

PREVISÃO DE DEMANDA POR COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO ATRAVÉS DA DEMANDA POR TRANSPORTE AÉREO

Ana Beatriz Rebouças Eufrásio¹

Ícaro Maurício Nogueira²

Bruno Vieira Bertoncini²

Rogéria de Arantes Gomes Eller¹

¹Departamento de Transporte Aéreo - Instituto Tecnológico de Aeronáutica

²Departamento de Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Ceará

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo geral propor um modelo que seja capaz de representar a demanda por combustível de aviação, considerando as perspectivas de demanda por transporte aéreo. Estudos de previsão de demanda são essenciais, uma vez que um dos principais desafios para a gestão aeroportuária é conciliar a infraestrutura e a demanda por transporte aéreo, considerando as incertezas inerentes ao setor. As empresas atuantes na cadeia de abastecimento da aviação também devem se ajustar ao novo cenário de forma a garantir o atendimento adequado e a manter sua competitividade. Assim, construiu-se um modelo econométrico de demanda aeroportuária a partir de dados históricos de PIB e *Yield*, considerando também aspectos sazonais do setor. Esse modelo foi posteriormente utilizado para a projeção de demanda por transporte aéreo, analisada sob as perspectivas de diferentes cenários em um horizonte de projeto de quatro anos, de 2017 a 2020. Em seguida, analisou-se historicamente a relação entre transporte aéreo e o consumo de combustível e, com isso, realizou-se a projeção de demanda por combustível de aviação. De uma maneira geral, as projeções apresentaram taxas de crescimento modestas.

ABSTRACT

This paper aims to propose a demand prediction model for aviation fuel, considering the perspectives for air transportation demand. Demand forecasting studies are essential, since one of the main challenges for airport management is to harmonize the infrastructure and the air transportation demand, considering the intrinsic uncertainties of this sector. Companies that operate in the aviation supply chain should also adjust to the new scenario in order to ensure a proper service and maintain their competitiveness. Thus, an econometric model for airport demand was constructed from historical data of GDP and Yield, also considering seasonal aspects of the sector. This model was later used to forecast the air transportation demand, analyzed under the perspective of different scenarios in a four-year project horizon, from 2017 to 2020. Next, the relationship between air transportation and fuel consumption was investigated and, with this, the projection of demand for aviation fuel was carried out. Overall, the projections presented modest growth rates.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o número de usuários do transporte aéreo aumentou expressivamente no Brasil, segundo dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2017). O número de passageiros transportados passou de 59,7 milhões em 2007, para 109,6 milhões em 2016, representando um aumento de 83,7% na demanda. Segundo Busto *et al.* (2006), a aviação comercial no Brasil passou por um processo de transformação a partir da década de 1990, permitindo a entrada de novas companhias aéreas e a remoção de controles tarifários. O acelerado crescimento econômico do país, associado a esse cenário mais competitivo, possibilitou a conquista de novos consumidores, contribuindo assim para o crescimento da demanda por transporte aéreo no Brasil. No entanto, como a infraestrutura aeroportuária não acompanhou o crescimento do setor (McKinsey & Company e BNDES, 2010), a escassez e o uso ineficiente dos insumos envolvidos nos serviços de transporte aéreo podem aumentar o descompasso entre demanda e capacidade instalada.

O combustível de aviação é um dos principais insumos do setor, tanto do ponto de vista do tempo consumido com a operação de abastecimento, quanto sob a ótica financeira, sendo o item operacional com a maior participação na composição dos custos das companhias aéreas,

tendo representado 37% dos custos totais dessas empresas em 2014, segundo a ANAC (2017). A quantidade de combustível consumida durante a operação de uma aeronave está relacionada a diversos fatores, como tipo de aeronave, peso transportado, velocidade, distância percorrida e até condições climáticas. A eficiência no uso do combustível de aviação depende não apenas do tipo de aeronave e sua tecnologia, mas também das estratégias de operação adotadas pelas companhias aéreas e do controle de tráfego aéreo.

O crescimento do transporte aéreo incentiva o consumo de combustível de aviação, podendo ser necessário que a cadeia deste insumo se alinhe ao possível aumento da demanda de transporte aéreo. Por isso, as empresas abastecedoras devem buscar as melhores soluções para garantir o suprimento e também a segurança operacional do processo. Portanto, torna-se essencial projetar a demanda por combustível, de forma a auxiliar na definição de alterações na cadeia do produto para atender o mercado futuro.

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo geral propor um modelo que seja capaz de representar a demanda por combustível de aviação, considerando as perspectivas de crescimento de demanda por transporte aéreo. Os objetivos específicos são: (i) investigar a relação entre demanda por transporte aéreo e demanda por combustível de aviação; (ii) realizar uma projeção da demanda por transporte aéreo e combustível; e (iii) desenvolver modelo de demanda por transporte aéreo baseado em dados secundários. O estudo levou em conta o aeroporto de Fortaleza, dado que o mesmo passou recentemente por processo de concessão à iniciativa privada e, desde então, uma série de ações buscando a expansão da demanda tem sido proposta pelos novos administradores.

É importante destacar que o foco do estudo é na demanda por Querosene de Aviação, ou QAV, o principal combustível utilizado pelas empresas aéreas. Além dele, no entanto, existe a gasolina de aviação (GAV). Ambos são derivados do refino do petróleo, sendo o QAV utilizado para o abastecimento de aeronaves e helicópteros dotados de motores à turbina, enquanto o GAV é destinado para aeronaves de pequeno porte, com motores de ignição por centelha (Palauro, 2015).

