
NOVOS COMBUSTÍVEIS PARA A AVIAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO

Ramón Stortini González Velázquez*

Rafael Toshimi Kubotani*

Sílvia Maria Stortini González Velázquez*

Resumo

O setor de transporte aéreo é responsável por 3% das emissões globais de CO₂ e cresce a uma taxa de 5% a 10% ao ano. O querosene de aviação representa 40% dos custos de operação das empresas aéreas brasileiras. Nesse contexto, este trabalho visa estudar a utilização do bioquerosene na aviação, por meio de um estudo de caso que apresenta o primeiro voo utilizando biocombustível na América Latina, a análise técnica dos resultados, além das frentes econômicas/ambientais para a viabilização dos biocombustíveis no setor. Observa-se que não há barreiras técnicas, entretanto políticas públicas de incentivo são necessárias.

Palavras-chave: Transporte aéreo, emissões de CO₂, bioquerosene.

* Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM).

1 INTRODUÇÃO

Há alguns anos, as questões energéticas vêm ganhando destaque no cenário mundial, acompanhadas do aquecimento global, devido ao aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). As nações têm se reunido, frequentemente, para impor limites às emissões atuais e futuras, entretanto somente alguns países, regiões e empresas conseguem algum progresso (GELLER, 2003).

Tendo em vista a evolução da demanda por energia e combustíveis, combinada com a premente necessidade de reduzir as emissões de poluentes, os diversos setores da economia vêm apresentando iniciativas que vão ao encontro da tendência de combate às mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global.

Entre as pesquisas que estão sendo desenvolvidas em busca de tecnologias para a ampliação da utilização de energias renováveis, destacam-se, no setor de transporte aéreo, a produção e os testes de bioquerosene para ser utilizado na aviação.

Nesse contexto, insere-se este trabalho, que apresenta a busca pela sustentabilidade na aviação.

2 O SETOR DE TRANSPORTE AÉREO

A busca por combustíveis renováveis desponta como oportunidades de negócios e investimentos para o setor privado, e as iniciativas brasileiras devem ser políticas de Estado e não de governos para que haja continuidade, uma vez que a questão energética está inserida no âmbito da segurança nacional (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010).

No período de 2003 a 2008, a taxa de expansão do setor aéreo brasileiro foi de 10% ao ano. Todavia, prevê-se um crescimento ainda mais expressivo devido à realização de dois eventos esportivos internacionais de grande porte, a Copa do Mundo de Futebol em 2014 e os Jogos Olímpicos em 2016. Em razão das dimensões continentais do país, que tem a quinta maior superfície do mundo, com um território de 8.511.965 km², o transporte aéreo é um importante instrumento de desenvolvimento e integração nacional (SIMÕES, 2003), estimulando negócios entre as regiões, além da inserção do Brasil no cenário internacional, nos âmbitos comercial e cultural (MCKINSEY & COMPANY, 2010).

O setor de transporte aéreo mundial vem sendo pressionado para reduzir suas emissões de CO₂, pois a aviação é responsável por 3% dessas emissões, e, por causa das perspectivas de crescimento do setor, há indícios de aumento dessa participação. Além disso, os combustíveis representam cerca de 40% dos custos de operação das empresas aéreas brasileiras (RAYOL, 2010).

O setor busca um combustível alternativo ao querosene de aviação, derivado do petróleo, devido à flutuação da sua cotação internacional, que apresente baixa emissão de gases de efeito estufa, que abasteça os motores e aeronaves em operação e que possa utilizar a infraestrutura de distribuição existente, sem que haja nenhuma modificação.

As empresas aéreas associadas à International Air Transport Association (2010) estão comprometidas em aperfeiçoar a eficiência na utilização de combustível em 1,5% por ano até 2020, não aumentar a emissão de CO₂ até 2020 e reduzir em 50% as emissões até 2050, comparativamente a 2005 (AIR TRANSPORT ACTION GROUP, 2009). Tais obrigações, no futuro, podem limitar o mercado da aviação civil e estimular a busca por alternativas.

Em razão do crescimento do transporte aéreo de cargas e passageiros, a demanda por combustíveis energéticos tende a expandir, podendo dobrar e até triplicar até 2050 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009), mesmo com os possíveis ganhos de eficiência energética (estimados em 30% a 50%) com o aperfeiçoamento da aerodinâmica e a redução do peso das aeronaves, avanços na tecnologia dos propulsores, além da adoção de melhores práticas de gestão do tráfego aéreo e dos aeroportos (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2010).

Em face dessas questões, especialistas estudam a possibilidade de novos combustíveis para substituir o querosene.

3 COMBUSTÍVEIS EM USO

Os combustíveis amplamente utilizados na aviação são o querosene de aviação (em motores a reação), mais conhecido como JET A1, e a gasolina de aviação (em motores a pistão), conhecida como Avgas 100LL (100 *low lead*) ou GAV 100LL. Há também a aplicação do etanol hidratado em quantidade reduzida.

