ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS COMPANHIAS AÉREAS POR ROTAS: CASO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DO RECIFE

Daniel Lopes Nader de Azevedo, Viviane Adriano Falcão, Hélio da Silva Queiroz Júnior*
Federal University of Pernambuco, Technology and Geosciences Center - CTG

*** Corresponding author e-mail address**: helio.junior@ufpe.br

PAPER ID: SIT126

ABSTRACT

The high demand for air transport for passengers or transport of cargo and goods has been providing logistical changes in airport infrastructure, while efficient solutions require improved economic performance as well as reduced impacts on the climate crisis that the world is going through. The increase in air demand drives competition between airlines, as they must have aircraft with up-to-date equipment maintenance and suitable for each type and nature of flight. Thus, this work aims to evaluate the efficiency of four airlines operating at Recife/Guararapes International Airport (SBRF) in 2019 for each type of flight, evidencing the performance results obtained by the application of Data Envelopment Analysis (DEA) in two scenarios, as well as commenting on the results evidencing possible effects of each company's aircraft on the results. In general, the analysis showed that Azul has greater efficiency than its competitors, mainly due to the adoption of the ATR-72 model on short-haul flights. In addition, the application of the model showed that long flights are more efficient than short or medium-haul flights, with the company with the lowest performance being approximately 99% efficiency.

Keywords: Efficiency, Airlines, DEA.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas muito tem se debatido quanto ao impacto da emissão de poluentes pelas aeronaves no aquecimento global e quais suas consequências e formas de mitigar ou eliminar essas substâncias das rotas de aviação. O combustível de aviação é um derivado de petróleo usado geralmente de uma qualidade maior que outros combustíveis fosseis com menos aplicações críticas para o aquecimento ou transporte, e nele estão contidos mais aditivos para reduzir o risco de congelamento ou até mesmo de explosão em temperaturas extremas, além de outras propriedades físico-químicas.

Segundo dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), de 2005 a 2014, o movimento das aeronaves no Brasil cresceu cerca de 75%, ao passo que as emissões de poluentes na atmosfera cresceram em 1,6 mil toneladas, um aumento de 32%. Os voos domésticos representaram 83% das emissões de poluentes, como o monóxido de carbono (CO), e os voos internacionais 17%, além da presença de outros gases também tóxicos ao meio ambiente. Somente em 2018, pouco menos de 18 bilhões de kg de dióxido de carbono (CO2) foram emitidas pelas aeronaves pelo Brasil sendo responsável por cerca de 55% de emissões em voos nacionais e 45% em voos internacionais.

O crescimento no transporte aéreo estimula o consumo de combustível de aviação, sendo necessário que a cadeia deste insumo se adeque a possíveis aumentos de demanda das companhias aéreas. Devido a isto, as empresas que fornecem abastecimento devem visar as melhores soluções para garantir o suprimento e sua segurança operacional nos processos. Assim, torna-se de grande importância a simples melhoria e aperfeiçoamento de processos para redução de custos do combustível de forma a auxiliar na elucidação de alterações na cadeia deste produto para atender o mercado futuro.

Desta forma, o presente artigo objetiva analisar o desempenho de energia por rota e avaliar viabilidade de criação de estratégias operacionais para gestão dos aeroportos da malha aérea brasileira pelas companhias.

Além dissom propor soluções ao setor aeroportuário quanto a adoção de estratégias e equipamentos visando diminuição da emissão de gases poluentes das aeronaves e possíveis reestruturações da infraestrutura utilizando o modelo não-paramétrico DEA, em concordância com a Lei de Criação da ANAC (Lei nº 11.182, de 27 de setembro de 2005) que estabelece à Agência regular e fiscalizar as atividades de aviação civil e da infraestrutura aeronáutica e aeroportuária, observadas as orientações, políticas e diretrizes do Governo Federal.

2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS COMPANHIAS AÉREAS

Visando operações aéreas cada vez mais lucrativas e econômicas, todas as partes de um voo apresentam oportunidades de terem o seu consumo otimizado em decorrência da responsabilidade de estabelecer procedimentos próprios e em sintonia com as melhores práticas industriais, olhando continuamente a segurança e a eficiência. Nesta conjuntura, a infraestrutura aeroportuária interfere diretamente neste segmento, porque o consumo de combustível no taxiamento do voo é proporcional ao número de curvas, paradas e acelerações a que uma aeronave é submetida (KHADILKAR & BALAKRISHNAN, 2011).