2. ABORDAGEM METODOLÓGICA

O presente estudo divide-se em duas macroetapas. Inicialmente, foi elaborado um modelo de demanda por passageiros em função de variáveis socioeconômicas relacionadas ao setor aéreo. Em seguida, foi realizada uma projeção de demanda de passageiros, com a construção de cenários futuros para um horizonte de projeto de quatro anos, de 2017 a 2020. O período de tempo em questão foi adotado para coincidir com a primeira etapa da fase de concessão do aeroporto. Esses cenários foram construídos a partir de um estudo econométrico, com a análise de variáveis socioeconômicas e dados históricos do setor aéreo. A última macroetapa consistiu na realização de uma projeção de demanda por combustível de aviação, através de uma análise da relação entre o consumo do combustível e o transporte aéreo. A Figura 1 detalha o método utilizado neste trabalho.

Rocha (2010), Condé (2011), Falcão (2013), Bendinelli e Oliveira (2015) e Varella (2016) são autores de estudos econométricos de demanda aeroportuária semelhantes ao exposto neste trabalho. Mazraati e Faquih (2008), Mazraati (2010), Nygren *et al.* (2009), Chèze *et al.* (2010) e Monteiro (2009) são trabalhos de estimação de demanda por QAV, em diferentes níveis de

agregação. O trabalho de Eufrásio (2017) apresenta uma revisão bibliográfica detalhada sobre os dois temas.

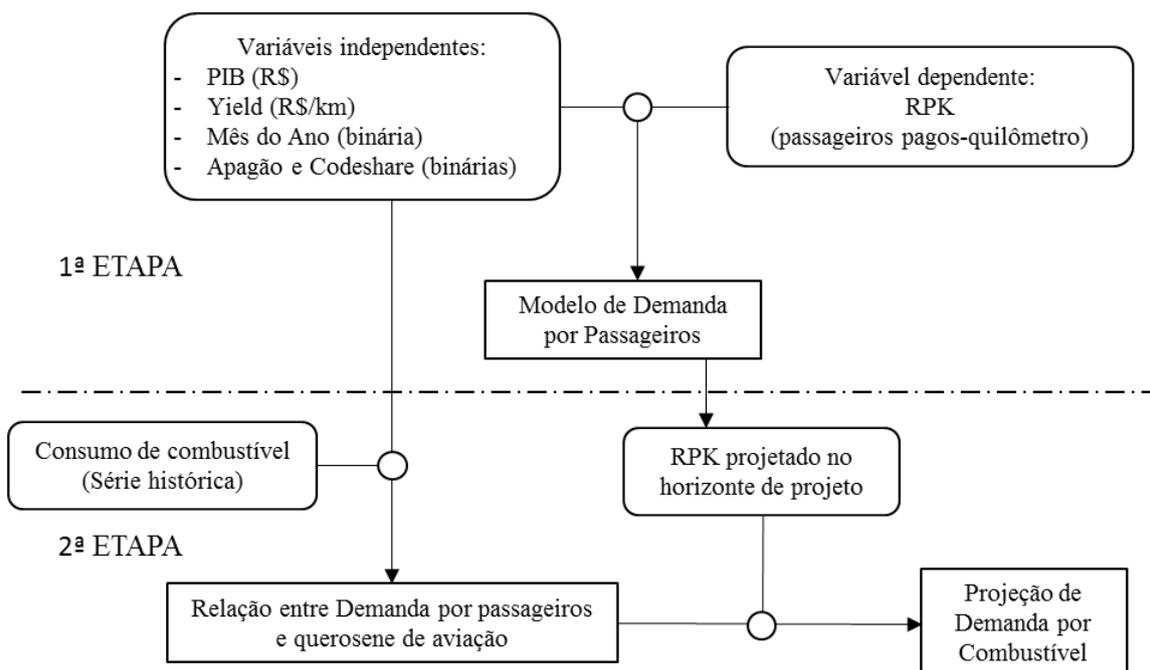


Figura 1: Síntese do método utilizado para projeção de demanda por combustível

O método desenvolvido foi aplicado no contexto das operações do Aeroporto Internacional Pinto Martins (ICAO: SBFZ), localizado em Fortaleza, considerando o período anterior à sua concessão. Principal aeroporto do estado do Ceará, o Aeroporto de Fortaleza opera voos comerciais domésticos e internacionais, incluindo voos cargueiros e transporte de passageiros, além de voos militares, executivos e táxis aéreos. A cidade de Fortaleza apresenta-se como um dos principais destinos turísticos no Brasil e um importante centro de eventos no país. Além do terminal de passageiros, o aeroporto de Fortaleza conta também com um terminal de aviação geral, uma área militar, além de um terminal de cargas, que movimenta e armazena cargas para exportação e importação e cargas dos Correios.

O crescimento das movimentações de passageiros no aeroporto nos últimos anos reflete a consolidação do terminal como um dos principais do Nordeste. Em 2016, circularam mais de 5,7 milhões de passageiros no aeroporto de Fortaleza, um crescimento médio de 5,7% ao ano se comparado aos 3,3 milhões de 2006 (Infraero, 2017). O ano de 2014 registrou 6,5 milhões de passageiros, valor maior que a capacidade declarada do aeroporto de 6,2 milhões de passageiros. É importante destacar que em 2014 a cidade de Fortaleza sediou alguns jogos da Copa do Mundo, o que pode ter influenciado a demanda por transporte aéreo nesse ano.

De acordo com o Estudo de Mercado realizado pelo Consórcio Aéreo Brasil (2015), a pista do Aeroporto de Fortaleza apresenta uma capacidade de expansão limitada já que o aeroporto está envolto pela cidade, devendo-se buscar operá-lo com um elevado nível de eficiência, tanto no processamento de passageiros quanto no de aeronaves. Além disso, o aeroporto de Fortaleza é predominantemente doméstico e é considerado um importante ponto de conexão de passageiros entre o Norte e o Nordeste do país (Consórcio Aéreo Brasil, 2015).