Os combustíveis aeronáuticos devem ter características específicas, como ter alta viscosidade energética (peso e volume reduzidos por unidade de energia – poder calorífico e densidade elevados), permitir potências elevadas, apresentar volatilidade adequada e baixo ponto de congelamento, não conter água em solução, ser quimicamente estável e apresentar baixa corrosividade. Para que possam atender a essas especificações,

geralmente são aditivados (em quantidade e composição sujeitas a aprovação e controle) (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2010).

3.1 Combustíveis em desenvolvimento

Diversas parcerias vêm sendo firmadas para viabilizar o desenvolvimento e a produção de biocombustíveis para a aviação, a partir de pinhão-manso, camelina, sebo, alga, soja, canola, palma, coco e plantas halófitas (resistentes ao sódio), como matérias-primas para produção do bioquerosene e consequente redução dos impactos ambientais.

3.1.1 Combustíveis drop-in

A indústria de combustíveis aposta nos combustíveis *drop-in*, que são quimicamente indistinguíveis do combustível tradicional e podem ser misturados a este, de modo a prover desempenho e segurança similares (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2010), sem mudança nos sistemas da aeronave e dos motores ou na infraestrutura de distribuição e armazenamento (AIR TRANSPORT ACTION GROUP, 2009).

Combustíveis considerados não *drop-in* são os que não atendem às especificações do equipamento e da infraestrutura disponíveis e apresentam fatores adversos, como cadeia de suprimento, desenvolvimento de aeronaves dedicadas, aceitação pública, entre outros (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2010). O investimento a ser feito no caso de uma infraestrutura paralela dedicada a um combustível não *drop-in*, considerando que virtualmente todos os grandes aeroportos são supridos por tubulações vindas diretamente das refinarias, acusa um custo aproximado de um milhão de dólares por quilômetro de tubulação de combustível, e a estrutura atual deveria ser dobrada (SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION, 2011).

Atualmente, o querosene sintético parafínico obtido pelos processos de Fischer-Tropsh e por hidroprocessamento, misturado com o JET-A1, já está aprovado pela norma ASTM 7655, em proporção limitada a 50%, devido a diferenças do combustível JET-A1, como densidade, capacidade de lubrificação e compatibilidade com alguns materiais poliméricos (por causa da ausência de aromáticos) (SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION, 2011).

3.1.2 Querosene parafínico sintético obtido por Fischer-Tropsh

O *Fischer-Tropsh synthetic paraffinic kerosene* (FT-SPK) é um querosene parafínico sintético produzido a partir de uma matéria-prima proveniente da gaseificação, seguido de um processo de síntese por Fischer-Tropsh (KINDER; RAHMES, 2009).

A matéria-prima (carvão, gás natural ou biomassa) é gaseificada, e o monóxido de carbono e o hidrogênio produzidos são combinados para formar uma mistura de produtos no processo de síntese Fischer-Tropsch. Esses produtos são polimerizados ou tratados posteriormente pela reação com catalisador e hidrogênio, processos conhecidos como hidroprocessamento. O passo final é seu fracionamento para produzir um SPK com propriedades adequadas para ser utilizado em motores a reação (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2010).

3.1.3 Querosene parafínico obtido por hidroprocessamento (combustível do estudo de caso)

O óleo hidroprocessado, conhecido também como *Hydroprocessed Renewable Jet* (HRJ), é um combustível composto de hidrocarbonetos parafínicos produzidos pela refinação de triglicérides e ácidos graxos presentes naturalmente em óleos vegetais e gorduras residuais de origem animal. O HRJ também é referido como querosene sintético parafínico bioderivado ou "bio-SPK" (SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION, 2011).

De acordo com a Figura 1, a primeira fase da produção (A) requer a remoção de oxigênio por reação com hidrogênio. Em uma segunda etapa (B), o hidrocarboneto resultante é ainda mais isomerizado e quebrado para reduzir o número de carbonos em uma faixa semelhante ao JET-A1 e alcançar propriedades-chave do combustível, tais como os pontos de congelamento e centelha. As entradas principais para o processo de produção HRJ são semelhantes às de uma unidade de refino típico: vapor, gás natural, água de refrigeração e energia elétrica (SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION, 2011).

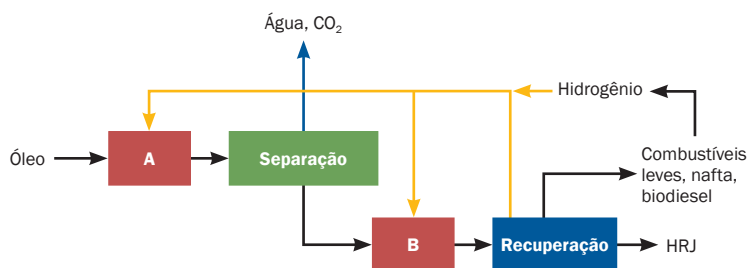


Figura 1 Processo de obtenção do bio-SPK (HRJ) da UOP.