Para Moriarty e Honnery (2012), a eficiência energética é um conceito dinâmico, que deve sofrer evolução com as conjunturas analisadas. No sistema de transporte, a eficiência energética deve ser mensurada a partir de um ponto de vista técnico, considerando as mudanças termodinâmicas envolvidas no sistema ou integrando o sistema e as pessoas. Neste caso especifico, a eficiência energética deve relacionar a energia consumida com algum *output* que seja útil aos usuários do sistema.

Segundo estudo de Chezè et al. (2011), foi aplicada a técnica de *forecasting*, que consiste em previsão utilizando analise de series temporais a partir de regressão múltipla de variáveis, como a demanda de combustível de aviação em uma análise de médio prazo, com previsões para 2025, com oito zonas geográficas e em escala mundial. A metodologia consistiu em dois passos, o

primeiro consistia em prever o fluxo total de tráfego e quais taxas havia crescimento ao longo dos anos, enquanto o segundo era responsável pela conversão da previsão de demanda em termos de quantidade de combustível em termos de coeficiente energético. Os resultados apontaram que a eficiência do consumo de combustível aumentou nas regiões estudadas no período de 1983 a 2006, além de concluir que a demanda por combustível de aviação não deva aumentar nesses territórios, apesar do tráfego aéreo aumentar. Ainda concluíram que três dessas oito regiões analisadas tem expectativa de diminuição de sua demanda até 2025 devido ao aumento da eficiência energética pelo aperfeiçoamento das tecnologias.

Jensen e Yutko (2014) indicam que em média a trajetória a ser voada é 9% superior à distância real em uma linha reta, devido a congestionamentos, estruturas aeroportuárias e relevo em torno do aeroporto. Um planejamento bem feito do voo aliado a uma política de abastecimento apropriada é um exemplo de forma para aumento da eficiência energética do combustível de aviação além da determinação do FIR (Região de Informação de Voo) que consiste no espaço aéreo de dimensões definidas nas cartas publicadas pelo CECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), dentro do qual são proporcionados serviços de informação e alerta de voos. Ainda segundo os autores, a aquisição de aeronaves mais modernas pode ocasionar em uma economia de combustível perto de 20%, conquanto que haja investimentos em tecnologia.

Dessa forma, Brueckner e Abreu (2017) estimaram um modelo simples de uso de combustível em companhias aéreas, conectando o uso a um pequeno conjunto de variáveis cruciais. Os resultados permitiram uma avaliação de como as mudanças na frota, nas características operacionais de uma companhia aérea, e no preço do combustível que ela demonstra, afetam o uso de combustível e nível de emissões de carbono proporcional ao uso. Este estudo, porém, identifica outra mudança operacional que reduz o uso de combustível e suas emissões que pode ser alcançado por meio de políticas públicas de redução dos atrasos nos voos.

Enquanto que Cui e Li (2015), propuseram que o número de funcionários, estoque de capital e toneladas de querosene de aviação fossem escolhidas como *inputs*. Já RTK (*Revenue Ton Kilometer*), RPK (*Revenue Passenger Kilometer*), receita total de negócios e volume de emissão de gás carbônico são selecionados como os *outputs*. O modelo de eficiência cruzada benevolente de fronteira virtual (*Virtual Frontier Benevolent* DEA *Cross Efficiency*) ou VFB-DEA foi aplicado para avaliar a eficiência energética de 11 companhias aéreas entre os anos de 2008 e 2012. É proposto o uso desse modelo de eficiência cruzada que resolve duas limitações do modelo DEA tradicional: a limitação de auto avaliação e a limitação em distinguir DMUs (*Decision Making Unit*) eficientes no DEA.

3. METODOLOGIA

O universo da pesquisa serão as companhias aéreas que atuam no Aeroporto do Recife que possuem todos dados disponíveis a respeito de seus voos, através do banco de dados da ANAC para o ano de 2019, e avaliar sua eficiência energética levando em consideração infraestrutura e rota.

Em se tratando de infraestrutura aeroportuária, serão analisados os impactos sobre a eficiência energética que os modelos das aeronaves utilizadas pelas companhias aéreas que atendem ao Aeroporto do Recife como origem dos voos. Além disso, investigar a correlação entre a competição dentre as companhias aéreas e sua eficiência energética e analisando através do uso da Análise de Envoltória de Dados (DEA) que é uma metodologia de programação linear que quantifica empiricamente a eficiência relativa de múltiplas entidades semelhantes, ou DMU, (Cooper et al., 2007). Adicionalmente, comparar os desempenhos energéticos das companhias subdividindo entre tipos de distância de voos e, por fim, propor possíveis restruturações da malha do aeroporto em questão ou novas estratégias de distribuição de voos pelas companhias.