O fator mais significativo que afeta a capacidade do sistema de partidas é o espaçamento entre aviões sucessivos (Horonjeff *et al.*, 2010). É importante, portanto, a investigação da cadeia de procedimentos relacionados ao processamento de aeronaves, entre eles o abastecimento de combustível. O Aeroporto de Fortaleza foi concedido à empresa Fraport AG por 30 anos, havendo a previsão para expansão tanto da infraestrutura quanto da demanda, com a inclusão de novas rotas. Neste contexto, estudos que analisem a demanda e a capacidade da infraestrutura podem auxiliar os novos gestores na elaboração de planos de ação.

3. DESCRIÇÃO DA BASE DE DADOS UTILIZADA

Os dados de transporte aéreo foram obtidos a partir da base de dados estatísticos disponibilizada pela ANAC. Essa base contém informações sobre as operações de voo agregadas mensalmente, por companhia aérea e por rota, a partir de janeiro de 2000. Para a primeira etapa, que se refere à modelagem de demanda por passageiros, selecionou-se como variável dependente o RPK (*Revenue passengers-km*), expresso em passageiros pagos-quilômetros. O RPK é um indicador de demanda por transporte aéreo que representa o número de passageiros pagos transportados multiplicado pela distância percorrida. Os dados relativos ao consumo de combustível utilizados na segunda etapa (Figura 1) também foram obtidos na base de dados da ANAC.

Como a demanda de passageiros foi posteriormente utilizada para a previsão da demanda por combustível de aviação no aeroporto de Fortaleza, selecionou-se apenas os dados de voos com origem neste aeroporto e com destino doméstico. O estudo não considerou voos com destino internacional pois há uma importante participação de companhias aéreas internacionais na oferta desses voos no aeroporto de Fortaleza, e a ANAC disponibiliza os dados de consumo de combustível apenas de companhias nacionais.

As variáveis independentes do modelo de demanda de passageiros utilizadas foram o Produto Interno Bruto (PIB), o *Yield* (valor médio pago pelos passageiros por quilômetro voado) e variáveis binárias para representar a sazonalidade e eventos específicos do setor aéreo, que podem ter influenciado a demanda. A série mensal do PIB foi deflacionada com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), sendo essas duas séries obtidas no SGS (Sistema Gerenciador de Séries Temporais) do Banco Central do Brasil. Já os dados referentes ao *Yield* são disponibilizados nos Relatórios de Tarifas Aéreas Domésticas da ANAC, já deflacionados com base no IPCA. O período de análise considerado no estudo se inicia em janeiro de 2002, data de início da série *Yield*, e se estende até dezembro de 2016. O modelo de demanda por passageiros e a posterior projeção realizada para o consumo e combustível teve como base essas variáveis, resumidas na Tabela 1.

Tabela 1: Estatística descritiva das variáveis contínuas

| Variável | Fonte | Unidade | Observações | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo |
|--------------|---------------|------------------------|-------------|--------|---------------|--------|--------|
| RPK | ANAC | 10 ⁶ pax.km | 180 | 258,49 | 123,33 | 62,81 | 573,72 |
| <i>YIELD</i> | ANAC | R\$/km | 180 | 0,62 | 0,29 | 0,26 | 1,29 |
| PIB | Banco Central | R\$ bilhões | 180 | 452,00 | 97,40 | 291,14 | 598,97 |
| Combustível | ANAC | m ³ | 180 | 9.907 | 3.093 | 4.693 | 17.093 |

4. MODELAGEM DA DEMANDA POR PASSAGEIROS

O modelo de demanda por passageiros foi construído a partir de variáveis socioeconômicas e variáveis do setor aéreo, considerando também a influência de eventos relevantes na demanda

estudada. Para a variável dependente, o RPK, somou-se todos os valores de RPK de um mesmo mês, cuja origem fosse o aeroporto de Fortaleza e o destino fosse algum aeroporto localizado em território nacional, obtendo-se assim a demanda mensal por voos domésticos. O PIB é utilizado como variável independente de forma a representar a atividade econômica do país e o *Yield* busca representar uma medida de preço.

Um importante aspecto considerado no modelo é a influência da sazonalidade na demanda por passageiros. A sazonalidade ocorre quando há variações ascendentes e descendentes de forma repetitiva, em intervalos regulares de séries temporais (Tubino, 2007). Para lidar com a sazonalidade, pode-se buscar eliminar seus efeitos, ajustando-se os dados através de uma média móvel, ou pode-se considerá-la na análise. No presente estudo, a sazonalidade é considerada analisando-se sua relevância na estimativa de possíveis picos de demanda nos cenários futuros. Para isto, foram adicionadas variáveis binárias sazonais d_m , buscando avaliar se certas variações observadas na variável dependente estão relacionadas à época do ano considerada. Como a periodicidade dos dados no modelo é mensal, são adicionadas 11 variáveis binárias, excluindo-se arbitrariamente a variável referente ao mês 2 (fevereiro), evitando assim a multicolinearidade perfeita e tornando fevereiro o mês base da análise.

Além das binárias sazonais, utilizou-se outras duas variáveis binárias para representar dois eventos do setor aéreo e analisar sua possível influência na demanda. Uma é o *Codeshare*, que assume o valor unitário apenas para o período em que as companhias Varig e TAM formaram uma aliança, entre março de 2003 e abril de 2005. Neste período, as duas empresas tinham a intenção de se unir e passaram a ofertar alguns voos com assentos compartilhados. O acordo foi suspenso em 2005 após a Secretaria de Acompanhamento Econômico (SEAE) identificar indícios de que essa aliança causava danos ao consumidor, indo além do compartilhamento de aeronaves, promovendo por exemplo o estabelecimento de tarifas e frequências de voos (Costa e Oliveira, 2015).

