

Demanda por ticket aéreo na economia brasileira: uma análise de co-integração

Patrick Franco Alves*, Gustavo Varela Alvarenga,
Carlos Henrique Rocha

*Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada,
Universidade de Brasília*

Recebido em 24 de setembro de 2010; recebido em versão revisada em 17 de dezembro de 2010; aceito em 26 de dezembro de 2010

Resumo

A demanda por transporte aéreo está diretamente relacionada aos ciclos econômicos (doméstico e internacional), às flutuações de moeda e câmbio e ao desempenho das economias. O desempenho do setor de transporte aéreo pode ser utilizado para avaliar o grau de aquecimento da economia. Este setor, sendo altamente intensivo em capital e energia, é fundamental na cadeia produtiva de um país, por relacionar diferentes áreas. O presente artigo busca averiguar se há uma relação de equilíbrio de longo prazo entre a demanda por tickets aéreos no Brasil, seus preços, e indicadores macroeconômicos – tais como o PIB e o preço dos combustíveis. A análise centra-se na demanda das companhias aéreas TAM, Gol (e VARIG) e Web Jet, as quais juntas concentram mais de 85% do mercado doméstico de transporte de passageiros. Os resultados indicam que o crescimento econômico é um dos fatores determinantes da pressão sobre a capacidade da infra-estrutura aeroportuária, entretanto o parâmetro de longo prazo do preço é baixo, refletindo a predominância do viajante a negócios no transporte doméstico de passageiros.

Palavras-chave: transporte aéreo; tarifa yield; previsão de demanda por ticket

Abstract

The air transport demand is directly related to economic cycles (domestic and international), to the currency fluctuations and exchange and to the performance of economies. The airline industry performance can be used as a measure of the economic heating level. This sector is highly capital intensive and energy based, being an essential tool in a country's production chain, as it relates different areas. This paper seeks to determine whether there is a long-term equilibrium between the demand for airline tickets, its prices, and macroeconomic indicators – such as GDP and fuel prices in Brazil. The analysis focuses on the demand of airlines TAM, Gol (and VARIG) and Web Jet, which together represents about 85% of domestic passenger transportation. Results states that economic growth is one of the key factors on airport infrastructure capacity pressure, however the long run price parameter has a low intensity, which reflects the business travel passenger type dominance in Brazilian air transportation.

Key words: air transportation; yield rate; airline ticket forecast

* Autor correspondente. Email: patrick.alves@ipea.gov.br.

Citação Recomendada

Alves, P. F., Alvarenga, G. V. e Rocha, C. H. (2011) Demanda por ticket aéreo na economia brasileira: uma análise de co-integração. Revista de Literatura dos Transportes, vol. 5, n. 3, pp. 64-88.

■ A RELIT é um Periódico de Acesso Livre (Open Access Journal), com foco em Gestão e Economia dos Transportes e mantido pela Sociedade Brasileira de Planejamento dos Transportes (SBPT), website www.pesquisaemtransportes.net.br. E-ISSN 2177-1065.

Artigo disponível sem restrições em www.relit.org.br/r2011-029.htm.

1. Introdução

No Brasil, a demanda por transporte aéreo de passageiros tem apresentado forte crescimento nos últimos anos. O Brasil é atualmente o primeiro mercado da América Latina e o 4º maior mercado doméstico mundial de aviação, sendo a ponte aérea Rio-São Paulo uma das mais movimentadas do mundo (Valente e Cury, 2004).

Tal como o mercado internacional de transporte aéreo de passageiros, o mercado brasileiro é altamente concentrado. Segundo dados da Agência Brasileira de Aviação Civil (ANAC, 2010) nos meses de janeiro e fevereiro de 2010, somente as companhias aéreas TAM e a GOL foram responsáveis por mais de 80% da movimentação de passageiros no Brasil.

O transporte aéreo de passageiros pode ser qualificado como um bem intermediário. Os usuários utilizam tal serviço para atingir alguma finalidade ou objetivo final. O setor apresenta algumas peculiaridades importantes: é uma indústria altamente intensiva em capital e em energia, que oferece um produto perecível e não estocável. É ainda uma atividade dependente, em grande medida, da infra-estrutura de transportes interna e externa, além de possuir desempenho intimamente relacionado com o desempenho macroeconômico e exercer importante papel na cadeia produtiva do turismo.