No que se refere a rota, será analisada a relação entre eficiência energética e concorrência entre as quatro companhias

aéreas e identificar o que as distinguem. Essas empresas se empenharão mais em oferecer melhores condições aos seus passageiros quanto maior for a competição entre as companhias, levando em consideração pontualidade ou preço das passagens aéreas e valores adicionais por excesso de bagagem, por exemplo.

O *software* utilizado para análise pelo método não-paramétrico da Análise Envoltória de Dados (DEA – *Data Envelopment Analysis*), que determina a fronteira por meio de técnicas de programação matemática e permite relacionar os inputs e outputs que farão parte deste trabalho, foi o *software MaxDEA*. A Figura 1 mostra o caminho a ser seguido por esse estudo:

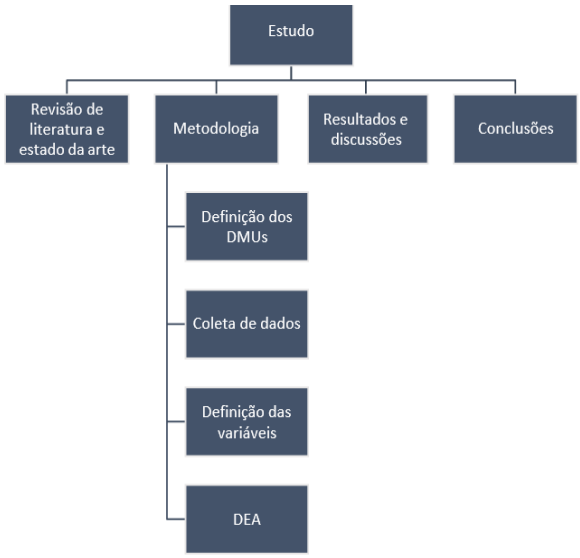


Figura 1 – Fluxograma de etapas deste estudo

3.1. Banco de dados e descrição das variáveis

A base de dados que será utilizada neste estudo, considerando dados mensais do período de janeiro a dezembro de 2019, avaliará a eficiência energética em relação aos tipos de rotas de voos – curta, média e longa distância – bem como sua natureza, domestica ou internacional, entre companhias aéreas que atuam no Aeroporto Internacional do Recife.

A base de dados estatísticos do transporte aéreo do Brasil considerada foi retirada do site eletrônico da ANAC (2019). Os dados considerados foram: combustível, Payload, ASK (*Available seat kilometer*), ATK (*Available tonne kilometer*), RPK (*Revenue seat kilometer*), RTK (*Revenue tonne kilometer*) e distância voada. Abaixo será explicado em detalhes os dados considerados.

Para este estudo, serão feitas análises de eficiência energética em relação aos tipos de voos e sua natureza, dividindo esta análise em dois cenários, onde no Cenário 1 possui combustível e *payload* como dados de entrada e RPK, RTK e distância voada como dados de saída, enquanto no Cenário 2 possui combustível, ASK, ATK como dados de entradas e RPK, RTK e distância voada como dados de saída.

Tabela 1 – Cenários do estudo de eficiência energética.

	Inputs	***Outputs***
1	Combustível (litros)	RPK
	Payload	RTK
		Distância voada (km)
2	Combustível (litros)	RPK
	ASK	RTK
	ATK	Distância voada (km)

A natureza do voo refere-se à natureza das etapas, sendo doméstica, caso as etapas tenham pouso e decolagem realizados no Brasil e internacional caso contrário. Os tipos de voos são classificados para este trabalho em: Voo curto é aquele com até 500 km de distância entre o par de aeroportos; voo médio entre 500 e 1500 km e longo acima de 1500 km.

Os nomes das DMUs do estudo serão uma junção da média da empresa aérea e seu tipo de distância e natureza do voo. Voos com algum dado zero ou faltando para estes cenários foram descartados, fazendo com que somente quatro companhias partindo de Recife sejam analisadas, que são a AZUL, GOL, OCEANAIR (Avianca) e TAM, totalizando 14 DMUs, sendo 4 para voos curtos, 3 para voos médios, 4 para voos longos domésticos e 3 para voos longos internacionais. A companhia OCEANAIR é a única que possui apenas dados de voos curtos e longos de natureza doméstica, para o estudo em questão. A Figura 2 apresenta a movimentação total de passageiros das

companhias aéreas estudadas para o Aeroporto do Recife:

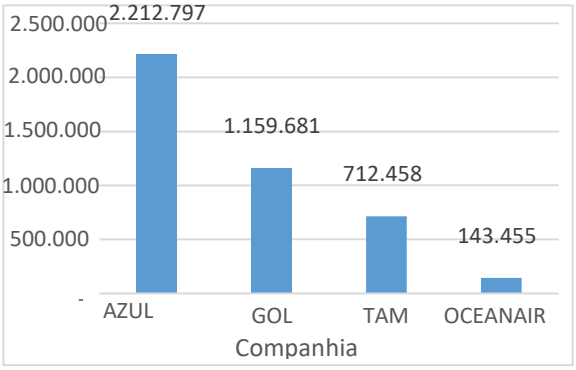


Figura 2 – Movimentação de Passageiros no Aeroporto do Recife em 2019

3.2. Modelagem

Considerando o anuário da ANAC para o período de janeiro a dezembro de 2019 e suas informações de voos com origem no Aeroporto de Recife, foram arbitrados esses cenários, como citado anteriormente por companhia aérea e tipo de voo. Com isso, os modelos a serem desenvolvidos serão CCR orientado a inputs, CCR orientado a outputs, BCC orientado a inputs e BCC orientado a outputs, de tal forma que seja possível uma análise comparativa entre seus resultados. As modelagens foram feitas utilizando o software MaxDEA 8 Basic.

Devido ao modelo CCR apresentar retornos constantes de escala, os dados geram uma reta cuja representação implica que DMUs que estejam na reta são consideradas eficientes e abaixo delas as ineficientes. No que se refere ao modelo BCC, trata-se do modelo CCR incorporando a possibilidade de retornos variáveis de escala, em outras palavras, o modelo BCC demonstra uma fronteira de eficiência que comporta retornos variáveis de escala. Por apresentar retornos variáveis de escala, o formato torna-se um quarto de elipse. DMUs que se encontram sobre a curva são consideradas eficientes enquanto as demais que se encontram abaixo da curva são as ineficientes. Uma exemplificação de melhoria de eficiência quando a DMU se encontra abaixo da curva para o cálculo da eficiência relativa, essa DMU não tem eficiência máxima, porém, orientando-a para inputs (diminuir insumo para produção da mesma quantidade de produtos), a DMU atingirá a fronteira e, consequentemente, 100% de eficiência. O mesmo processo pode ser realizado orientando-a outputs, atingindo fronteira de eficiência máxima.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os modelos citados limitam-se a retornos constantes de escala e retornos variáveis de escala, ambos orientados a *inputs* e *outputs*. Esta consideração em termos da orientação dos modelos permite uma visão detalhada, na qual seja possível a otimização dos recursos, concomitantemente a maximização dos produtos, em termos de gerenciamento de insumos às aeronaves utilizadas pelas companhias aéreas.

Os dados utilizados no cenário 1 consideraram o peso transportado pela aeronave, bem como o quantitativo de passageiros e carregamentos pagos.

O cenário 2 foi pensado da mesma forma, mas dando importância também ao volume transportado e quantidade de assentos oferecidos. Essa diferença nos cenários influencia na tomada de decisão das companhias aéreas quanto aos custos associados a cada voo, devido a tripulação, pessoal de apoio, limpeza e conservação da aeronave, combustível e serviços para atender os passageiros.

O fator de aproveitamento ou taxa de ocupação (load factor), que diz respeito à relação entre oferta e demanda, foi calculado por voo ou por etapa de voo, através da divisão do total de assentos ocupados por passageiros pagantes pelo total de assentos oferecidos em cada caso. Para uma companhia ou para a indústria, é calculado a partir da divisão do total de RPK pelo total de ASK daquela companhia ou de todas as companhias. Também pode ser aplicado de forma análoga para o transporte de cargas, indicando o quanto da capacidade ofertada foi efetivamente ocupada por itens que geraram receita para uma companhia.

A dificuldade na obtenção de dados completos relativos a cada companhia aérea é característica do modelo matemático em questão, fundamentando a escolha de variáveis relacionadas à movimentação por sua maior disponibilidade no banco de dados da ANAC

(2019). Como nem todas informações de voos estavam totalmente preenchidas, somente estas 4 companhias estão sendo avaliadas.