O subproduto do processo geral é principalmente biodiesel, com frações de propano e nafta, matérias-primas de plásticos e outros produtos químicos. Estes podem

ser usados para compensar parte da demanda de gás natural ou como alimentação de uma fonte de hidrogênio (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2010).

3.2 Matérias-primas para os biocombustíveis

Os novos combustíveis para a aviação visam melhorar o balanço de emissões de GEE por meio do seu ciclo de vida e devem ter uma série de critérios analisados sobre seus efeitos indiretos, de forma que atendam aos requisitos básicos ambientais, desde a lavoura (matéria-prima) até sua utilização final (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2010). Entre os requisitos básicos da matéria-prima e de seu cultivo, estão: não concorrer com o setor de alimentos; ser cultivada em terras não utilizadas para produção de alimentos e terras marginais; não interferir nos ecossistemas naturais e ser produzida de forma que o solo e a água não sejam sobrecarregados; não necessitar de grandes quantidades de insumos agrícolas; proporcionar redução de emissões e conteúdo energético maior ou igual comparados ao combustível tradicional; não ameaçar a biodiversidade; e agregar valor socioeconômico às comunidades locais (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2010; SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION, 2011).

Oleaginosas como o pinhão-manso, a camelina, a palma e a soja, assim como as algas, têm sido objeto de estudo.

3.3 Matéria-prima utilizada no estudo de caso: pinhão-manso

O pinhão-manso pertence à família das Euforbiáceas, a mesma da mamona e da mandioca, e seu nome científico é *Jatropha curcas* (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE PINHÃO MANSO, 2009). É uma planta perene, não comestível, que necessita de pouca água (GAZZONI, 2010). Por não concorrer com a cadeia alimentar, pois é imprópria para consumo humano e animal, e poder ser cultivada junto com pastagens, não exerce pressão para abertura de novas áreas cultivadas (RIBEIRO, 2010). Sua produtividade é de 5.950 litros por hectare (BORGES, 2007). É uma opção agrícola para a Região Nordeste, em especial no semiárido, por ser uma espécie nativa que necessita de sol e é bastante resistente à seca (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE PINHÃO MANSO, 2009).

Embora apresente perspectivas promissoras, é um cultivo com pouco conhecimento agrônômico em solo de baixa fertilidade e pouca água, e, por essa razão, não há dados regulares disponíveis tanto de produção quanto de preços do óleo de pinhão-manso (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2010).

4 ESTUDO DE CASO: VOO TESTE DA TAM LINHAS AÉREAS S/A UTILIZANDO BIOQUEROSENE COMO COMBUSTÍVEL

4.1 Introdução

A aeronave Airbus A320-214, em teste, decolou e pousou no Aeroporto do Galeão, no Rio de Janeiro, em um voo de 45 minutos, em direção ao Espírito Santo, que foi realizado em 22 de novembro de 2010, em presença da tripulação, da alta liderança, da equipe de engenharia da companhia, da imprensa e de representantes dos parceiros do projeto.

O biocombustível utilizado é proveniente do pinhão-manso, cujas sementes foram compradas de produtores brasileiros do Norte, Sudeste e Centro-Oeste, por intermédio da Associação Brasileira de Pinhão Manso – ABPPM (GAZZONI, 2010). O óleo foi extraído e, então, exportado para os Estados Unidos, onde a empresa UOP, do grupo Honeywell, processou o óleo transformando-o em bioquerosene e o misturou ao combustível convencional na proporção de 50% cada (RIBEIRO, 2010).

Os motores utilizados foram modelos CFM56-5B, produzidos pela CFM International, uma *joint venture* entre a GE dos Estados Unidos e a Snecma (Safran Group) da França.

A TAM estuda, junto à ABPPM, meios de desenvolver a produção sustentável de pinhão-manso em escala comercial, pois hoje existem 60 mil hectares plantados, e a previsão para 2010 é que aumente para 750 mil hectares, área que daria para produzir bioquerosene para 10% da frota aérea brasileira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE PINHÃO MANSO, 2009).

A Airbus e a CFMI, fabricantes da aeronave e dos motores, respectivamente, forneceram os procedimentos a serem efetuados antes, durante e depois do voo, de forma que todos os requisitos de segurança fossem atendidos e para que os dados fossem validados.

A British Petroleum (BP) gerenciou a logística do combustível, incluindo o abastecimento e recebimento do combustível remanescente no dia do voo, e a Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) forneceu o Certificado de Autorização de Voo Experimental (Cave), de acordo com o regulamento brasileiro de aviação civil, contendo as limitações operacionais e concessões para que o voo teste fosse possível em um âmbito legal. A TAM unificou e cumpriu todos os requisitos necessários, envolvendo diversas áreas da empresa, disponibilizando o avião e a tripulação para que o experimento fosse possível.

