dos maiores desafios da humanidade na atualidade é contra a poluição causada pelos mais diversos tipos de combustíveis fósseis que são utilizados. Nesse contexto, durante uma reunião da Convenção das Nações Unidas sobre mudança do clima - COP-21, realizada em Paris na França no dia 12 de dezembro de 2015, o Brasil aderiu às metas de reduzir a emissão dos gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 e, em seguida, reduzir a emissão desses mesmos gases em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. As metas assumidas nesta reunião são as seguintes:

Artigo 2º

1. Este Acordo, ao reforçar a implementação da Convenção, incluindo seu objetivo, visa fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima, no contexto do desenvolvimento sustentável e dos esforços de erradicação da pobreza, incluindo:

(a) Manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, e envidar esforços para limitar

esse aumento da temperatura a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e os impactos da mudança do clima;

(b) Aumentar a capacidade de adaptação aos impactos negativos da mudança do clima e promover a resiliência à mudança do clima e um desenvolvimento de baixa emissão de gases de efeito estufa, de uma maneira que não ameace a produção de alimentos; e

(c) Tornar os fluxos financeiros compatíveis com uma trajetória rumo a um desenvolvimento de baixa emissão de gases de efeito estufa e resiliente à mudança do clima. 2. Este Acordo será implementado de modo a refletir equidade e o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas as respectivas capacidades, à luz das diferentes circunstâncias nacionais (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU, 2015, p.25-26).

Assim, como consequência desta Convenção, o então presidente do Brasil à época, Michel Temer, assinou e encaminhou ao Secretário-Geral das Nações Unidas um documento cujo título era: “Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima”. Este documento ordenou o aumento da utilização de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, colaborando para a expansão do uso de biocombustíveis.

Costa (2011) considera que, com a utilização do etanol hidratado, menos poluentes são eliminados na atmosfera pelo motor, agredindo menos o meio ambiente do que quando a gasolina é utilizada. A eficiência ecológica é uma variável adimensional que junta, em um só coeficiente, os impactos ambientais gerados por um sistema, incluindo a composição e a origem do combustível. Nesse contexto, em seus experimentos, o autor concluiu que, com a utilização do Etanol, obtém-se um maior valor para a eficiência ecológica. Isso acontece devido ao fato de que, quanto maior a concentração de Etanol na mistura de combustível, menor é a emissão de monóxido de carbono - CO na atmosfera. Além disso, para a gasolina e para o etanol, os valores extremos de eficiência ecológica nas condições de decolagem, que representa o momento no qual a mistura que

queima dentro do motor, é a mais rica possível em termos da proporção de combustível, sendo respectivamente 85,75 % e 91,38%. Ainda nesse mesmo raciocínio, o autor também concluiu que se for considerado o ciclo de vida do carbono e com a instalação da injetora de etanol no motor, a eficiência ecológica vai para 98,34% com o uso de 100% de etanol hidratado como combustível. Ou seja, o etanol se mostra muito mais ecológico do que a gasolina, corroborando fortemente com as metas de redução da emissão de gases agravadores do efeito estufa e diminuindo significativamente os impactos ambientais.

Conforme Costa (2011) e Somavila e Gomes Neto (2003), na queima de combustíveis fósseis como a gasolina, ocorre a liberação de dióxido de carbono - CO₂ proporcionalmente à quantidade de combustível queimada, aumentando o efeito estufa e, conseqüentemente, produzindo o ciclo de carbono positivo. Por outro lado, o dióxido de carbono produzido pela queima de combustíveis de origem vegetal como o etanol é absorvido pelas lavouras de cana de açúcar no processo de fotossíntese, produzindo o ciclo de carbono nulo ou até mesmo negativo, sem corroborar para o aumento do efeito estufa. Porém, para que aconteça o ciclo nulo ou negativo, é necessário que toda a cadeia produtiva do etanol seja amparada por máquinas e sistemas que utilizem combustíveis provindos de fontes vegetais. Ademais, um problema ecológico apresentado na produção do etanol é a utilização de água.

De acordo com Silva, Faria, Mendes e Theodoro (2020), são utilizados cerca de 11 litros de água para cada litro de etanol hidratado produzido. Porém, segundo o autor, se forem adotados métodos de reaproveitamento e reutilização nas usinas, o consumo de água pode diminuir para de 3,6 L até 3 L de água por litro de etanol.