Segundo conceituação encontrada em Valente e Cury (2004) as empresas aéreas são aquelas que oferecem serviço de transporte aéreo em regime de voo regular, charter ou voos fretados, serviço de táxi aéreo e de transporte carga. Tais empresas possuem estrutura empresarial complexa devido à grande quantidade de serviços e logísticas necessárias ao transporte de passageiros. As atividades realizadas pelas companhias aéreas incluem: os serviços de terra e em voo; manutenção das aeronaves; alimentação de tripulantes e passageiros; segurança dos passageiros em terra e ar; conexão com a estrutura logística dos aeroportos (por exemplo, sistemas de comunicação e de transmissão de dados); gestões administrativa, comercial e financeira; gerência de produção; marketing; articulação com agências de turismo, entre outras.

Algumas características apontadas por Salgado, Vassallo & Oliveira (2010), as quais tornam esse setor particularmente estratégico, são: inserção internacional, por reforçar o posicionamento do país no contexto geopolítico externo; importância econômica: por representar aproximadamente 3% do produto doméstico bruto; qualificação da mão-de-obra, por demandar mão-de-obra altamente qualificada.

Quanto à existência de uma alta concentração neste setor, Oliveira (2010) retrata que há no Brasil uma alta dominância de horários e frequência de voos nos aeroportos mais movimentados pelas grandes empresas, ou seja, uma dominância de recursos essenciais. Isto pode gerar um efeito semelhante à barreira de entrada de novas empresas e que leva o setor a operar em níveis de preço e oferta sub-ótimos. Uma política de maior distribuição de horários de pouso e decolagem em aeroportos congestionados poderia diminuir a concentração de mercado, levando ao aumento da concorrência.

Na literatura internacional sobre o setor de transporte aéreo de passageiros, alguns trabalhos abordam, por exemplo, os temas de regulação no setor, diferenciação de preços, transmissão internacional de choques e discriminação de preços (Gillen e Lall, 2003; Stavins, 2001). Outros apresentam modelos que relacionam preço das passagens, a demanda e o número de voos (Panzar, 1979), ou que relacionam demanda e o nível de preços e o nível de serviços (Araújo Jr., 2004). Um trabalho relevante e teoricamente mais complexo relaciona os custos endógenos dos insumos de produção das empresas aéreas ao preço final do *ticket* (Neven, Röller e Zhang, 2006).

Esse texto propõe-se a investigar o comportamento da demanda por passagens aéreas, de forma a relacionar aspectos importantes dos modelos tratados pelos autores supracitados. O modelo sugerido relaciona a demanda de passagens, seus preços, a renda brasileira e o preço do combustível de aviação (como fator exógeno). Será utilizado um modelo vetorial com correção de erros (VECM), o qual se insere na literatura de séries temporais, para captar as intensidades das relações de curto e longo-prazo entre essas variáveis.

A análise do comportamento do setor aéreo brasileiro é importante, pois o país sofreu um episódio de crise aérea no passado recente e se vê frente à realização de dois importantes eventos mundiais, a Copa do Mundo de Futebol em 2014 e as Olimpíadas em 2016. Acredita-

se que esses eventos irão aumentar significativamente a quantidade de passageiros, tanto nos voos internacionais quanto nos voos domésticos (no caso da Copa do Mundo), e demandarão uma sólida infra-estrutura aeroportuária. Por conta disso, o objetivo secundário deste artigo é, a partir das elasticidades encontradas, realizar uma previsão de demanda por passagens aéreas.

Além desta introdução, o artigo está dividido em mais 6 seções. Uma breve revisão teórica sobre os determinantes de preço e demanda é apresentada na seção 2, de forma a justificar a adoção do modelo econométrico proposto. A seção 3 aborda a teoria de séries temporais e apresenta explicitamente o modelo estatístico VECM, que será utilizado na seção 4 para demonstrar o modelo empírico estudado neste trabalho. A seção 5 trata da base de dados utilizada para o presente trabalho e suas limitações. , enquanto a seção 6 aborda os resultados obtidos com as estimações. Por fim, a sétima e última seção apresenta as considerações finais.