4.2 Especificação do combustível

O biocombustível utilizado no voo experimental foi obtido por meio da hidrogenação do óleo extraído do pinhão-mansão, dando origem ao *Jatropha Oil Synthetic Paraffinic Kerosene*. Para o primeiro teste, foi utilizado, no motor esquerdo, o JET A1 convencional, e o motor direito foi alimentado com uma mistura equilibrada de biocombustível/JET A1 (50/50%), apresentando densidade 2,6% menor e poder calorífico 1% maior, comparado ao JET A1.

4.3 Protocolo de testes

À zero hora do dia 22 de novembro de 2011, iniciou-se no Aeroporto Internacional Tom Jobim o cumprimento da ordem de engenharia, com a identificação visual da aeronave como experimental.

Em seguida, deu-se início ao processo de drenagem da água contida no combustível, acumulada na parte inferior dos tanques. Pelo fato de ser mais densa do que o combustível em si e devido à condensação nas paredes do tanque, a água se deposita no fundo deste. Com a drenagem da água residual, certifica-se da alimentação exclusiva do combustível nos motores. Todo o combustível contido inicialmente no tanque direito e central da aeronave foi transferido para o tanque esquerdo, e o restante foi drenado para garantir o abastecimento do tanque da asa direita somente com a mistura do biocombustível. A posição dos tanques na aeronave pode ser observada na Figura 2.

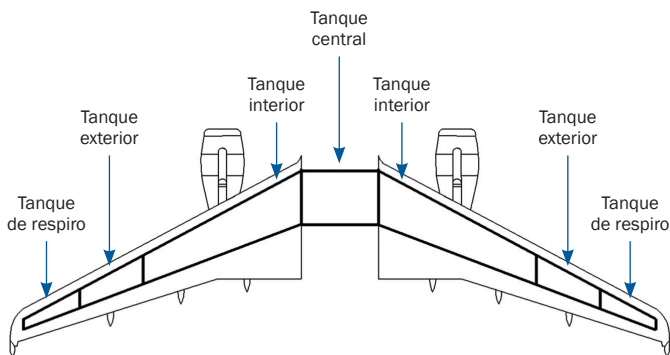


Figura 2 Posicionamento dos tanques da aeronave.

Após esse procedimento, a válvula de alimentação cruzada (*crossfeed valve*) que permite a transferência de combustível entre os tanques das asas foi fechada para

garantir que, durante o abastecimento, apenas o tanque da asa direita recebesse o biocombustível. Com isso, o motor de número 1 (na asa esquerda) e o *Auxiliar Power Unit* (APU), localizado na parte traseira da aeronave, não receberam o biocombustível. O APU tem como função primária permitir a operação terrestre da aeronave, independentemente de fontes externas e dos motores, fornecendo energia elétrica e pneumática. Também é responsável pelo acionamento dos motores e pode suprir o sistema de controle ambiental da aeronave (*environmental control system* – ECS), e, em voo, sua disponibilidade permite suprir uma demanda provocada por pane ou alguma restrição dos motores.

A asa esquerda foi abastecida com 5.450 kg de JET A1 (300 kg de combustível a mais que na asa direita, para alimentação do APU durante o tempo de solo da aeronave). A asa direita foi abastecida com 5.150 kg da mistura contendo 50% de biocombustível e 50% de JET A1. Após o abastecimento, em cumprimento às especificações do fabricante, foi coletada uma amostra de 1 galão (3.785 litros) de combustível de cada asa, a ser enviado para análise e registro das especificações do combustível utilizado.

Foi realizada uma inspeção boroscópica do motor direito da aeronave, procedimento de inspeção que consiste em introduzir uma sonda (câmera) no motor com o objetivo de verificar e registrar as condições internas de sua seção quente antes de ele operar com o biocombustível.

Antes mesmo da realização dos testes com os motores em funcionamento e do voo experimental, foram extraídos do Multipurpose Control & Display Unit (MCDU) os relatórios contendo as possíveis mensagens de falha no sistema de propulsão e combustível da aeronave. Entretanto, nenhuma falha foi registrada.

O MCDU é um terminal multiuso que tem diversas funções, como leitura de parâmetros da aeronave e dos motores, inserção e consulta de dados de navegação, planos de voo e funções de manutenção.

Para coleta de dados durante o teste do motor em solo (*run-up*) e durante o voo, uma programação dos parâmetros de *Alpha-Call-Up* (códigos acrônimos) foi inserida pelo MCDU. Trata-se dos parâmetros dos motores e da aeronave a serem monitorados durante o experimento.