Conforme os microdados da ANAC para o ano de 2019, foi possível levantar quais aeronaves são utilizadas para cada companhia aérea que tem suas atividades no Brasil, além de estimar a autonomia da aeronave em quilômetros por litro levando em consideração a razão entre a distância voada pelo combustível. Esta relação é uma média de todos os voos com origem no Aeroporto de Recife e não entrou na modelagem DEA, sendo apenas um parâmetro de comparação com o resultado final deste estudo. A quantidade de assentos é dada também nos microdados, bem como o tipo de serviço, sendo de carga ou de passageiro para cada voo. Para o caso da quantidade de assentos, os valores não representam a quantidade total de assentos da aeronave e sim a quantidade de assentos ofertados pelas companhias aéreas, apresentados na Tabela 6.

Levando em consideração o critério autonomia, a Azul possui a maior autonomia média dentre as quatro de 0,2347 km/L, sendo o modelo Aerospatiale/Alenia ATR 72 Freighter o avião com melhor autonomia deste trabalho com 0,3798 km/L. Segundo folheto do fabricante, essa aeronave de médio porte é voltada para o mercado de taxi aéreo de passageiros em rotas domésticas, operando em curtas e médias distâncias, ideal para infraestruturas aeroportuárias de menor porte. O modelo ATR-72 possui propulsão de turboélice com mais potência estática aeronaves a jato de mesmo tamanho, facilitando operações de pouso com pistas 2 km ou menos de comprimento. Além disso, chega à velocidade máxima de 511 km/h, alcance de 1.528 km e uma altitude de 25 mil pés.

Visto que quanto maior a velocidade da aeronave maior será seu consumo de combustível, as aeronaves ATR-72 da Azul apresentam quase 50% de uso da potência máxima, o que pode influenciar positivamente na autonomia da aeronave.

Nesse estudo, a GOL possui modelos de aeronave Boeing-737 tendo 3 variantes no que diz respeito a suas especificações de tamanho e capacidade. Enquanto a TAM porta de modelos Airbus A319, A320 e A321 além de um Boeing 767 Greighter. Essas aeronaves de ambas companhias viajam em média 1.600 km em voo, com exceção do Boeing 767 da TAM que tem distância média de voo de mais de 5.000 km. Essas aeronaves são de porte maior que os utilizados pela AZUL quando voos curtos e médios são considerados.

4.1. Voos de Curta Distância

A distância dos voos influencia bastante sobre a eficiência energética das aeronaves pelo fato do maior consumo de combustível ocorrerem nos momentos de pouso e de aterrissagem e não em momentos de cruzeiro pela aeronave estar numa velocidade constante e, a depender da situação, tendo o benefício dos ventos. Entretanto, a AZUL é o benchmark desta análise para voos curtos pelo fato de suas aeronaves serem mais adequadas às rotas com uma autonomia de voo maior que de suas concorrentes.

Além da especificidade do ATR-72, a AZUL mostrou-se a mais eficiente tanto no CCR quanto no BCC, ambos orientados a insumos e produtos. Adicionalmente, ela teve a maior média de distância voada dentre as companhias, com aproximadamente 279,68 km voados, seguido da GOL com 173,00 km voados. Outrossim, o gasto com combustível foi menor com uma média de 853,53 L, mostrando-se um outlier quando é feita a comparação com as outras companhias.

Outro fator determinante que influencia este cenário é o modelo das aeronaves adotadas pelas outras companhias. Enquanto para voos curtos a preferência da AZUL seja a adoção de modelos econômicos como o ATR-72, nas outras companhias predominam modelos Boeing 737, Boeing 767 e Airbus A320, aviões de portes consideravelmente maiores que o ATR-72, com uma média de assentos ofertados de 179 enquanto na AZUL a média chega a 122 por voo, com o modelo ATR puxando a média para baixo com 68 assentos ofertados.

Dentre os menores desempenhos, aparece a TAM, que apesar da distância voada ser consideravelmente menor que a AZUL, apresenta *payload* 71,34% maior e, consequentemente, consumo maior de combustível que o benchmark. Essa

constatação pode ser elucidada melhor quando há uma comparação das especificações técnicas das aeronaves utilizadas pela própria TAM, que usa modelos Airbus e Boeing, considerados aeronaves de maior porte e que possui em média 190 assentos ofertados por voo em 2019 além de atingir velocidades maiores que o ATR-72, onde este atingiu velocidade de 246,81 km/h e aqueles em média 643,60 km/h por voo.