A outra variável binária adotada, “apagão”, refere-se à crise que ocorreu no setor aéreo brasileiro de outubro de 2006 a julho de 2007, conhecida como Apagão Aéreo. Neste período, houve descontrole das operações em diversos aeroportos brasileiros, ocorrendo atrasos, greves de controladores e acidentes aéreos (Oliveira *et al.*, 2016). O modelo geral escolhido para representar a demanda aeroportuária do aeroporto de Fortaleza é apresentado na Equação 1.

$$RPK = \beta_0 + \beta_1 PIB + \beta_2 YIELD + \sum \gamma_m d_m + \delta_1 Apag\tilde{a}o + \delta_2 Codeshare + \varepsilon \quad (1)$$

Sendo β_0 , β_1 , β_2 , γ_m , δ_1 e δ_2 os parâmetros a serem estimados e ε o termo de erro. Escolheu-se a forma funcional linear-linear e os parâmetros foram estimados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

Optou-se ainda por utilizar o Método de Newey-West, cuja correção torna os erros padrão consistentes para heterocedasticidade e autocorrelação (CHA), não alterando os valores dos estimadores (Wooldridge, 2016). Aplicou-se, portanto, o método de Newey-West no modelo de regressão, obtendo assim erros padrão consistentes para a heterocedasticidade e autocorrelação. A Tabela 1 traz a síntese dos resultados da regressão após essa correção, com os valores dos estimadores obtidos para 7 modelos diferentes, construídos pela remoção de uma variável ou de uma combinação de variáveis do modelo geral exibido na equação (1).

Analisando o modelo completo, representado na Tabela 2 pelo número 7, observa-se que os sinais dos coeficientes do PIB e *Yield* estimados estão coerentes com o esperado: positivo para o PIB e negativo para o *Yield*. Uma possível explicação é que se espera aumento da

demanda com o crescimento da economia e uma redução da demanda com preços das passagens mais elevados. Além disso, pelo teste t, essas variáveis podem ser individualmente classificadas como relevantes para o modelo (p-valor menor que o nível de significância considerado de 5%).

Tabela 2: Resultados do modelo de regressão

| | RPK | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Constante | -274,79*** (12,24) | 492,85*** (17,62) | -106,09** (50,53) | -134,84*** (39,13) | -113,58*** (40,44) | -134,04*** (41,57) | -113,39*** (42,17) |
| <i>YIELD</i> | | -376,61*** (25,12) | -92,54*** (28,70) | -72,24*** (21,33) | -82,69*** (21,79) | -73,25*** (26,41) | -82,98*** (26,11) |
| PIB | 1,18*** (0,03) | | 0,93*** (0,08) | 1,02*** (0,06) | 0,99*** (0,06) | 1,02*** (0,06) | 0,99*** (0,06) |
| d1 | | | | 85,88*** (8,22) | 86,31*** (8,16) | 85,90*** (8,29) | 86,32*** (8,25) |
| d3 | | | | -40,23*** (6,46) | -39,86*** (6,25) | -40,33*** (6,54) | -39,89*** (6,34) |
| d4 | | | | -41,37*** (6,77) | -41,24*** (6,75) | -41,49*** (6,90) | -41,28*** (6,89) |
| d5 | | | | -49,48*** (6,34) | -49,06*** (6,32) | -49,51*** (6,36) | -49,07*** (6,37) |
| d6 | | | | -51,22*** (6,95) | -50,63*** (6,87) | -51,24*** (6,95) | -50,64*** (6,91) |
| d7 | | | | 9,89 (7,22) | 11,50* (6,95) | 9,93 (7,21) | 11,51 (6,96) |
| d8 | | | | -23,99*** (7,01) | -23,40*** (6,90) | -23,96*** (7,00) | -23,39*** (6,91) |
| d9 | | | | -34,86*** (6,56) | -34,93*** (6,54) | -34,86*** (6,56) | -34,93*** (6,55) |
| d10 | | | | -42,12*** (6,00) | -40,13*** (6,03) | -42,06*** (5,92) | -40,11*** (5,99) |
| d11 | | | | -47,14*** (6,37) | -45,27*** (6,10) | -47,09*** (6,35) | -45,26*** (6,12) |
| d12 | | | | -33,90*** (6,44) | -32,01*** (6,35) | -33,85*** (6,37) | -31,99*** (6,31) |
| Apagão | | | | | -12,50** (6,05) | | -12,46** (6,17) |
| <i>Codeshare</i> | | | | | | 1,07 (8,84) | 0,35 (8,66) |
| Observações | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| R ² | 0,868 | 0,773 | 0,877 | 0,969 | 0,969 | 0,969 | 0,969 |
| R ² ajustado | 0,867 | 0,771 | 0,876 | 0,966 | 0,967 | 0,966 | 0,966 |
| Estatística F | 1774,5*** | 224,69*** | 947,77*** | 258,38*** | 259,51*** | 332,86*** | 313,91*** |

Nota I: Erros padrão em parênteses ().

Nota II: P-valores omitidos, representados por: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01.

Para as variáveis binárias sazonais, o valor positivo estimado para o coeficiente de d1 indica que a demanda de passageiros no mês de janeiro é sazonalmente maior que no mês base, fevereiro. Já o mês de julho pode ser considerado como sazonalmente semelhante a fevereiro, pois o coeficiente estimado teve valor baixo se comparado aos outros meses e foi não significativo. Os coeficientes negativos das outras variáveis binárias sazonais mostram que a demanda nos outros meses é sazonalmente menor quando comparada ao mês base. Uma possível explicação para esse resultado é o fato de Fortaleza ser um destino turístico e a sua procura ser possivelmente maior em janeiro e julho, período de férias escolares.

Além disso, o p-valor evidencia a significância estatística da variável Apagão e a não significância da variável *Codeshare* para o modelo. Dessa forma, considerou-se o modelo 5 como o mais robusto para a situação analisada. Uma comparação dos valores estimados pelo modelo proposto e os valores de RPK reais pode ser observada na Figura 2 (a). Pode-se notar que o modelo estimado acompanha o crescimento real da demanda e que a sazonalidade da série é representada.