2.3 Utilização de etanol nas aeronaves T-25 UNIVERSAL da Academia da Força Aérea

Quando se trata da conversão do combustível utilizado por uma aeronave, significa um desafio para os responsáveis, já que esse tipo de processo exige a certificação

dos órgãos que irão avaliar se o avião manteve a aeronavegabilidade que já apresentava antes da conversão. Porém, na conversão dos motores para a utilização de etanol, os órgãos de pesquisa brasileiros se mostram precursores. Prova disso é o projeto “Motor Aeronáutico a Etanol”, que foi pensado pelo atual DCTA na década de 1980. Esse trabalho teve a participação da empresa Lycoming, fabricante do motor IO-540-K1D5, do Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI) do DCTA e utilizou a aeronave T-25 UNIVERSAL da Força Aérea Brasileira, utilizada para o treinamento dos Cadetes Aviadores na Academia da Força Aérea. Esse trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a conversão dos motores para o uso do etanol tendo em vista as variações do preço do petróleo e seus derivados no mercado mundial e as conseqüências ambientais (MALUF, 1987).

Segundo Silva, Faria, Mendes e Theodoro (2020), inicialmente, o estudo realizado para a conversão do motor para o etanol levou em consideração apenas os sistemas do avião que tinham contato com o combustível, que são: tanque de combustível, linhas de transmissão do combustível e motores. Para esses estudos iniciais foi feita uma simples modificação no motor, que foi mudar a calibração do servo injetor, que era a conversão mais econômica que poderia ser feita. Porém, embora os resultados tenham sido bastante convincentes, notou-se que, com a utilização contínua de etanol hidratado em um motor projetado para outro combustível, este apresentou corrosão. Então, foram realizados testes de vibração torcional, detonação e durabilidade, seguindo os requisitos FAR 33 (FEDERAL AVIATION REGULATION), do órgão certificador americano, FAA (FEDERAL AVIATION AUTHORITY). Contudo, o projeto Motor Aeronáutico a Etanol foi interrompido em 1989 por falta de recursos financeiros antes da realização dos ensaios práticos para a comparação entre o motor movido a etanol hidratado e o motor movido a gasolina em condições reais. Assim, as principais conclusões obtidas a partir do projeto foram:

- i) Nos ensaios de calibração em

dinamômetro, concluiu-se que o rendimento térmico e a potência do motor estavam dentro do previsto e foram maiores do que o da gasolina, embora o consumo tenha sido maior;

ii) O funcionamento do motor utilizando etanol mais hidratado não apresentou discrepâncias para misturas ricas e altas cargas, falhando apenas com cargas baixas e misturas pobres;

iii) Nos testes de durabilidade, não se observou desgaste fora do normal; e

iv) Foi realizado o primeiro voo da Aeronave T-25 UNIVERSAL com matrícula FAB 1904, utilizando Etanol como combustível.

O último resultado apresentado demonstrou de maneira bem clara a viabilidade técnica da conversão para o etanol desse tipo de aeronave.

O motor dos T-25 utilizados na Academia da Força Aérea é um motor convencional que opera através do ciclo Otto. Ele é composto por 6 cilindros dispostos horizontalmente, que operam através da gasolina de aviação. Para que ocorra a conversão desse motor para a utilização do etanol hidratado, é preciso que aconteça a troca do sistema de combustível da aeronave, desde as bombas de combustível até as canalizações, o sistema de injeção de combustível, os filtros, os anéis de vedação, os drenos, válvulas e o sistema de cabeamento. Além disso, é necessário adaptar o sistema de partida para um sistema de partida a frio, para auxiliar na partida quando a temperatura ambiente estiver baixa, pois o etanol se condensa quando está em temperaturas abaixo de 15°C, sendo necessário misturar uma quantidade de gasolina para que seja iniciada a queima do combustível. Ademais, também seriam realizadas mudanças no sistema de indicação, no sistema elétrico, inscrições técnicas da aeronave e no painel de instrumentos do avião (RODRIGUES, 2009).

2.4 Etanol de segunda geração

O Governo Brasileiro assumiu o compromisso de cumprir as metas propostas no Acordo de Paris. Tais metas são: (i) de reduzir

a emissão de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005 em 2030; (ii) de acordo com Vidal (2019, p. 5), participar com 45% de energias renováveis e 18% de biocombustíveis na matriz energética do país. Nesse contexto, dentre os biocombustíveis, os classificados como de “segunda geração” são aqueles que são produzidos a partir dos resíduos gerados em determinado processo, como o Etanol de Segunda Geração que é produzido a partir do bagaço da cana de açúcar utilizada na produção do Etanol (MURAKAMI; BOMBANA; AFFONSO, 2016). Portanto, somado à utilização do Etanol de Primeira Geração, o de segunda geração pode ser uma ferramenta favorável para o cumprimento das metas assumidas pelo Brasil e na busca por um combustível mais barato e menos agressivo ao meio ambiente. Outrossim, a utilização desse combustível pode ser vantajosa e traz segurança devido a elevação demasiada dos preços dos combustíveis fósseis, bem como a possibilidade de escassez desses mesmos combustíveis (MURAKAMI; BOMBANA; AFFONSO, 2016).