2. DETERMINANTES DE PREÇO E DEMANDA: MODELOS TEÓRICOS

Panzar (1979) desenvolve as consequências teóricas de um modelo que relaciona preço das passagens, a demanda e o número de voos em um mercado regulado e outro não-regulado. Para um mercado regulado a demanda por transporte aéreo pode ser representada como função direta do preço final ao consumidor (P), como função do preço do *ticket* e do nível de serviços oferecidos pelas companhias aéreas. O nível de serviços é capturado no modelo através do tempo de espera entre os voos, da frequência ou quantidade de voos e pelo fator de carga (*load factor*).

No modelo teórico a demanda é decrescente em relação aos preços e o *ticket* aéreo é considerado um bem comum. Supõe-se que os horários de partida dos voos sejam uniformemente distribuídos ao longo de um calendário circular com tempo de duração T e que o consumidor seja capaz de valorar monetariamente os atributos de serviço aéreo disponibilizado pelas companhias. Então podemos definir as seguintes funções $h(t)$: inconveniência de pegar um voo que não sai no tempo hábil (atraso); e $g(n, L)$: inconveniência em não conseguir um assento no voo mais desejado (efeito lotação). A

demanda do consumidor, representada por $x(\rho)$, possui inclinação negativa nos preços ($x'(\rho) < 0$). O preço final da passagem aérea (ρ) é dado por:

$$\rho = p + h(t) + g(n, L) \quad (1)$$

onde, p é o preço individual do *ticket*; t é número de unidades de tempo entre o voo desejado e o voo realizado; n é a frequência ou quantidade de voos; e L é o fator de carga.

Assume-se a convexidade de $g(n, L)$ em n e L . Isto implica que o valor da inconveniência cresce a taxas decrescentes com o aumento do fator de carga e da frequência de voos. Tais propriedades da função de demanda permitem estabelecer as condições de primeira ordem do problema de maximização do bem estar do consumidor.

A função de custo é a mesma para todas as companhias aéreas, sendo dada por: $c(s) = c + \tau s$, onde s é o número de assentos ofertados, τ é o custo marginal por assento ofertado e c é o custo por cada passageiro transportado. Por simplicidade admite-se que as companhias dividem o mercado igualmente. O número de passageiros ($X(.)$) transportados por uma companhia representativa é determinado então por:

$$X(p, n, L) = 2 \int_0^{T/2n} x[p + h(t) + g(n, L)] dt \quad (2)$$

A análise de equilíbrio de mercado e maximização do bem-estar social buscará caracterizar o número de voos e o nível de preços que levam ao ponto ótimo. Após se definir a função de bem-estar social (W), como sendo a soma, em n , dos lucros por voo (π) e dos excedentes dos consumidores abaixo da curva de demanda sob “preços completos” (S), realiza-se a derivação desta em relação aos preços e ao número de voos.

$$W = nS + n\pi = \left[2n \int_0^{T/2n} \int_{p+h(t)+g(n,L)}^{+\infty} x(\rho) d\rho dt \right] + \left[2n(p-c) \int_0^{T/2n} x dt \right] - n\tau s \quad (3)$$

Fazendo $dW/dp = 0$ obtemos: $p^* = c + \{\partial g(n, L)/\partial L\} \{X(p, n, L)/s\}$. Desta forma se observa que o nível de preços ótimo nesta economia se iguala ao custo marginal por passageiros mais o custo de atraso que um passageiro adicional impõe sobre os passageiros já

embarcados no voo, ou seja, o preço que maximiza o bem-estar social é igual ao custo marginal social.

Para determinar o número ótimo de voos fazemos $dW/dn = 0$ e, após rearranjar a expressão, obtém-se:

$$\pi(p^*, n^*) = n \frac{\partial g(.)}{\partial n} X(.) - [S - \frac{T}{n} s] \leq 0 \quad (4)$$

Considerando que s é o excedente dos consumidores que enfrentam os maiores atrasos, a consequência teórica de (4) é que, neste mercado regulado e competitivo, a frequência dos voos e o preço dos *tickets* que determinam o máximo do bem-estar social levam a um lucro negativo para as empresas aéreas. Então, tais empresas possuem incentivos para cobrar um preço acima da margem de custo social ou realizar uma quantidade de voos menor do que a quantidade socialmente ótima.

As conclusões encontradas em Panzar (1979) representam importantes intuições econômicas sobre a modelagem da demanda por transporte aéreo. No modelo teórico do autor não foram incluídas explicitamente variáveis macroeconômicas, tais como a renda. Também não foi considerado o consumo de combustíveis pelas empresas aéreas, que é um importante fator de custo das companhias.