Entretanto, quando é feita a modelagem BCC orientada a produtos, maximizando a saída e mantendo entrada inalterada, há uma piora na eficiência destas DMUs, com exceção do benchmark. Isso se deve pela limitação que cada aeronave apresenta, visto que num possível aumento de oferta de passageiros ou de peso transportado, impacta diretamente sobre o consumo de combustível devido ao aumento de peso interno das aeronaves. Para o caso da AZUL, o modelo ATR-72 se mostra, mais uma vez, o ideal para uso em rotas de curtas distâncias uma vez que os serviços que a companhia demanda deste avião vão desde transporte de passageiros, transporte de carga ou ambos, dando uma maior margem estratégica de demanda para a AZUL.

No segundo cenário para voos curtos, há uma maior distribuição de eficiência dentre as companhias aéreas, com a AZUL, novamente, na liderança do ranking em todas as modelagens e orientações de insumo ou produto do estudo.

Comparando com o cenário 1 que tem a TAM com pior desempenho, no cenário 2 este lugar fica a cargo da GOL apesar de terem eficiência maior que 80%. Um decremento nos inputs, neste caso, não apresenta uma relação direta entre ambas as companhias, pois a taxa de ocupação da TAM é de 17,81% enquanto a GOL apresenta 0,09%, o que demonstra uma melhor distribuição de peso nas suas aeronaves, apesar da autonomia média ser de 81% da autonomia média da GOL.

4.2. Voos de Média Distância

Em voos médios, a OCEANAIR foi desconsiderada por não apresentar dados completos na base do anuário da ANAC (2019). Neste cenário, a AZUL é a mais eficiente disparando em relação as demais, assim como no Cenário 1 de voos curtos. Como apontado abaixo, a AZUL é a que consome menos combustível apesar de um *payload* próximo de suasconcorrentes, contudo, quase metade dos passageiros e carga transportadas em comparaçãocom a GOL e TAM.

No que se refere ao modelo CCR, independente da orientação os resultados se assemelham. No modelo BCC quando se minimiza insumos e mantem produto inalterado, nota-se uma melhora em sua eficiência quando é feita conferência quando se maximiza produtos e mantem insumo inalterado. Essa observação é quase imperceptível sobre a AZUL, porém evidente nas rivais.

O Cenário 2 apresenta um nivelamento dentro de cada companhia aérea, mas a AZUL deixando de ser benchmark deste cenário quando é analisada através do modelo CCR com uma eficiência de 99,6% da TAM e de 97,8% da AZUL. Isso se deve ao fato de a TAM ofertar mais assentos e oferecido mais transporte de carga em comparação a AZUL, ao passo que os passageiros pagos e carga transportada representarem quase o dobro que a sua concorrente, além de uma menor média de distância voada com uma diferença de pouco maisde 50 km.

Já no modelo BCC, a ordem muda e a AZUL retoma a liderança do benchmark e logo atrás a TAM com eficiência de 99,9%. Isso se deve mais pelo consumo médio de combustível da ATR pela AZUL ser de 3.570,71 L e distância média voada de 947,5 km, enquanto a TAM tem 6.021 L e 800,25 km, respectivamente. Este tipo de voo demonstra a estratégia que o consumo de combustível por quilometro influência no resultado deeficiência energética da frota de aviões do modelo ATR-72 da AZUL.

No que se refere aos voos de longa distância, sendo de natureza doméstica ou internacional, a análise torna-se mais complexa visto que para Khadilkar e Balakrishnan (2011) o consumo de combustível no taxiamento do voo é proporcional ao número de curvas, paradas e acelerações em que uma aeronave é submetida. Como o tempo de cruzeiro é muito maior que o tempo de taxi neste caso, a infraestrutura aeroportuária tem pouco impacto sobre sua

eficiência como um todo. Por isso, uma análise quantitativa quanto aos pormenores da infraestrutura aeroportuária na origem ou destino e as especificações técnicas das aeronaves torna-se imprescindível nesta avaliação considerando distâncias maiores que 500 km das viagens.

4.3. Voos Domésticos de Longa Distância

Quando é feita avaliação dos voos longos domésticos no Cenário 1, as companhias AZUL, GOL e OCEANAIR tem performances iguais, sendo a TAM única com comportamento diferente, apesar de apresentar eficiência de 99,4% no modelo CCR, o que já demonstra uma eficiência alta e muito aproximada das demais. A TAM utiliza aeronaves de grande porte dos modelos Airbus A319, A320 e A321 e Boeing 767. A autonomia de viagem média da companhia é de aproximadamente 0,18 km/L logo abaixo da OCEANAIR com 0,22 km/L, fazendo com que a TAM tenha a menor autonomia em relação as demais concorrentes.