2.4.1 Processo produtivo do etanol de segunda geração

Segundo Novacana (2006), durante o processo de transformação da cana de açúcar na produção do Etanol, após a trituração são gerados dois produtos. Aproximadamente 70% do produto original se transforma em melaço (que é usado para continuar o processo), e os outros 30% se transformam em bagaço e palha de cana de açúcar. A produção do Etanol de Segunda Geração, de maneira simplificada, corresponde à quebra (de maneira física ou química) desse material lignocelulósico que sobra para obter celulose e sacarose, para então produzir mais etanol (SOUZA, 2013).

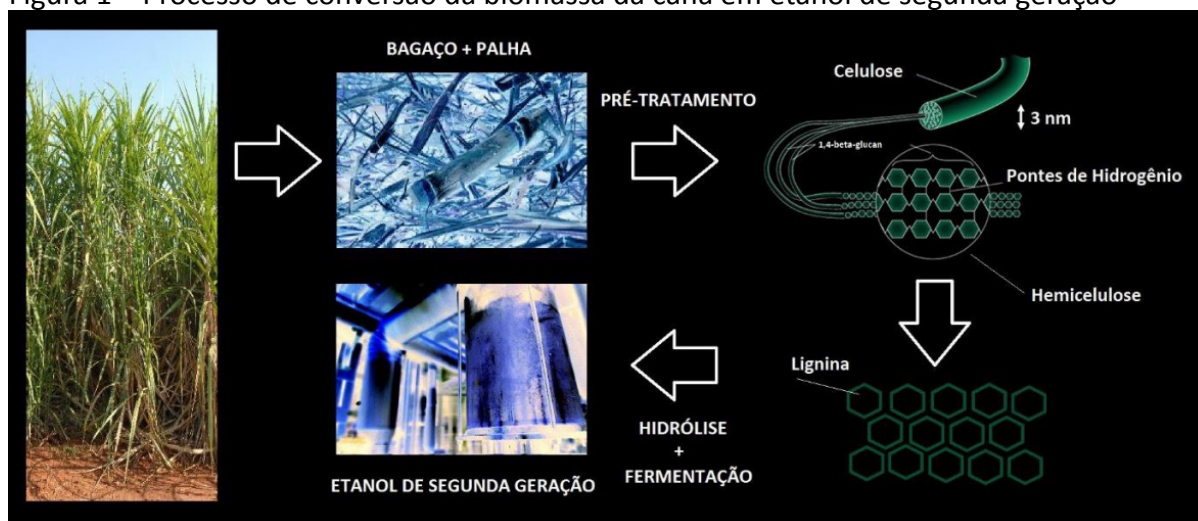
O processo pelo qual o material tem que passar para se tornar possível a reutilização demanda diversas etapas e tratamentos. Antes do pré-tratamento, é necessário que todo material orgânico inerte, como terra, areia e outras partículas estranhas sejam retirados, e o bagaço seja organizado em partes de tamanhos

menores para aumentar a área de contato (NOVA CANA, 2010). Como o bagaço não é homogêneo, no pré-tratamento ele passa por um processo de desestruturação das suas fibras (NOVA CANA, 2006). Nesse processo são gerados dois produtos, uma parte sólida que é composta por celulose e lignina e uma parte líquida que é composta por hemicelulose e lignina (COSTA, 2008).

O pré-tratamento pode acontecer de duas maneiras diferentes. A primeira é a física, que consiste em reduzir o tamanho das partículas moendo ou peneirando, para aumentar a superfície de contato. A segunda maneira é através de produtos orgânicos ou inorgânicos que são misturados no bagaço e modificam a estrutura do mesmo, facilitando as próximas etapas do processo (MURAKAMI; BOMBANA; AFFONSO, 2016). O próximo passo da produção do etanol de segunda geração é a Hidrólise Enzimática, na qual ocorre a quebra do material lignocelulósico obtido do bagaço no pré-tratamento em açúcares menos complexos que são possíveis de realizar a fermentação (SOUZA, 2013). Em seguida, finaliza-se com a fermentação dos açúcares obtidos. Essa fermentação é realizada pelos produtores através da utilização intensiva de fungos que são utilizados na fermentação industrial. Porém, a eficiência da produção depende da característica do material que será utilizado. Nesse sentido, o bagaço e a palha da cana de açúcar são as matérias primas que oferecem mais vantagens para esse processo (SOUZA, 2013).