A demanda por *ticket* aéreo é representada como função do nível de preços (p) e do nível serviços (s): $X = X(p, s)$, como mostra Araújo Jr. (2004). Neste modelo a qualidade dos serviços é mensurada através do tempo de demora da viagem, do tempo de espera, do nível de conforto, da frequência e da pontualidade nos voos.

Em abordagem mais complexa, Neven, Röller e Zhang (2006) argumentam que a lucratividade de uma firma no mercado pode modificar o custo de seus insumos. Este mecanismo pode ocorrer, por exemplo, através da barganha por melhores salários dos pilotos da aviação e outros profissionais de aviação, via atuação de sindicatos. Por se tratar de uma categoria profissional restrita e com baixa mobilidade à entrada de novos trabalhadores, haveria então espaço para barganha salarial dos sindicatos junto às companhias. Quanto maior

a lucratividade das companhias maior o poder de barganha do sindicato. No modelo de preços endógenos a companhia i lida com uma demanda por transporte aéreo dada por:

$$q_i(p_i, \mathbf{p}, Z_i) \quad (5)$$

onde, p_i é o preço da i -ésima companhia; \mathbf{p} são os preços das demais companhias; e Z_i é um vetor de características exógenas da economia que afetam a demanda da companhia i .

Assume-se que a demanda da empresa i seja estritamente decrescente nos próprios preços e crescente em relação aos preços das demais empresas. A função de custo da firma i é dada por:

$$C(q_i(.); \omega_i, R_i) \quad (6)$$

onde, q_i é a função de demanda; ω_i são os salários dos pilotos e demais profissionais de aviação; e R_i são características exógenas inerentes à economia.

Em um mercado competitivo, sob equilíbrio de Bertrand-Nash, as firmas procuram maximizar seus lucros, tomando como fixos a demanda e o custo. Temos então uma função de lucro dada por:

$$\max_{p_i} \pi_i(p_i, \mathbf{p}, Z_i) = q_i(.)p_i - C(q_i(.); \omega_i, R_i) \quad (7)$$

Derivando (7) em relação ao preço (p_i) e igualando a zero se obtém a condição de primeira ordem para maximização dos lucros:

$$q_i(.) + \left[p_i - \frac{\partial C(.)}{\partial q_i} \right] \frac{\partial q_i(.)}{\partial p_i} = 0 \quad (8)$$

$$p_i(q_i, \omega_i) = \frac{\partial C(.)}{\partial q_i} - q_i(.) \left[\frac{\partial q_i(.)}{\partial p_i} \right]^{-1} \quad (9)$$

onde, $p_i(q_i, \omega_i)$ é o preço de equilíbrio sob a demanda e o nível de salários.

Os custos da companhia são crescentes em relação ao aumento da demanda, sendo a expressão (9) é necessariamente positiva. Após a determinação do nível de preços sob

equilíbrio de Bertrand-Nash os sindicatos negociam pelos salários tentando maximizar a função:

$$\max_{\omega_i} (\omega_i - \omega_i^C)^\delta \pi_i(.)^{1-\delta} \quad (10)$$

onde, δ é o poder de barganha dos sindicatos ($0 \leq \delta \leq 1$); ω_i^C é o piso salarial mínimo; e ω_i^C é a taxa salarial sob maximização.

Enquanto as companhias aéreas buscam maximizar seus lucros os sindicatos procuram maximizar os salários dos pilotos, tornando o preço deste insumo de produção endógeno. Assim, as condições de primeira ordem para maximização dos lucros implicam em:

$$\frac{\partial \pi_i(.)}{\partial \omega_i} + \left(\frac{\delta}{1-\delta} \right) \frac{\pi_i(.)}{\omega_i - \omega_i^C} = 0 \quad (11)$$

Aqui, admite-se a possibilidade de subsidio às companhias aéreas fornecido pelo governo. Isto é contabilizado no modelo através da imposição de lucros não negativos entre as empresas. Para encontrar o nível de preços final derivamos a expressão (11) novamente em relação a ω_i substituindo o resultado do nível de preços ótimo ($p_i(q_i, \omega_i)$).