Durante o teste dos motores em solo e em voo, é possível registrar parâmetros dos motores e da aeronave de forma a auxiliar a análise dos dados do motor em funcionamento. Para o registro desses parâmetros, as aeronaves Airbus A320 utilizam o MCDU. Uma das diversas funções do MCDU é denominada *Alpha-Call-Up*, que se caracteriza por comandos de códigos acrônimos, ou seja, nessa função do MCDU, é possível digitar a sigla do componente que se deseja monitorar, e, dessa forma, o sistema retorna com os valores dos parâmetros solicitados, sendo possível gerar relatórios com todas as indicações solicitadas.

A aeronave foi rebocada até a pista auxiliar do aeroporto, onde então ocorreu o teste dos motores em potência (*power assurance check*). Nesse teste de potência do

motor abastecido com o biocombustível, o seu comportamento foi validado como normal e idêntico ao funcionamento do motor operando com combustível JET A1.

Como muitos fatores interferem no cálculo do desempenho dos motores (tais como temperatura externa, vento, peso de decolagem, tripulação no comando etc.), para base de cálculos, existe um parâmetro que traz todos os motores para o mesmo nível de comparação, denominado *exhaust gas temperature margin* (EGTM). O EGTM é uma margem que considera diversos parâmetros e traz a temperatura dos gases de exaustão, principal valor comparado, a uma base comum. Com essa margem, é possível verificar o desempenho do motor independentemente das condições em que ele opera. Quanto maior o valor, melhor o desempenho do motor; quanto mais próximo da margem zero, pior o seu desempenho.

Depois de efetuados os cálculos de *performance* desse motor, resultando em um valor de EGTM de 72°C, pôde-se observar que o EGTM apresentado no teste é similar à temperatura calculada em operação normal, de 68°C. Esses resultados demonstram, de forma preliminar, que o biocombustível não alterou o comportamento do motor, atendendo aos pré-requisitos legais para realização do voo experimental com segurança.

Nenhum procedimento operacional fora dos protocolos normais de voo foi alterado. Nesse caso, houve somente uma configuração especial: a válvula de alimentação cruzada permaneceu fechada para que, durante o voo, os combustíveis não se misturassem, de modo a manter a alimentação com biocombustível apenas para o motor da asa direita e o motor da asa esquerda e o APU alimentados com combustível JET-A1. No caso de ocorrer algum problema operacional que solicitasse a abertura da válvula, os pilotos estavam orientados a abri-la.

Há o registro de alguns voos experimentais com biocombustíveis em que se opta por desligar e religar o motor em altitude de cruzeiro, uma ou mais vezes, para garantir sua capacidade de reacionamento com o biocombustível em voo. Alguns testes, como rápidas acelerações e desacelerações, também são comumente efetuados em voos experimentais. O procedimento de simular um *go-around* (arremeter a aeronave antes de tocar o solo) também é um dos possíveis testes (AIR TRANSPORT ACTION GROUP, 2009). Entretanto, a Airbus e a TAM optaram por não efetuar esses testes.

Uma nova coleta de amostras dos combustíveis dos tanques das asas esquerda (JET A1) e direita (mistura com biocombustível) foi efetuada. A mistura do biocombustível restante na asa direita foi completamente drenada antes do retorno à operação normal.

O filtro de combustível do motor direito foi removido e devidamente acondicionado para ser enviado para análise.

Uma nova inspeção boroscópica registrou a ausência de alterações nas partes quentes internas do motor que operou com o biocombustível. Essa inspeção foi registrada em um relatório de inspeção, em conjunto com a inspeção do pré-voo.

Novamente foram extraídos, via MCDU, os relatórios de falha dos sistemas de propulsão e combustível da aeronave, que acusaram a ausência de falhas, atestando a compatibilidade do biocombustível com o JET A1.

Entre as demais recomendações para a aeronave retornar à operação normal após o voo experimental, estava a remoção dos adesivos.

Os tanques de combustível foram reabastecidos até o limite máximo com JET A1 (inclusive nos três voos subsequentes), com o objetivo de diluir qualquer quantidade residual de biocombustível no tanque da asa direita.

Os cartões *Personal-Computer-Memory-Card-International-Association* (PCMCIA) e *Digital Flight Data Recorder* (DFDR), que contêm o registro de parâmetros de operação, foram removidos e enviados ao departamento de segurança de voo (*flight safety*) para decodificação e análise dos dados junto à engenharia da TAM, Airbus e CFMI. O DFDR recebe os parâmetros de voo, decodifica-os e os grava no cartão PCMCIA, que pode ser removido da aeronave para posterior parametrização e decodificação.

A preparação final exigiu uma prova dos motores em marcha lenta para inspeção quanto a vazamentos nas áreas acessadas. Nada de anormal foi observado, e a aeronave retornou à operação regular comercial.

4.4 Análise técnica dos resultados

Foram analisadas as informações coletadas durante o voo, por meio dos relatórios de *Alpha-Call-Up*, via MCDU, as transmitidas para o programa de monitoramento de parâmetros, além dos dados extraídos do cartão PCMCIA e DFDR.