Souza (2013) apresenta de forma sintética o processo de conversão da biomassa da cana em etanol de segunda geração (ver Figura 1). Entretanto, como o próprio autor destaca, deve ser ressaltado que a obtenção do etanol ao final do processo de hidrólise enzimática não é do tipo matéria-prima específico, isto é, o processo pode envolver outras fontes a exemplo do milho que é uma opção mais vantajosa para Estados Unidos.

Figura 1 – Processo de conversão da biomassa da cana em etanol de segunda geração



Fonte: Souza (2013, p.67).

O etanol de segunda geração ainda apresenta diversos entraves que precisam ser solucionados para que sua produção e utilização se tornem viáveis, como, por exemplo, a restrição tecnológica e a pequena quantidade de indústrias produzindo esse tipo de combustível em escala comercial, o que pode tornar o preço muito caro para o consumidor. Porém, segundo Vidal (2019, p. 5), tendo em vista o contexto de elevação nos preços do petróleo e a crescente exigência quanto à sustentabilidade e ao meio ambiente, podemos listar algumas vantagens que o uso do etanol de segunda geração pode trazer:

- i) Menores custos de produção em relação às fontes já utilizadas, já que ocorre o reaproveitamento da matéria prima do Etanol de primeira geração;
- ii) Reaproveitamento de toda a estrutura que já existe para a produção do Etanol de primeira

geração;

iii) Oportunidade de, mesmo estando em períodos entressafras de cana, não parar a produção de Etanol; e

iv) Aumento da produção de Etanol no país, sem a necessidade de aumentar a produção de cana de açúcar.

Embora o etanol de segunda geração ainda não seja uma realidade comercial no país, de acordo com Souza (2013), essa tecnologia se tornará uma realidade nos anos seguintes, devido à necessidade de um produto que substitua o petróleo e seus derivados e pela capacidade e experiência brasileira no setor sucroenergético.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho busca investigar a viabilidade da utilização de etanol de primeira e segunda geração pelas aeronaves T-25 Universal voadas pelos futuros pilotos em formação na Academia da Força Aérea. Neste sentido caracteriza-se por ser um trabalho exploratório com base em análise bibliográfica e documental. Além disso, foi realizada uma análise quantitativa dos dados coletados, de maneira a analisar financeiramente a conversão, tomando por base a pesquisa de Silva, Faria, Mendes e Theodoro (2020), atualizando as informações para os dias atuais e adicionando mais dados à pesquisa.

3.1 Delineamento de pesquisa

A análise da viabilidade da conversão dos motores dos T-25 para o uso do etanol será realizada a partir das horas voadas pela frota nos anos de 2019, 2020 e 2021, tendo por base o mesmo tipo de pesquisa realizada por Silva, Faria, Mendes e Theodoro (2020). Assim, serão considerados os preços do litro da gasolina comprada pela AFA e o preço de mercado do etanol, bem como o valor da conversão de cada aeronave. Outrossim, será realizado uma análise comparativa entre as características do etanol de primeira e de segunda geração, além de explicitar as vantagens ambientais e ecológicas

dessa mudança.

3.2 Procedimentos específicos

Para realizar o levantamento econômico da utilização do etanol foram consultados dados retirados do Sistema Integrado de Logística, Materiais e Serviços (SILOMS), através da consulta ao Grupo Logístico (GLOG) da AFA, sobre quantas horas foram voadas nos anos de 2019, 2020 e 2021 nas instruções com a aeronave T-25 Universal.

O preço do litro da gasolina comprada pela AFA foi retirado do site interno do Centro Logístico da Aeronáutica (CLOG), considerando o valor divulgado do mês de maio de 2022. Já o preço do etanol hidratado, foi obtido através do site governamental da Agência Nacional do Petróleo (ANP) (BRASIL, 2022). Para isso, foi consultado um banco de dados com a série histórica do levantamento de preços dos combustíveis automotivos no site governamental da ANP, incluindo o etanol hidratado, considerado o valor máximo de revenda do estado de São Paulo no mês de abril de 2022, já que a AFA está localizada neste estado.