Apesar dessa desvantagem perante as demais, isso não necessariamente representa umdemérito para a TAM. Ela é a que apresenta maior *payload* e concomitantemente maior relação de passageiros pagos e toneladas transportadas, com *market share* de aproximadamente 30% do mercado.

A análise aplicada ao Cenário 1 se repete também no Cenário 2, mas removendo o payload da avaliação e aplicando os assentos e toneladas ofertadas, na forma de ASK e ATK. Neste cenário, a OCEANAIR equipada com o seu Airbus A320 apresenta maiores valores ASK e ATK dando uma falsa sensação de baixa eficiência por ofertar mais lugares e poder transportar mais do que as demais, apesar de transportar bem menos passageiros que o resto. Porém, no balanço da eficiência, isso não afeta negativamente a eficiência energética da antiga AVIANCA devido a autonomia de sua aeronave atingir 0,22 km/L e a AZUL e GOL apresentarem 0,23 km/L e 0,22 km/L, respectivamente. Essa razão entre combustível e distância voada diretamente da base de dados da ANAC permite uma avaliação rápida perante a autonomia efetiva das aeronaves utilizadas por essas companhias aéreas, apesar de não entrar diretamente no DEA.

4.4. Voos Internacionais de Longa Distância

Em se tratando de voos de longa distância internacionais a OCEANAIR foi desconsiderada por não apresentar informações completas na base de dados do anuário da ANAC (2019). Não há uma diferença em termos de eficiência energética independente do modelo e sua orientação. Isso evidencia mais uma vez a afirmação de que tempo de cruzeiro maiores em comparação ao tempo de partida e pouso – onde há maior consumo de combustível das aeronaves.

Enquanto no Cenário 1 cabe uma análise quantitativa dos modelos de aeronaves devido à similaridade de suas eficiências energéticas, o mesmo não pode ser dito do Cenário 2 onde há uma diferença de quase 5% da TAM como benchmark e da AZUL, com aproximadamente 96%, conforme Gráfico 8. Neste cenário, a TAM adquire menos combustível e viaja em média mais do que a AZUL, além desta ofertar maior capacidade de carga e de assentos que a anterior. Isso pode ser explicado pelas dimensões de cada aeronave, visto que esta limitação espacial pode comprometer a eficiência das companhias aéreas, evidenciando a influência da infraestrutura sobre os custos operacionais delas.

Para essa natureza de voo, a AZUL dispõe de Airbus 320neo e 330-200 Freighter que chegam a medir 37,57 metros e 59 metros de comprimento e envergaduras de 34,1 metros e 60 metros, respectivamente, enquanto a TAM possui Airbus A320-100/200 e Boeing 767- 300 Freighter medindo 37,57 metros e 48,5 metros de comprimento e 35,8 metros e 47,6 metros de envergadura, respectivamente. O Aeroporto Internacional do Recife-Guararapes possui dimensões de pista de 3,3 km de comprimento por 45 metros de largura, o que já dificulta uma manobra ou posicionamento na pista destas aeronaves citadas.

Por demonstrarem eficiência acima de 90% em todos modelos e orientações de inputs e outputs, fica evidente que a companhia aérea

deve possuir controle da distribuição das aeronaves e de seus trajetos, para que não tenham custos excessivos devido a uma externalidade como a infraestrutura aeroportuária, sazonalidade, procedimentos operacionais, variação de preço do combustível, regulação a qual está submetida ou movimentação de outras aeronaves das empresas aéreas concorrentes. Para que um aeroporto possa receber mais voos ou aviões maiores, é preciso um investimento robusto em infraestrutura dos terminais aéreos para que haja melhor acomodação e fluxo nas pistas.

5. CONCLUSÕES

A reflexão sobre os dados permite verificar que a companhia aérea AZUL possui maior eficiência sobre maioria dos tipos de voos com origem em Recife tendo 100% de eficiência em voos curtos, longos domésticos e internacionais para o Cenário 1 (nos modelos CCR orientado a inputs e outputs e no modelo BCC orientado a orientado a inputs) e voos curtos, longos domésticos e em voos médios (no modelo BCC) para o Cenário 2. As demais companhias possuíram desempenho próximo ao benchmark, mas com exceção dos médios da GOL e TAM e voos curtos da GOL, OCEANAIR e TAM, no Cenário 1. Neste recorte, a TAM conseguiu até 31,3% de eficiência.