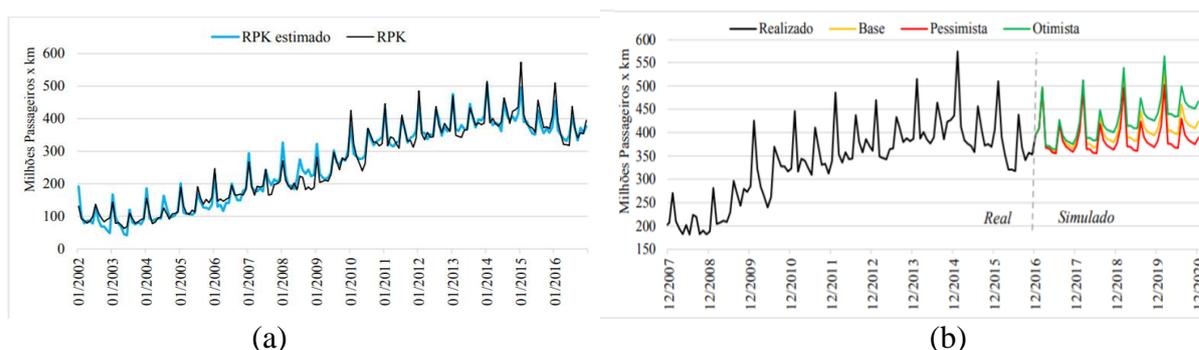


Figura 2: RPK estimado vs RPK real; Projeção do RPK de 2017 a 2020

Para a projeção da demanda de passageiros para o ano de 2020, foram considerados três cenários: pessimista, otimista e base. Esses cenários foram construídos a partir das perspectivas de crescimento do PIB e do *Yield*, utilizando-se as projeções anuais disponibilizadas pelo Banco Central para o PIB e a taxa histórica de crescimento para o *Yield* já que não existem projeções de órgãos oficiais. Com relação ao PIB, o cenário pessimista é aquele com taxa mínima de crescimento, o cenário base com taxa mediana e o otimista, aquele com taxa máxima projetada. A Tabela 3 apresenta as taxas adotadas na projeção.

Tabela 3: Taxas de crescimento anual do PIB utilizadas (projeção de 02/01/2017)

| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|------------|--------|-------|-------|-------|
| Pessimista | -0,95% | 1,00% | 1,01% | 1,16% |
| Base | 0,50% | 2,30% | 2,50% | 2,50% |
| Otimista | 2,00% | 4,50% | 4,00% | 4,00% |

Fonte: Sistema de Expectativas de Mercado do Banco Central do Brasil (acesso: 21/04/2017)

Para o *Yield*, é possível observar uma tendência de redução dos preços das passagens ao longo do tempo. Por isso, considerou-se para o cenário pessimista que o *Yield* permanece constante, com o mesmo valor de dezembro de 2016, para o cenário otimista, considerou-se a taxa de crescimento histórica (-6,58% ao ano) e para o cenário base, considerou-se a média entre as taxas otimista e pessimista (-3,29%). Os três cenários de previsão para o RPK podem ser observados na Figura 2 (b). A Tabela 4 apresenta os valores do RPK acumulados ao ano para os três cenários previstos de 2017 a 2020, além de apresentar os valores realizados para o RPK de 2012 a 2016.

Tabela 4: RPK acumulado ao ano (Milhões de Passageiros x km)

| Ano | Cenários de Transporte Aéreo | | | | | | | |
|------|------------------------------|---------|------|---------|------------|---------|----------|---------|
| | Realizado | | Base | | Pessimista | | Otimista | |
| | RPK | (% a.a) | RPK | (% a.a) | RPK | (% a.a) | RPK | (% a.a) |
| 2012 | 4.513,2 | 8,1% | - | - | - | - | - | - |
| 2013 | 4.614,9 | 2,3% | - | - | - | - | - | - |

| | | | | | | | | |
|------|---------|-------|---------|------|---------|------|---------|------|
| 2014 | 5.018,2 | 8,7% | - | - | - | - | - | - |
| 2015 | 4.866,4 | -3,0% | - | - | - | - | - | - |
| 2016 | 4.464,0 | 8,3% | - | - | - | - | - | - |
| 2017 | - | - | 4.667,8 | 4,6% | 4.610,6 | 3,3% | 4726,6 | 5,9% |
| 2018 | - | - | 4.774,9 | 2,3% | 4.617,2 | 0,1% | 4.969,1 | 5,1% |
| 2019 | - | - | 4.945,7 | 3,6% | 4.683,1 | 1,4% | 5.277,8 | 6,2% |
| 2020 | - | - | 5.126,4 | 3,7% | 4.755,3 | 1,5% | 5.581,3 | 5,8% |

5. PREVISÃO DA DEMANDA POR COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO

Esta fase está dividida em dois processos. No primeiro, busca-se relacionar o consumo de combustível com a demanda por transporte aéreo, já o segundo, busca realizar uma projeção da evolução do consumo de combustível.

5.1. Análise da relação entre combustível e demanda por transporte aéreo

A análise da relação entre consumo de combustível no transporte aéreo e as variáveis que o influenciam deve levar em conta sua complexidade. De forma geral, uma maior quantidade de voos indica um maior consumo de combustível. Entretanto, essa relação depende de outras variáveis, relacionadas a características da aeronave, como seu tipo, tamanho, motor e design, além de características da operação de voo.