$$\frac{\partial q_i(.)}{\partial p_i} \frac{\partial p_i(.)}{\partial \omega_i} \left(p_i(.) - \frac{\partial C(.)}{\partial q_i} \right) - \frac{\partial C(.)}{\partial q_i} + \left(\frac{\delta}{1-\delta} \right) \frac{\pi_i(.)}{\omega_i - \omega_i^C} = 0 \quad (12)$$

Utilizamos diferenciação implícita em (12) visualizamos as conseqüências da existência de preços de insumos exógenos sobre a modificação do nível de preços de passagens praticados pelas companhias. A taxa de variação no nível de preços de uma empresa devido a uma modificação nos níveis salariais ($\partial p_i / \partial \omega_i$) irá depender da variação no custo marginal da companhia devido à modificação nos salários ($\partial^2 C(.) / \partial q_i \partial \omega_i$). A taxa de variação no nível de preços é determinada também pela variação no lucro marginal da firma i devido à mudança do nível de preços da concorrente ($\partial^2 \pi_i / \partial p_i \partial p_j$).

A mudança no nível de preços de uma concorrente ($\partial p_j / \partial \omega_i$) devido a uma modificação nos níveis salariais da empresa i irá depender da variação no custo marginal da empresa i

$(\partial^2 C(.) / \partial q_i \partial \omega_i)$, da mudança de demanda de i devido à modificação dos preços da empresa j $(\partial q_i / \partial p_j)$. Metodologicamente esta abordagem leva a um sistema de equações que permite a simultaneidade entre oferta e os insumos, neste caso salário dos pilotos. Em outras palavras, este modelo inclui uma terceira equação que endogeniza os custos.

3. Abordagem Utilizando Séries Temporais

Esta seção trata dos testes econométricos de estacionariedade e de co-integração. Os testes baseiam-se no livro-texto de Enders (2004). A inferência sobre os parâmetros obtidos só poderão ser realizadas se as séries forem estacionárias, isto é, se mantiveram a média e a variância invariantes ao longo do tempo e se a covariância depender apenas da distância observada entre dois pontos.

3.1 Séries Não-Estacionárias e Teste de ADF

Seja o modelo de regressão: $y_t = a_0 + a_1 z_t + e_t$. As estimativas de mínimos quadrados se baseiam no pré-suposto que as seqüências $\{y_t\}$ e $\{z_t\}$ são estacionárias, ou seja, possuem variância constante e finita ao longo do tempo. Estimativas de mínimos quadrados de um modelo de regressão linear envolvendo variáveis não-estacionárias levam à denominada regressão espúria (Enders, 2004).

Seja b a ordem de integração das séries. A terminologia $I_y(b)$ indica que a série y é integrada de ordem b . Ao se realizar qualquer tipo de modelagem envolvendo séries de tempo, as seguintes situações devem ser consideradas:

- Situação 1: Ambos $\{y_t\}$ e $\{z_t\}$ são estacionários ($I(0)$). Neste caso, o modelo clássico de regressão é apropriado.
- Situação 2: As seqüências $\{y_t\}$ e $\{z_t\}$ são integradas em diferentes ordens ($I_y(b) \neq I_z(b)$). Neste caso, um modelo de regressão linear é inadequado.

- Situação 3: As seqüências $\{y_t\}$ e $\{z_t\}$ são integradas de mesma ordem ($I_y(b) = I_z(b)$) e o resíduo contém uma tendência estocástica. Neste caso, o ajuste de modelo de regressão linear através de mínimos quadrados produzirá uma regressão espúria. Recomenda-se a estimação em primeira diferença: $\Delta y_t = a_0 + a_1 \Delta z_t + \Delta e_t$. No caso de $\{y_t\}$ e $\{z_t\}$ serem individualmente integradas de ordem 1 ($I(1)$), ambas tendo a mesma tendência (determinística, estocástica ou nenhuma), a primeira diferença será estacionária e as propriedades assintóticas do modelo de regressão serão válidas.
- Situação 4: As seqüências não-estacionárias $\{y_t\}$ e $\{z_t\}$ mas são integradas de mesma ordem e o resíduo do modelo (e_t) é estacionário. Nesse caso as seqüências $\{y_t\}$ e $\{z_t\}$ apresentam uma relação de equilíbrio de longo prazo, ou seja, existe uma combinação linear entre estas séries que é integrada de ordem zero ($I(0)$).