Em voos curtos, o modelo ATR-72 adotado pela AZUL demonstra maior eficiência nesse tipo de rota. Além disso a mudança de cenário demonstrou uma diferença significativa sobre a eficiência das companhias aéreas, evidenciando como a adoção do *payload* como input, que é a capacidade total de peso na aeronave, afeta a eficiência das companhias. Além de tudo, o modelo BCC possui maior eficiência que o modelo CCR neste tipo de voo. Os índices de eficiências do modelo BCC com orientação independendo de entrada ou saída não são iguais, como acontece com o modelo CCR, devido fronteira possuindo forma convexa, porem preservando à classificação entre as unidades eficientes ineficientes.

No geral, o estudo mostrou que há um indicativo de que os voos mais longos são mais eficientes independendo do modelo de aeronave pelas companhias aéreas, já que no voo de cruzeiro o consumo de combustível é menor, além de abranger a maior porção do tempo total que a aeronave percorre durante o voo.

Importante salientar que mesmo obtendo *benchmark* e considerado como modelo de aproveitamento de recursos, cada aeronave tem suas características específicas, como tipo de motor (que afeta o consumo de combustível) e suas dimensões. Por conseguinte, as companhias aéreas devem adaptar as práticas mais eficientes para suas particularidades e não planejar idêntica alocação de recursos que seus pares. Uma recomendação que se tira deste estudo seria trabalhar somente com transporte de passageiros ou de cargueiros e ver se os resultados se manteriam, já que neste estudo não houve essa diferenciação.

O modelo DEA-SBM (*Slacks-Based Measure*), que lida diretamente com excesso de inputs e déficit de outputs das unidades de decisão tem o diferencial de admitir orientação simultânea entre input e output, fazendo com que haja minimização das distancias a serem percorridas para atingir a fronteira de eficiência.

Possíveis trabalhos futuros podem evoluir a partir desse tema, como uma análise mais aprofundada nas especificações técnicas e operacionais de cada aeronave que uma companhia aérea adota para determinado voo, bem como uma análise aprofundada sobre a infraestrutura aeroportuária, como área, tamanho de pista e presença de saídas rápidas, e sua influência e impacto sobre a eficiência energética das aeronaves, visto que no voo de cruzeiro o avião consome menos combustível do que nos momentos de decolagem e aterrisagem.

Adicionalmente como sugestão, uma análise trimestral ao invés da anual, visto que climas adversos podem influenciar sobre as condições de voo podendo modificar, sazonalmente, o tempo de voo e consumo de combustível. Outra sugestão, seria analisar o consumo de combustível pela aeronave correlacionando com o preço do combustível de aviação no mês de referência do voo. Além disso, aspectos ligados a manutenção e sistema de calibração que possam garantir melhor

desempenho das aeronaves e fazendo uma comparação com seu desempenho em um período maior de tempo.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Aviação Civil. ANAC. Anuário do Transporte Aéreo. Agência Nacional de Aviação Civil, 2014c.

Agência Nacional de Aviação Civil. ANAC. Lei de Criação da ANAC (Lei n° 11.182). Disponível em <https://www.anac.gov.br/acesso-a-informacao/institucional> Acesso em 01/07/2021.

BRUECKNER, J. K. e ABREU, C. Airline fuel usage and carbon emissions: Determining factors. Journal of Air Transport Management, v. 62, p.10-17, 2017.

CHARNES, A., COOPER, W.W. e RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 1978.

CHEZÈ, B; GASTINEAU, P. e CHEVALLIER, J.; Forecasting world and regional aviation jet fuel demands to the mid-term (2025). Energy Policy, v. 39, n.9, p.5147-5158. 2011.

COOPER, W. W., SEIFORD, L. M. e TONE, K.; Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software. 2nd Edition, Springer, New York, 2007.

COOPER, W. W., SEIFORD, L. M. e ZHU, J.; Data Envelopment Analysis: History, Model, and Interpretations. International Series in Operations Research & Management Science, New York, 1-39, 2011.

CUI, Q. e LI, Y. Evaluating energy efficiency for airlines: An application of VFB-DEA. Journal of Air Transport Management, v. 44-45, p.34-41, 2015.

JENSEN, L., YUTKO, B., Fuel burn reduction: How airlines can save costs, 2014.

KAO, C. Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model. European Journal of Operational Research, 2009.

KHADILKAR, H. e BALAKRISHNAN, H.; Estimation of aircraft taxi-out fuel burn using flight data recorder archives, 2011.

MORIARTY, P. e HONNERY, D. Energy efficiency: lessons from transport. Energy Policy, 2012.

TONE, K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research 130. 2001. 498-509.