O peso transportado pela aeronave é uma variável relevante, já que quanto maior o peso, maior o consumo. No peso transportado, considera-se a própria aeronave, os equipamentos presentes, os passageiros, cargas e o próprio combustível. A quantidade de combustível abastecida deve respeitar os regulamentos de segurança e os pesos máximos de pouso e decolagem da aeronave. O peso máximo a ser transportado em um voo é também influenciado por características do aeroporto e condicionantes locais da pista (declividade, temperatura e altitude). Desse ponto de vista, o aeroporto de Fortaleza apresenta como vantagem sua altitude próxima ao nível do mar (25 m) e como desvantagem sua elevada temperatura de referência (30,5 °C). De forma geral, quanto mais elevada a pista e quanto maior a temperatura, maior o comprimento efetivo de pista necessário para a operação de decolagem.

O consumo de combustível é também influenciado pela fase do voo, pois o consumo no ciclo LTO (sigla para *Landing and Take off*, fases de pouso e decolagem) é proporcionalmente maior que na fase de cruzeiro. Com isso, voos que percorrem rotas maiores tendem a ser mais eficientes do ponto de vista energético por apresentarem maior tempo de cruzeiro. Além disso, as velocidades associadas a cada uma dessas fases, a altitude da aeronave e até a temperatura são fatores influenciadores do consumo.

Além das características da aeronave, do aeroporto e do próprio voo, o consumo de combustível é influenciado pelos serviços de gestão de tráfego aéreo, pelos procedimentos operacionais adotados e pelas decisões estratégicas das companhias aéreas. Com relação aos serviços de tráfego aéreo, uma mudança importante a ser citada é a implementação da navegação com base em performance (PBN - *Performance Base Navigation*) no Brasil. O PBN busca otimizar os trajetos de navegação, reduzindo as distâncias de rotas e estabelecendo trajetos mais lineares. Um de seus benefícios é a economia de combustível.

No entanto, algumas estratégias adotadas para otimização dos custos operacionais das companhias aéreas não contribuem para a otimização do uso de combustível. O tanqueamento de combustível, por exemplo, ocorre quando se abastece mais do que o necessário em certa

localidade de forma a reduzir a quantidade de combustível a ser abastecida nos próximos destinos, porém aumentando o peso transportado e reduzindo o desempenho energético da aeronave. O tanqueamento é necessário quando não há combustível no destino, mas é frequentemente adotado visando a redução de custos quando os preços de combustível são diferentes, o que acontece frequentemente no caso brasileiro.

No Brasil, essa diferença de preços ocorre principalmente devido à variação entre os estados da tributação do ICMS (Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal de Comunicação) sobre o querosene de aviação. Porém, o uso mais eficiente do combustível vem sendo cada vez mais incentivado pela crescente preocupação ambiental com as emissões de gases poluentes geradas pelas aeronaves.

Com isso, pode-se perceber que a análise da evolução do consumo de combustível e da eficiência energética envolve diversos fatores com mensuração complexa. A solução encontrada neste estudo foi avaliar a relação entre consumo de combustível e RPK, de forma agregada. A evolução deste índice acumulado ao ano é apresentada na Figura 3, além do consumo anual de combustível da aviação referente ao transporte doméstico de passageiros com origem no aeroporto de Fortaleza.

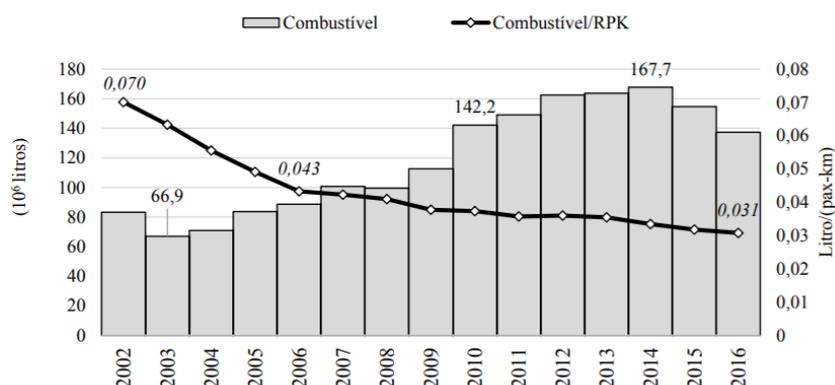


Figura 3: Evolução da relação Combustível/RPK e Consumo de Combustível para SBFZ

Observa-se um declínio da relação combustível/RPK ao longo do período analisado, de 0,070 litro/pax-km em 2002 para 0,031 litro/pax-km em 2016, indicando a melhoria contínua da eficiência energética do mercado analisado.

5.2. Projeção de demanda por combustível

Realizou-se a previsão de consumo de combustível a partir dos três cenários de demanda de passageiros construídos na primeira parte deste estudo. Pode-se observar que o RPK e a quantidade de combustível consumido não são diretamente relacionáveis devido às melhorias de eficiência energética que ocorrem ao longo do tempo. Essa relação é representada pelo índice Combustível/RPK, analisado na seção anterior e que foi utilizado para converter as projeções de transporte aéreo em demanda por combustível. Para a previsão, adotou-se a taxa média observada nos últimos 5 anos da série, de 2011 a 2016, de -2,92%. Os resultados são apresentados na Tabela 5 e na Figura 4.

A demanda de combustível projetada apresenta um crescimento modesto mesmo no cenário otimista. Nesse cenário, o consumo previsto para 2020 ainda teria valor inferior aos registrados em 2012, 2013 e 2014 (ano de maior demanda da série analisada, considerado atípico para o Aeroporto devido a Copa do Mundo). Individualmente, esse resultado não sinaliza nenhuma necessidade de alterar a capacidade instalada até o horizonte de projeto.