3.3 Análise de dados

Os dados das horas de voo dos anos de 2019, 2020 e 2021, extraídos do Sistema Integrado de Logística de Material e de Serviços (SILOMS), foram tabulados de maneira a realizar a análise para o uso do etanol na aeronave T-25 Universal. A partir dessa tabela, foi possível determinar a quantidade de litros de gasolina utilizados e estimar a quantidade de litros de etanol que seriam utilizados nesses mesmos anos se os motores já tivessem sido convertidos. Os valores de compra da gasolina e do etanol foram usados para comparar o custo das instruções realizadas nos anos de 2019, 2020 e 2021 com os dois tipos de combustíveis, fazendo uma subtração simples dos valores calculados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O uso dos combustíveis de origem vegetal apresenta diversos ganhos. Dentre eles, a principal vantagem no campo ecológico é a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera. A cana de açúcar utilizada na produção do etanol absorve todo ou até mais gás carbônico do que é eliminado na queima do combustível, provocando, assim, o ciclo nulo ou negativo do carbono (COSTA, 2011). Por outro lado, no uso dos combustíveis fósseis, isso não acontece, uma vez que o gás carbônico eliminado na atmosfera não é eliminado, agravando o efeito estufa e aumentando o aquecimento global (SOMAVILA; GOMES NETO, 2003).

Ademais, como já dito anteriormente, o Brasil é um país com bastante desenvolvimento na produção de cana de açúcar e, como consequência, na produção de etanol. Nesse sentido, a utilização desse combustível traz segurança política, econômica e financeira, já que quanto maior o consumo de etanol menor serão as importações dos combustíveis fósseis de outras nações, aumentando a independência brasileira. Para confirmar essa informação, Costa (2011) afirma que o Brasil é um dos maiores produtores de cana de açúcar do mundo, e o uso desse insumo representa independência econômica em relação ao mercado internacional de combustíveis fósseis.

Quanto ao processo de conversão dos motores para o uso do etanol, foi consultado o setor de vendas de aeronaves da Embraer em Botucatu-SP para saber o preço médio da conversão de uma aeronave. Tomando por base o motor IO-540 da série k (a mesma série do motor do T-25 Universal), a conversão de cada avião custaria, no mês de junho de 2022, um total de R\$ 380.00,00. Porém, esse custo seria reduzido apenas ao valor do material gasto na conversão, pelo fato de que a Força Aérea Brasileira já possui os seus próprios engenheiros, técnicos especialistas e o próprio órgão certificador das oficinas (IFI).

Em relação ao consumo do motor utilizando gasolina esse foi retirado do manual de operação do avião. De acordo com Costa (2011), com

a utilização do etanol, o consumo específico do motor aumentaria. Porém, para fins de instrução, isso não seria prejudicial, pois os voos são realizados dentro de uma área de instrução, e os abastecimentos entre um voo e outro compensariam o aumento na quantidade de combustível. Mesmo assim, deve ser ressaltado que no caso militar esse aspecto é importante uma vez que em situações de risco pode impactar na autonomia da aeronave, e, portanto, no sucesso ou insucesso da missão. Segundo Maluf (1987), esse incremento no consumo seria de cerca de 30%, ou seja, quando o motor fosse convertido para o etanol, o consumo específico seria 30% maior do que o motor à gasolina, em nível de cruzeiro. Tal valor tem relação direta ao observado em motores à combustão de ciclo Otto (ex. veículos automotores de passeio) no qual a eficiência do etano hidratado é de 70% da gasolina comum. Neste sentido, para um consumo de AVGAS de 68,14 L/h, tem-se o consumo respectivo de 88,58 L/h no uso de etanol hidratado (ver Tabela 1 e Tabela 2).

A Tabela 1 e a Tabela 2 (próxima página), representam o valor final das horas voadas nos anos de 2019, 2020 e 2021, bem como o valor para a obtenção do combustível, levando em conta a utilização da Gasolina de Aviação e a estimativa para o consumo de etanol respectivamente.