Por meio do monitoramento dos parâmetros dos motores antes e depois da utilização do biocombustível, pode-se observar que, em operação normal, os motores estavam simétricos, apresentando uma média de EGTM de 68°C.

Durante o voo experimental, o motor esquerdo abastecido com JET A1 apresentou um EGTM de 49,20°C, e o motor direito abastecido com a mistura de biocombustível, um EGTM de 61,17°C. Tais informações confirmam o que foi observado durante o voo, que o motor abastecido com a mistura do biocombustível estava aproximadamente 10°C mais frio do que o motor alimentado com JET A1. Isso representa uma economia maior de combustível em operação, pois uma temperatura menor significa menos combustível injetado para obter o empuxo desejado, ou seja, maior eficiência. Além da economia de combustível, a menor temperatura do motor significa o prolongamento da vida útil dele, tendo em vista que os componentes internos são menos exigidos, postergando as despesas com revisão desses motores e, conseqüentemente, o descarte deles.

Outra característica importante desse combustível que foi validado refere-se à sua *performance* como fluido hidráulico para os atuadores do motor. Conforme relatórios

emitidos durante o voo, é possível observar que esses componentes, atuados pelo biocombustível (VBV / VSV / HPTACC / LPTACC) apresentaram operação plenamente normal. Considerando também que o combustível tem a função de trocar calor com o óleo do motor, observou-se que ele cumpriu sua função termodinâmica sem provocar alterações na temperatura do óleo ou mesmo do combustível nos tanques da aeronave.

Foram analisados os dados colhidos do arquivo DFDR que refletem os parâmetros registrados pelo *full authority digital engine control* (Fadec), o qual controla, durante o voo, todos os parâmetros da aeronave que fazem a interface com o motor. Pode-se concluir que o biocombustível apresentou um comportamento dentro do esperado em relação aos parâmetros de resposta do motor. Foi possível observar também o comportamento simétrico dos parâmetros de ambos os motores. Os pontos de divergência, como o consumo de combustível e a temperatura de exaustão do motor (EGT), indicaram uma melhora de *performance* do motor quando operado com o biocombustível, justificada pelo maior poder calorífico deste.

Os dados de cruzeiro, fase de voo em que os motores estão mais estáveis, foram estratificados e comparados de acordo com a Equação (1).

$$\left(\frac{\text{parâmetro motor \#2} - \text{parâmetro motor \#1}}{\text{parâmetro motor \#2}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Pelo comparativo entre o motor 2 e o motor 1, pode-se observar que os pontos de divergência, como o consumo de combustível (Gráfico 1) e a temperatura de exaustão do motor (Gráfico 2), indicaram uma melhora de *performance* do motor quando operado com o biocombustível.

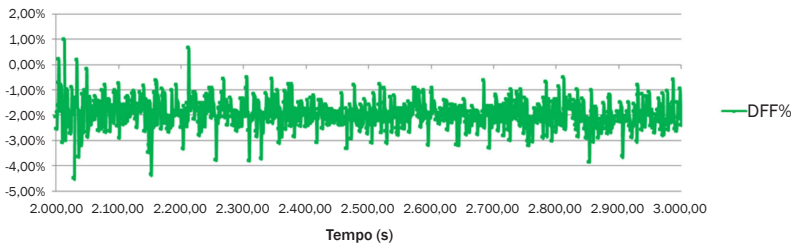


Gráfico 1 Variação percentual do consumo de combustível entre os motores.

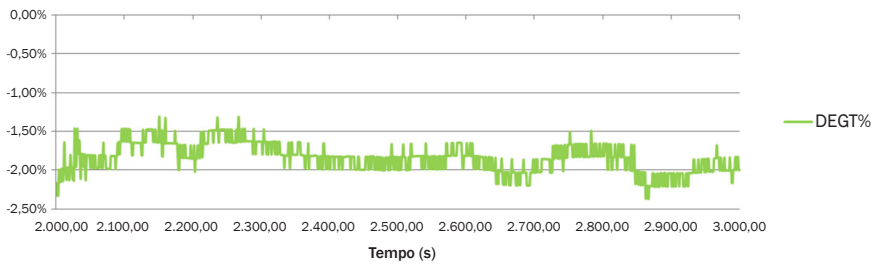


Gráfico 2 Variação percentual da temperatura de exaustão entre os motores.

No intervalo de tempo analisado, o motor 2 apresentou uma redução média de consumo de 1,95% e operou a uma temperatura de exaustão 1,84% menor em comparação ao motor 1. Não é possível afirmar que essa redução é, em sua totalidade, proveniente da utilização do biocombustível, uma vez que os motores nunca poderão apresentar um desempenho idêntico. Entretanto, essa redução pode ser justificada, em sua maior parte, pelo maior poder calorífico do combustível renovável.