Tabela 5: Consumo de combustível por ano (em m³)

| Ano | Cenários de Transporte Aéreo | | | | | | | |
|------|------------------------------|---------|---------|---------|------------|---------|----------|---------|
| | Realizado | | Base | | Pessimista | | Otimista | |
| | QAV | (% a.a) | QAV | (% a.a) | QAV | (% a.a) | QAV | (% a.a) |
| 2012 | 162.433 | 9,0% | - | - | - | - | - | - |
| 2013 | 163.642 | 0,7% | - | - | - | - | - | - |
| 2014 | 167.749 | 2,5% | - | - | - | - | - | - |
| 2015 | 154.749 | -7,8% | - | - | - | - | - | - |
| 2016 | 137.392 | -11,2% | - | - | - | - | - | - |
| 2017 | - | - | 139.464 | 1,5% | 137.755 | 0,3% | 141.221 | 2,8% |
| 2018 | - | - | 138.493 | -0,7% | 133.919 | -2,8% | 144.126 | 2,1% |
| 2019 | - | - | 139.253 | 0,5% | 131.859 | -1,5% | 148.604 | 3,1% |
| 2020 | - | - | 140.121 | 0,6% | 129.978 | -1,4% | 152.555 | 2,7% |

É importante ressaltar que o PIB em 2015 e 2016, dois últimos anos do período de análise considerado, apresentou taxas negativas de crescimento, impactando nas projeções do RPK. Porém, mesmo com perspectivas macroeconômicas desfavoráveis, outros fatores podem influenciar a demanda de passageiros no aeroporto de Fortaleza, auxiliando a superar os valores projetados. Por exemplo, a concessão pode incentivar a implementação de novas rotas e a entrada de novas companhias aéreas.

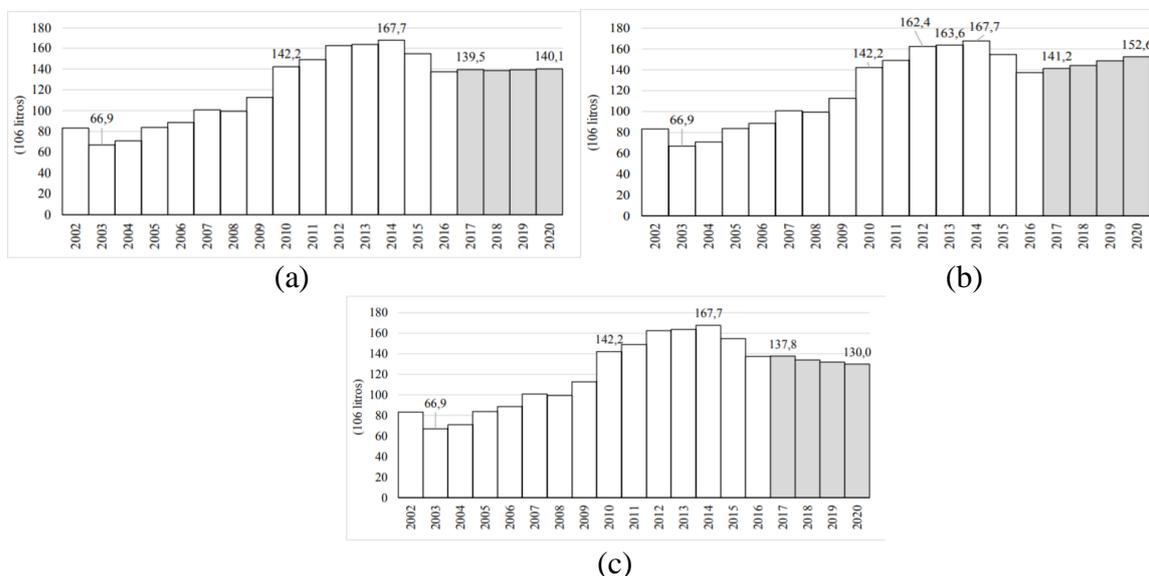


Figura 4: Previsão de Demanda por combustível de aviação Cenários (a) Regular, (b) Otimista e (c) Pessimista

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos que tenham como objetivo identificar problemas no setor aéreo e que prevejam cenários da operação em aeroportos são essenciais para analisar a compatibilidade entre a demanda futura e a infraestrutura aeroportuária disponível. Destaca-se que as projeções visam

mostrar futuros plausíveis, que possam auxiliar o planejamento da infraestrutura e das operações em um aeroporto. Dessa forma, os resultados das previsões devem ser constantemente atualizados e reavaliados. Tais resultados não devem ser considerados como completamente assertivos, sendo mais relevante as análises possibilitadas pelo desenvolvimento do modelo e pela avaliação das variáveis influenciadoras da demanda.

O modelo adotado no estudo evidenciou o impacto da recessão econômica do país na demanda por transporte aéreo em 2015 e 2016, em particular no aeroporto de Fortaleza, com decréscimo do RPK nesses dois anos. Historicamente, ocorreu em 2014 a maior demanda registrada no aeroporto de Fortaleza, com 6,5 bilhões de passageiros-km. É importante destacar que o ano de 2014 foi atípico, já que a cidade de Fortaleza sediou alguns jogos da Copa do Mundo, havendo a implantação de um Terminal Remoto Temporário que auxiliou no atendimento da demanda adicional. No cenário otimista projetado, um patamar semelhante ao de 2014 seria atingido apenas em 2019, enquanto no cenário pessimista isso não ocorreria no horizonte de projeto considerado.

Com relação à sazonalidade, os parâmetros estimados indicam que principalmente o mês de janeiro apresenta demanda sazonalmente maior em comparação aos outros meses, seguido por julho. Uma possível explicação para tal resultado pode ser por Fortaleza ser considerada um destino turístico, com atratividade maior em período de férias escolares. A variável que representa o *Codeshare* estabelecido entre Varig e TAM entre 2003 e 2005 não foi considerada estatisticamente significativa no modelo, indicando que este evento não se mostrou relevante para a demanda através do método adotado. Já a variável apagão, relativa à crise no setor aéreo brasileiro que ocorreu entre 2006 e 2007, foi considerada estatisticamente significativa, tendo, como esperado, um efeito negativo na demanda neste período.