Tabela 1 - Consumo de gasolina de aviação em 2019, 2020 e 2021

Período	Horas voadas (T-25)	Consumo AvGas (L/h)	Consumo AvGas (L/mês)	Preço da Gasolina de Aviação (R\$/L)	Consumo AvGas (R\$/mês)
jan./19	630,16	68,14	42.939,10	12,58	540.173,90
fev./19	566,25	68,14	38.584,27	12,58	485.390,17
mar./19	602,67	68,14	41.065,93	12,58	516.609,45
abr./19	908,08	68,14	61.876,57	12,58	778.407,26
mai./19	975,75	68,14	66.487,60	12,58	836.414,00
jun./19	786,16	68,14	53.568,94	12,58	673.897,30
jul./19	696,83	68,14	47.481,99	12,58	597.323,51
ago./19	511,58	68,14	34.859,06	12,58	438.526,97
set./19	586,75	68,14	39.981,14	12,58	502.962,80
out./19	998,67	68,14	68.049,37	12,58	856.061,12
nov./19	710,00	68,14	48.379,40	12,58	608.612,85
dez./19	395,33	68,14	26.937,78	12,58	338.877,35
jan./20	215,41	68,14	14.678,03	12,58	184.649,71
fev./20	186,41	68,14	12.701,97	12,58	159.790,88
mar./20	545,91	68,14	37.198,30	12,58	467.954,71
abr./20	455,66	68,14	31.048,67	12,58	390.592,30
mai./20	596,66	68,14	40.656,41	12,58	511.457,67
jun./20	763,16	68,14	52.001,72	12,58	654.181,67
jul./20	886,83	68,14	60.428,59	12,58	760.191,74
ago./20	1.074,00	68,14	73.182,36	12,58	920.634,09
set./20	729,00	68,14	49.674,06	12,58	624.899,67
out./20	728,75	68,14	49.657,02	12,58	624.685,37
nov./20	708,33	68,14	48.265,60	12,58	607.181,33
dez./20	129,83	68,14	8.846,61	12,58	111.290,43
jan./21	128,33	68,14	8.744,40	12,58	110.004,63
fev./21	382,83	68,14	26.086,03	12,58	328.162,34
mar./21	693,16	68,14	47.231,92	12,58	594.177,58
abr./21	618,66	68,14	42.155,49	12,58	530.316,09
mai./21	685,16	68,14	46.686,80	12,58	587.319,97
jun./21	600,91	68,14	40.946,00	12,58	515.100,77
jul./21	613,83	68,14	41.826,37	12,58	526.175,81
ago./21	983,91	68,14	67.043,62	12,58	843.408,83
set./21	810,58	68,14	55.232,92	12,58	694.830,15
out./21	747,35	68,14	50.924,42	12,58	640.629,32
nov./21	584,83	68,14	39.850,31	12,58	501.316,98
dez./21	196,08	68,14	13.360,89	12,58	168.080,01
TOTAL	22.433,81	68,14	1.528.639,813	12,58	19.230.288,73

Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 2 - Estimativa do consumo de etanol hidratado em litros em 2019, 2020 e 2021.

Período	Horas voadas (T-25)	Consumo Etanol* (L/h)	Consumo Etanol (L/mês)	Preço do Etanol (R\$/L)	Consumo Etanol (R\$/mês)
jan./19	630,16	88,58	55.819,57	6,65	371.200,15
fev./19	566,25	88,58	50.158,42	6,65	333.553,52
mar./19	602,67	88,58	53.384,50	6,65	355.006,98
abr./19	908,08	88,58	80.437,72	6,65	534.910,88
mai./19	975,75	88,58	86.431,93	6,65	574.772,36
jun./19	786,16	88,58	69.638,05	6,65	463.093,05
jul./19	696,83	88,58	61.725,20	6,65	410.472,58
ago./19	511,58	88,58	45.315,75	6,65	301.349,78
set./19	586,75	88,58	51.974,31	6,65	345.629,19
out./19	998,67	88,58	88.462,18	6,65	588.273,55
nov./19	710,00	88,58	62.891,80	6,65	418.230,47
dez./19	395,33	88,58	35.018,33	6,65	232.871,90
fev./20	215,41	88,58	19.081,01	6,65	126.888,76
mar./20	186,41	88,58	16.512,19	6,65	109.806,11
abr./20	545,91	88,58	48.356,70	6,65	321.572,10
mai./20	455,66	88,58	40.362,36	6,65	268.409,71
jun./20	596,66	88,58	52.852,14	6,65	351.466,74
jul./20	763,16	88,58	67.600,71	6,65	449.544,14
ago./20	886,83	88,58	78.555,40	6,65	522.393,41
set./20	1.074,00	88,58	95.134,92	6,65	632.547,21
out./20	729,00	88,58	64.574,82	6,65	429.422,55
nov./20	728,75	88,58	64.552,67	6,65	429.275,28
dez./20	708,33	88,58	62.743,87	6,65	417.246,74
jan./21	129,83	88,58	11.500,34	6,65	76.477,27
mar./21	128,33	88,58	11.367,47	6,65	75.593,68
abr./21	382,83	88,58	33.911,08	6,65	225.508,69
mai./21	693,16	88,58	61.400,11	6,65	408.310,75
jun./21	618,66	88,58	54.800,90	6,65	364.426,00
jul./21	685,16	88,58	60.691,47	6,65	403.598,29
ago./21	600,91	88,58	53.228,60	6,65	353.970,24
set./21	613,83	88,58	54.373,06	6,65	361.580,85
out./21	983,91	88,58	87.154,74	6,65	579.579,07
nov./21	810,58	88,58	71.801,17	6,65	477.477,82
dez./21	747,35	88,58	66.200,26	6,65	440.231,74
jan./19	584,83	88,58	51.804,24	6,65	344.498,20
fev./19	196,08	88,58	17.368,76	6,65	115.502,29
TOTAL	22.433,81	88,58	1.987.186,89	6,65	13.214.692,05

Fonte: elaborado pelos autores.