Desta forma um importante passo na análise de séries de tempo é a verificação da estacionariedade e da ordem de integração. Esta pode ser realizada através do teste aumentado de Dickey & Fuller (Enders, 2004).

Seja o modelo auto-regressivo: $y_t = a_1 y_{t-1} + \varepsilon_t$. Ao se subtrair y_{t-1} de ambos os lados temos: $\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \varepsilon_t$, onde $\gamma = (a_1 - 1)$. Testar a hipótese $H_0 : a_1 = 1$ é equivalente a testar $H_0 : \gamma = 0$. Deve-se considerar a possibilidade de presença de tendência temporal, presença do intercepto e a ausência destas.

$$\Delta y_t = \mu + \beta t + \gamma y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (13)$$

$$\Delta y_t = \mu + \gamma y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (14)$$

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (15)$$

Quando o parâmetro auto-regressivo for nulo ($\gamma = 0$) então a seqüência $\{y_t\}$ possui raiz unitária. As estatísticas τ , τ_μ e τ_β são apropriadas para se verificar a raiz unitária nas equações (13), (14) e (15), respectivamente. Na tentativa de se obter um processo de ruído

branco em ε_t , pode-se incluir defasagens da variável dependente em primeira diferença, caracterizando o teste de ADF.

Além das estatísticas τ , τ_μ e τ_β , existem ainda as estatísticas ϕ_1 , ϕ_2 e ϕ_3 . A estatística ϕ_1 realiza o teste ADF para o modelo com intercepto. As estatísticas ϕ_2 e ϕ_3 são utilizadas nos modelos com tendência determinística.

3.2. Teste de Co-integração

O conceito de co-integração consiste em verificar se processos não-estacionários apresentam alguma relação de equilíbrio de longo prazo. A existência de uma combinação linear estacionária entre variáveis não-estacionárias é denominada na literatura de estado de equilíbrio de longo. Na presente investigação a presença de co-integração entre o PIB e a demanda por *ticket* aéreo e as demais variáveis se constituiria numa evidência empírica da relação de complementaridade da demanda por *ticket* aéreo e as demais variáveis.

Equilíbrio de longo-prazo (Enders, 2004; p. 321) se vincula à idéia de precedência temporal. Na definição do teste de co-integração tem-se um conjunto de variáveis sob um equilíbrio de longo prazo: $\beta_1 x_{1t} + \dots + \beta_n x_{nt} = 0$. Representando na forma vetorial temos: $e_t = \beta x_t$. Afirma-se que o sistema se encontra em equilíbrio quando $\{e_t\}$ é uma série estacionária ($I(0)$). Os componentes de um vetor $x_t = (x_{1t}, \dots, x_{nt})'$ são ditos co-integrados de ordem d, b – $CI(d, b)$ – se forem satisfeitas as condições: (i) todos os componentes de x_t são integrados de ordem d ; e (ii) existe pelo menos um vetor ($\beta \neq 0$), tal que a combinação linear $\beta x_t = \beta_1 x_{1t} + \dots + \beta_n x_{nt}$ é integrada de ordem $(d-b)$, com $b > 0$. Nesse caso, β é chamado vetor de co-integração.

3.3. Modelo VECM

Para solucionar as limitações relacionadas à necessidade de um único vetor de co-integração, Hamilton(1994) apresenta um procedimento de estimação via método de máxima verossimilhança. No caso de duas variáveis, seja a sequência $\{y_t\}$ afetada por ocorrências presentes e passadas de $\{z_t\}$, assim como $\{z_t\}$ sendo determinado por ocorrências presentes e

passadas de $\{y_t\}$. Tem-se então o vetor bi-variado auto-regressivo de primeira ordem dado por:

$$y_t = b_{10} - b_{12}z_t + \gamma_{11}y_{t-1} + \gamma_{12}z_{t-1} + \varepsilon_{yt} \quad (16)$$

$$z_t = b_{20} - b_{21}y_t + \gamma_{21}y_{t-1} + \gamma_{22}z_{t-1} + \varepsilon_{zt} \quad (17)$$

Onde os b_{ij} são os efeitos contemporâneos da variação unitária de $\{z_t\}$ em $\{y_t\}$ e os γ_{ij} medem os efeitos de uma variação unitária de $\{z_{t-1}\}$ em $\{y_t\}$. Os termos ε_{yt} e ε_{zt} são os ruídos-brancos.