Do ponto de vista da engenharia, é importante salientar que este trabalho analisa os parâmetros para um único voo experimental, abastecido com 50% de um biocombustível misturado a 50% de combustível padrão, JET A1. Assim, apesar dos fatores positivos observados, não é possível concluir que esses são os reais benefícios desse novo combustível sustentável antes da realização de mais experiências e da coleta e análise de mais dados.

Considerando o desempenho observado nesse voo experimental, tecnicamente não há restrições para o funcionamento regular do motor com essa mistura de biocombustível, e a engenharia da TAM (2010), pelo relatório final após o voo, recomenda novos testes que utilizem a mistura de biocombustível e JET A1 com uma proporção mais elevada de biocombustível do que os 50% utilizados neste experimento.

5 ANÁLISE AMBIENTAL

Os biocombustíveis na aviação terão grande impacto nas emissões globais da indústria da aviação. A análise do ciclo de vida (ACV) de algumas das fontes dos biocombustíveis que têm sido exploradas apresenta uma redução de cerca de 80% nas emissões com relação ao combustível fóssil utilizado atualmente. Enquanto a indústria está desenvolvendo etapas significativas na melhoria da eficiência das aeronaves

com relação aos primeiros jatos da década de 1960 (mais de 70% em eficiência de combustível), os biocombustíveis levarão o setor a alcançar as metas de redução de emissões estabelecidas (AIR TRANSPORT ACTION GROUP, 2009).

Pelo fato de a aviação ser uma atividade global e o querosene de aviação uma *commodity* global, deve haver um alinhamento de uma metodologia reconhecida mundialmente com a finalidade de apresentar uma visão clara da capacidade de um determinado biocombustível cumprir os regulamentos nacionais ou regionais existentes, além de evitar a necessidade de múltiplas avaliações e certificações dos biocombustíveis (SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION, 2011).

Os biocombustíveis apresentam grande importância na estratégia do setor de aviação para a redução das emissões de GEE. Mesmo que determinada matéria-prima não apresente potencial para deslocar grandes quantidades de combustíveis fósseis, pode beneficiar a economia local e fornecer experiências importantes relativas à produção e técnica de processamento. O grande desafio é desenvolver a produção dos biocombustíveis em larga escala e comercializar matérias-primas que podem ser cultivadas de forma sustentável, a preços competitivos (INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, 2010).

6 ANÁLISE ECONÔMICA

As companhias aéreas só estarão dispostas a utilizar os biocombustíveis caso haja uma compensação financeira. Atualmente, os biocombustíveis disponíveis para a aviação são raros e caros, e as estimativas para o custo de produção dos biocombustíveis sugerem que as companhias aéreas gastariam o dobro do que gastam com o querosene, e, conseqüentemente, os seus passageiros também gastariam o dobro para adquirir suas passagens aéreas. Porém, espera-se que, com a maior oferta e maior utilização em operação, devido à escala, seus preços sejam reduzidos (SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION, 2011).

As políticas de apoio são fundamentais para impulsionar a indústria de biocombustíveis, atrair investimentos, acelerar o crescimento da indústria e fornecer benefícios no longo prazo da economia. Como acontece com qualquer fonte nova de energia, o apoio político é fundamental nos primeiros anos. Não há necessidade de financiamento público permanente, mas sim de concentração de investimentos públicos e apoio político até que a indústria esteja em uma base economicamente competitiva, que são recomendações de políticas específicas que irão estimular a criação de

combustíveis sustentáveis para a indústria aeronáutica (AIR TRANSPORT ACTION GROUP, 2009).

O custo do carbono vai, provavelmente, mudar a economia do uso de querosene. A partir de 2012, como resultado da aplicação do limite de emissões dos Estados Unidos e da União Europeia ao transporte aéreo, as companhias aéreas que voam de e para aeroportos europeus deverão adicionar o custo das licenças de emissão de carbono na compra do querosene (SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION, 2011). No entanto, a redução de custos deverá seguir os mesmos caminhos trilhados pelos outros combustíveis renováveis, como o etanol e o vento, a partir de economias de escala e do custo de aprendizagem (INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, 2010).

7 CONCLUSÃO

Dada a projeção de crescimento do setor aéreo, a necessidade de buscar soluções para a redução de emissões de GEE, a grande participação dos combustíveis no custo das companhias aéreas e a volatilidade dos preços do petróleo, a premente necessidade de buscar alternativas fica cada vez mais clara para o setor da aviação.

A aviação possui uma série de pré-requisitos técnicos e barreiras econômicas que inviabilizam, no curto e médio prazos, grandes mudanças nas tecnologias existentes das aeronaves e nos sistemas de distribuição do combustível utilizado, o JET-A1. Os combustíveis *drop-in* têm se apresentado como a solução mais viável para atender a todas as projeções de redução de emissões. O estudo de caso deste trabalho foi utilizado pela ASTM para a aprovação da ASTM 7655, norma que aprova a utilização de alguns biocombustíveis *drop-in* nos mesmos moldes do combustível tradicional. O sucesso do voo e a qualidade e precisão da coleta de dados foram fundamentais para a validação do teste e sua utilização no processo de certificação do combustível sustentável.