* Calculado com base em Maluf (1987) Maluf (1987), no qual o consumo específico é 30% maior do que o motor à gasolina, em nível de cruzeiro.

Como se pode observar nas tabelas, se a Academia da Força Aérea operasse com Etanol como combustível das aeronaves T-25 ao invés da gasolina, seriam economizados R\$6.015.596,68 nos três anos em questão. Este valor equivale ao valor da conversão de 15 aeronaves, levando em consideração que a conversão de cada uma custaria R\$ 380.000,00, valor esse que agrega gastos com material e mão-de-obra profissional e poderia ser ainda mais baixo, já que a FAB conta com mão de obra especializada para isso.

Por outro lado, quando se trata da utilização do etanol de segunda geração, mesmo que esse combustível ainda não esteja sendo produzido em escala comercial a ponto de se tornar viável a utilização pela Academia da Força Aérea, ele representa uma futura opção de combustível alternativo. A obtenção desse biocombustível demanda etapas adicionais que encarecem o produto final e poucas empresas estão desenvolvendo a produção desse tipo de comburente.

Porém, esse produto gerado é equivalente ao etanol hidratado de primeira geração e traz diversas vantagens ecológicas e econômicas, uma vez que o bagaço e a palha da cana de açúcar que sobram do processo de obtenção do etanol de primeira geração são reutilizados para produzir mais etanol, sem que seja necessário o aumento da área de plantio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O acesso aos meios de transporte aéreo utilizado pela humanidade na atualidade ameaça o meio ambiente, através da poluição atmosférica, degradação da camada de ozônio e da exploração de recursos naturais findáveis. Portanto, é importante repensar como a população tem interagido com a natureza, levando em consideração as consequências para o futuro. Nesse sentido, a Força Aérea também pode contribuir para a redução da degradação ambiental pensando de maneira concomitante nos ganhos para a operacionalidade. O Plano Estratégico Militar da Aeronáutica - PCA 11-47, através do Programa de Eficiência Energética, tem como objetivo principal a diversificação

da matriz energética, instalando fontes de energia renováveis nos pontos estratégicos das Guarnições de Aeronáutica, além de produzir energia limpa e sustentável.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou alimentar a discussão sobre a necessidade da conversão dos motores a combustão interna utilizados na Academia da Força Aérea para a utilização do etanol, que é um combustível que traz ganhos ecológicos e econômicos para a operação. A utilização deste biocombustível também pode contribuir com a segurança nacional, uma vez que, a utilização de um combustível produzido pela própria nação reduziria a dependência do país em relação às nações estrangeiras, aumentando a soberania nacional. Além disso, essa mudança colabora para a preservação do meio ambiente e das reservas nacionais de recursos naturais.

Ademais, a conversão dos motores para a utilização do etanol permitiria, também, a utilização do etanol de segunda geração, fonte de energia que, embora não seja produzida comercialmente no Brasil, se encontra em desenvolvimento e representa uma alternativa bastante promissora quando se trata de preservação ecológica e sustentabilidade, pois é produzida a partir dos restos gerados na produção do etanol de primeira geração e, mesmo com um processo diferente e mais complexo de produção, possui as propriedades necessárias para ser utilizado como combustível da aeronave em questão.

Portanto, a conversão das aeronaves T-25 Universal utilizadas na Academia da Força Aérea para o uso do etanol representa um grande avanço na luta da humanidade para a preservação do meio ambiente e se mostra vantajosa no campo econômico e financeiro, tornando a operação mais barata e eficiente. Este artigo buscou apresentar uma solução tecnológica para adaptação às necessidades de mudanças climáticas e econômicas das aeronaves que utilizam o AVGAS (combustível não renovável), nesse caso o etanol hidratado. Entretanto, a aviação no geral vale-se do querosene de aviação (QAV) que também é não renovável. Apesar de não ser escopo deste

artigo, ressalta-se a existência do farneseno C₁₅H₂₄, bioquerosene de aviação que é obtido no processo de conversão da biomassa da cana em sua segunda geração. Neste sentido, sugere-se estudos futuros que possam comparar a performance em aeronaves que usam o QAV com sua alternativa renovável.

REFERÊNCIAS

COSTA, A.A.S. Caracterização de motor aeronáutico utilizando misturas de gasolina de aviação e etanol: aspectos fluidodinâmicos, termodinâmicos e ecológicos. 2011, 178 f. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, 2011.

EMBRAER. **Aeronave Ipanema**. Disponível em: <[http://www.embraeragricola.com.br/pt\[1\]BR/Aeronave-Ipanema/Paginas/Inovadora-e-Eficiente.aspx](http://www.embraeragricola.com.br/pt[1]BR/Aeronave-Ipanema/Paginas/Inovadora-e-Eficiente.aspx)>. Acesso em: 29 de maio de 2021.