Após definição do modelo de demanda por passageiros e dos cenários para o horizonte de projeto de 2020, realizou-se a projeção do consumo de combustível utilizando a taxa média de 2011 a 2016 do índice Combustível/RPK. Mesmo no cenário mais otimista, com a maior demanda de passageiros projetada, as previsões foram modestas, não superando até 2020 os valores já alcançados anteriormente. Quando analisado individualmente, esse resultado não sinaliza a necessidade de modificar a capacidade de abastecimento atual para o prazo de 2020. Porém, para uma análise mais assertiva, é essencial que se avalie os pontos críticos da cadeia de combustível de aviação, da sua produção, armazenamento e distribuição no aeroporto de Fortaleza.

Além disso, é importante observar que, devido aos dados utilizados, a análise se limitou ao transporte doméstico de passageiros, não incluindo na análise a demanda de combustível relativa a voos internacionais e voos cargueiros. Após a concessão, o aeroporto de Fortaleza vem se estabelecendo como um hub do grupo Air France-KLM em parceria com a companhia aérea Gol, o que evidencia a importância de buscar formas de se incluir em estudos futuros o transporte aéreo internacional.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao CNPq e à Capes pela concessão de bolsas de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (2017) *Anuário do Transporte Aéreo 2016*. Volume único, 1ª edição.

- Bendinelli, W. E.; Oliveira, A. V. M. (2015) *Modelagem econométrica da demanda em aeroportos privatizados: estudo de caso do Aeroporto Internacional de Confins*. Journal of Transport Literature, v. 9, n. 2, p. 20-24.
- Busto, A., Turolla, F.A., Oliveira, A.V.M (2006) *Modelagem dos impactos da política de flexibilização na competição das companhias aéreas brasileiras*. Economia e Sociedade. Campinas, v. 15, n. 2 (27), p. 327-345.
- Chèze, B; Gastineau, P.; Chevalier, J. (2011) *Forecasting world and regional aviation jet fuel demands to the mid-term (2025)*. Energy Policy, Amsterdam, v.39, n. 9.
- Condé, M. (2011) *Estudo de previsão de demanda aeroportuária para a cidade do Rio de Janeiro*. Journal of Transport Literature, v. 5, n. 1, p. 161-183.
- Consórcio Aéreo Brasil (2015) *Estudos de Mercado. In: Estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA) - Aeroporto Internacional Pinto Martins*. Disponível em: < <https://goo.gl/giQ3o6>>. Acesso em 24 de setembro de 2016.
- Costa, W. C.; Oliveira, A. V. M. (2015) *Efeitos em preço do compartilhamento de voos de companhias aéreas como reação à presença de um competidor de baixo custo*. Revista Transportes, v. 23, n. 1, p. 14-23.
- Eufrásio, A. B. R. (2017) *Previsão de Demanda por Transporte Aéreo e por combustível de aviação: um estudo de caso para o aeroporto de Fortaleza*. 83 p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Falcão, V. A (2013) *Demanda aeroportuária de Manaus e sua influência para o setor de turismo da região*. Journal of Transport Literature, v. 7, n. 1, p. 127-146.
- Horonjeff, R., McKelvey, F. X., Sproule, W. J., & Young, S. B. (2010) *Planning and design of airports* (5th edition). New York: McGraw-Hill.
- INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (2017) *Anuário Estatístico Operacional 2016*. Secretaria da Aviação Civil. Brasília.
- Mazraati, M., Faquih, Y. (2008) *Modelling aviation fuel demand: the case of the United States and China*. Opec Energy Review. Oxford, v. 32, n. 4, p. 323-342.
- Mazraati, M (2010) *World Aviation Fuel Demand Outlook*. Opec Energy Review. Oxford, v.34, n 1, p 42-72.
- Mckinsey & Company, Inc.; BNDES - Banco Nacional De Desenvolvimento Econômico E Social (2010) *Estudo do setor de transporte aéreo do Brasil: relatório consolidado*. Rio de Janeiro: Mckinsey & Company, 379 p.
- Monteiro, A. C. (2009) *Estimação de demanda de combustível de aviação no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdades Ibmec, Rio de Janeiro.
- Nygren, E.; Aleklett, K; Hôök, M. (2010) *Aviation fuel and future oil production scenarios*. Journal of Energy Policy, Amsterdam, v. 37, n. 10, p. 4003-4010.
- Oliveira, A. V. M.; Lohmann, G.; Costa T. G. (2016) *Network concentration and airport congestion in a post deregulation context: A case study of Brazil 2000-2010*. Journal of Transport Geography, v. 50, p. 33-44.
- Palauo, G. (2010) *Caracterização do mercado de combustível de aviação: um estudo de Organização Industrial*. Dissertação (Mestrado em Economia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba.
- Rocha, G. C. (2010) *Ensaio sobre a demanda do transporte aéreo regional*. Journal of Transport Literature. v. 4, n. 1, p. 114-133.
- Tubino, D. F. (2017) *Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática*. São Paulo: Atlas.
- Varella, R. (2016) *Análise da Capacidade e Projeção de Demanda: Estudo de Caso do Aeroporto de Recife*. 100p. TCC (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Civil Aeronáutica. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos.
- Wooldridge, J. M. (2016) *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. 6^a ed. Boston: Cengage Learning.

Ana Beatriz Rebouças Eufrásio (anabeatrizre@gmail.com)¹

Ícaro Maurício Nogueira (icaronogueira@det.ufc.br)²

Bruno Vieira Bertoncini (bruviber@det.ufc.br)²

Rogéria de Arantes Gomes Eller (rogeria@ita.br)¹

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica - Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias, CEP 12228-900, São José dos Campos/SP – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Ceará

Campus do Pici - Bloco 703, CEP 60440-900, Fortaleza/CE - Brasil