Pôde-se observar um comportamento normal dos motores operando no mesmo regime, porém um com JET-A1 e o outro com o biocombustível. As propriedades termo e hidrodinâmicas do biocombustível se mostraram coerentes com as do combustível tradicional, e não houve mudança na condição dos motores e sistemas após o teste.

A barreira técnica para a utilização do bioquerosene foi vencida. Entretanto, o biocombustível não tem um preço competitivo em relação ao combustível tradicional, sendo seu valor aproximadamente 2 a 2,5 vezes maior. As previsões dos preços do petróleo, sua instabilidade e a cobrança de créditos de emissão são incentivos a projeções de redução do custo dos biocombustíveis para aviação.

Há a necessidade de desenvolvimento das culturas das matérias-primas eleitas e de seus processos de refino, principal foco de investimento nessa nova fase. O aperfeiçoamento e a ampliação da cadeia de suprimentos e de distribuição irão gerar também uma redução significativa nos custos.

A formação de políticas públicas de incentivo pode desempenhar um papel importante na viabilização comercial dos biocombustíveis.

O desenvolvimento tecnológico da produção e distribuição do bioquerosene e a produção em escala comercial, em conjunto aos incentivos públicos, trarão reais chances de viabilizar a alternativa. Com isso, o setor poderá ter maior estabilidade com a redução da dependência do petróleo e poderá atingir as metas de redução de emissões, além de proporcionar o desenvolvimento socioeconômico.

NEW FUELS FOR AVIATION: A CASE STUDY

Abstract

The airline industry accounts for 3% of global CO₂ emissions and is growing at a rate of 5 to 10% per annum. The jet fuel represents 40% of operating costs of Brazilian airlines. In this context, this paper aims to study the use of bio-jet fuels in aviation through a case study presenting the first flight using biofuel in Latin America, the technical analysis of results as well as economic/environment fronts for the viability of biofuels in sector. It is observed that there are no technical barriers; however, policies are needed incentive.

Keywords: Air transport, CO₂ emissions, bio-jet fuel.

REFERÊNCIAS

AIR TRANSPORT ACTION GROUP. *Beginner's guide to aviation biofuels*. Geneva: Atag, 2009. Disponível em: <<http://www.atag.org>>. Acesso em: dez. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE PINHÃO MANSO. *Conhecendo o pinhão manso*. 2009. Disponível em: <<http://www.abppm.com.br/>>. Acesso em: 16 out. 2010.

BORGES, H. V. *Camelina, a planta sensação do biodiesel nos EUA*. 2007. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/plantas/oleaginosas.hm>>. Acesso em: 31 out. 2010.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Biocombustíveis aeronáuticos: progressos e desafios*. Brasília: CGEE, 2010.

- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Panorama energético das Américas e Caribe*. São Paulo: Fiesp, 2010.
- GAZZONI, M. TAM planeja voar com bioquerosene de pinhão manso. 2010. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/r1-tam-planeja-voar-biodiesel-pinhao-manso-280410.htm>>. Acesso em: 3 out. 2010.
- GELLER, H. S. *Revolução energética: políticas para um futuro sustentável*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2003.
- INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. *Report on alternative fuels*. Montreal: Iata, 2010.
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. *Environmental report 2010*. Icao, 2010.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Oil market report*. France: IEA, 2009.
- KINDER, J. D.; RAHMES, T. *Evaluation of Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosene (Bio-SPK)*. June 2009.
- MCKINSEY & COMPANY. *Estudo do setor de transporte aéreo do Brasil*. Relatório consolidado. Rio de Janeiro: McKinsey & Company, 2010.
- RAYOL, C. A. Biocombustíveis como alternativa viável. *Revista AgroAnalysis*, v. 30, n. 9, p. 32-35, set. 2010.
- RIBEIRO, A. TAM vai testar avião movido a pinhão. 2010. Disponível em: <<http://colunas.epoca.globo.com/planeta/2010/04/28/tam-vai-testar-aviao-movido-a-pinhao/>>. Acesso em: 3 out. 2010.
- SIMÕES, A. F. *O transporte aéreo no contexto de mudanças climáticas globais: emissões de CO₂ e alternativas de mitigação*. 2003. Tese (Doutorado em Planejamento Energético)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION. *Final report 2011*. France: Swafea, 2011.
- TAM – Linhas Aéreas Marília. *Engineering report: ER-A320-73-001. Experimental Flight Using Biofuel on Engine #2 of Aircraft PR-MHF in GIG (Galeão – RJ)*. São Paulo: TAM, 2010.

Contato

Ramón Stortini González Velázquez
e-mail: ramon.gonzalez@tam.com.br