GOMES, V. A.; BRANCO, G. A. D.; CRUZ, R. V.; EWALD, P. S.; MAKITA, R. K., **Motores Aeronáuticos - Asas Rotativas – Teoria Aplicada**, 2005.

LEITE, R.C.C.; CORTEZ, L.A.B. O etanol combustível no Brasil. **Revista Biocombustíveis no Brasil: Realidades e Perspectivas**. Brasília: Ministério das Relações Exteriores, 2008.

MALUF, F.C. **Uso do etanol em motores aeronáuticos a pistão**. In: IV SIMEA – Simpósio de Engenharia Automotiva. São Paulo: [s.i.], 1987.

MURAKAMI, L. S. N. A.; BOMBANA, G. A.; AFFONSO, G. S. Processo produtivo do etanol de segunda geração usando bagaço de cana-de-açúcar. X encontro de engenharia de produção agroindustrial, setembro de 2016.

NOVA CANA. **Matérias-primas do etanol de 2ª geração**. Curitiba, 2010.

NOVA CANA. **Produção de etanol de 2ª geração por hidrólise**. Curitiba, 2006.

NOVA CANA. Controle de qualidade: especificações do etanol. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/controle-qualidade>>. Acesso em 18 de jul. 2023.

OLIVEIRA, R.F.; HORVATH, E.; TAMBASCO, T.C.C. Manual de Direito Financeiro. São Paulo: Editora **Revista dos Tribunais**, 1990, 94 p

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Convenção Quadro sobre Mudança do Clima, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2016/04/Acordo-de-Paris.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2022.

PANTAROTO, H. LUIS. A eliminação do chumbo da gasolina. Universidade Metodista de Piracicaba, 2007. Disponível em: <www.unimep.br/phpg/mostracademica/anais/5mostra/5/167.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2022.

PETROBRAS. Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/aviacao/gasolina-de-aviacao/>>. Acesso em 10 de jul. 2019.

PETROBRAS. Gasolina de Aviação (GAV) Petrobras. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/aviacao/gasolina-de-aviacao/>>. Acesso em 18 de jul. 2023.

PONTOPPIDAN, M; BONFIGLIOLI, S; MONTANARI, G; DAMASCENO, F; BUCCI, A; EWALD, P; Description of preliminary Study for Technology Transfer of an Ethanol Mixture Preparation System from

Automotive Application to a 4-Cylinder 5.9 liter Aircraft Engine; **SAE-Brazil**, paper 2006-01-2878.

RODRIGUES, S. Álcool combustível para aeronaves: combustíveis alternativos e preservação do meio ambiente. Trabalho de Conclusão de Curso (tecnólogo em Manutenção de Aeronaves) – Universidade Tuiuti do Paraná, Faculdade de Ciências Aeronáuticas, Curitiba, 2009.

SANTOS, B.M.; PAVAN, C.J.S. O álcool como combustível na aviação. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Jornalismo) - Universidade do Vale do Paraíba, Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas e Comunicação, São José dos Campos, 2006, 4 f. Disponível em: <<http://biblioteca.univap.br/dados/00002a/00002ab6.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2022.

SILVA, D.R.O.S.; FARIA, T.V.S.; MENDES, H.F.F.; THEODORO, L.N.M. Conversão das aeronaves T-25 Universal da AFA para o uso do etanol: Ênfase na viabilidade operacional, econômica e sustentável. **Revista do CIAAR**, Lagoa Santa, v. 1, n. 1, p. 5-22, out. 2020.

SILVEIRA, V. Mistura em pleno voo. **Scientific American Brasil**, n. 44, jan. 2016.

SOMAVILA, C.; GOMES NETO, E. Célula a Combustível: Gás Natural & Etanol; H 2 Fuel Cell Energy; Brasil; Paraná; 2003.

SOUZA, Luiz Gustavo Antonio. Redes de inovação em etanol de segunda geração. Tese apresentada para a obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de Concentração: Economia aplicada. Piracicaba, 2013.

VIDAL, Maria de Fátima. Produção e uso de biocombustíveis no Brasil. **Caderno Setorial Etene**, n. 74, p. 5, mai. 2019. Disponível em <<https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/630#:~:texto%20Brasil%20tem%20papel%20de,vegetais%20ou%20de%20gorduras%20animais>>. Acesso em 06 de junho de 2022.

ZAGHETTI JR, F. Emprego do álcool etílico nos motores aeronáuticos alternativos. **Revista CFOE**, p. 25-37, 2006.