Generalizando, obtém-se o seguinte vetor auto-regressivo de ordem p :

$$\mathbf{y}_t = \sum_i^p \Phi_i \mathbf{y}_{t-i} + \varepsilon_t \quad (18)$$

Alternativamente, esse vetor pode ser representado como:

$$\Phi(B)\mathbf{y}_t = \varepsilon_t \quad (19)$$

Visto que o operador auto-regressivo $\Phi(B)$ pode ser expresso como:

$$\Phi(B) = \Phi^*(B)(1-B) + \Phi(1)B \quad (20)$$

O modelo vetorial de correção de erros será:

$$\Delta \mathbf{y}_t = \alpha \beta' \mathbf{y}_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Phi_i^* \Delta \mathbf{y}_{t-i} + \varepsilon_t \quad (21)$$

Onde α são os coeficientes de curto prazo e os β referem-se às elasticidades de longo prazo.

4. MODELO EMPÍRICO PARA ESTIMAÇÃO DA DEMANDA

A partir dos modelos teóricos apresentados na seção 2 e suas conclusões, percebe-se que cada autor possui um foco específico de análise, de forma que esses autores se complementam. Aproveitando aspectos pontuais de cada modelo, procurou-se justificar teoricamente as variáveis incluídas no modelo VECM. Assim, a demanda por *tickets* aéreos se dá por vários fatores, quais sejam: preço do *ticket*, inconveniência (por atraso ou por não conseguir o lugar desejado), serviços oferecidos pelas empresas aéreas, preço dos *tickets* de outras companhias aéreas, o custo da companhia e outras variáveis exógenas.

Neste trabalho, por conta das limitações encontradas na base de dados desagregados, optou-se por agrupar as informações sobre a demanda e utilizar uma avaliação macroeconômica. Dessa forma, estima-se a demanda por *tickets* aéreos como função dos preços dos *tickets*, da renda da população e do custo incorrido à empresa com a aquisição de combustível para aviação.

Logo, o vetor \mathbf{y} , da equação 21, agregará as variáveis demanda, preço, renda e combustível e suas defasagens, da seguinte forma:

$$\begin{aligned} [\Delta \text{Demanda}_t \quad \Delta \text{Preço}_t \quad \Delta \text{Renda}_t \quad \Delta \text{Combustível}_t]' &= \\ &= \alpha \beta' [\text{Demanda}_{t-1} \quad \text{Preço}_{t-1} \quad \text{Renda}_{t-1} \quad \text{Combustível}_{t-1}]' \\ &+ \sum_{i=1}^{p-1} \Phi_i^* [\Delta \text{Demanda}_{t-i} \quad \Delta \text{Preço}_{t-i} \quad \Delta \text{Renda}_{t-i} \quad \Delta \text{Combustível}_{t-i}]' + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (22)$$

5. Banco de Dados

Os dados sobre demanda de passageiros e preço são provenientes do anuário estatístico da ANAC e disponibilizados na Internet. Para a demanda, consideramos os valores de RPK (Passageiro Quilômetro-Pago Transportado), enquanto para o preço da passagem foi utilizada a tarifa Yield, pois é um indicador econômico muito utilizado no planejamento do transporte aéreo. O PIB mensal foi obtido no sistema de séries temporais do Banco Central e utilizado como indicador macroeconômico da renda populacional. O preço do combustível de aviação advém do preço do metro cúbico de querosene de aviação importada (US\$), obtido na Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Os dados utilizados correspondem a informações mensais e cobrem o período de janeiro de 2004 até fevereiro de 2010. Vale ressaltar que os dados obtidos tratam apenas do transporte doméstico das empresas TAM, Gol (e Varig) e Web Jet, que possuem, em média 85% do *market share* do setor.

Explicitamente, as variáveis são:

- **Demanda (RPK):** Passageiro Quilômetro-Pago Transportado (*Revenue Passenger Kilometer*). Obtida através do produto da quantidade de passageiros pagantes transportados pela quantidade de quilômetros voados. Representa, em linhas gerais, a demanda por transporte aéreo de passageiros.
- **Preço (Tarifa Yield):** Corresponde ao valor pago por passageiro por quilômetro voado, sendo resultado da ponderação do Yield tarifa médio, pela quantidade de assentos comercializados¹.
- **Renda (PIB):** Produto Interno Bruto em U\$ milhões.
- **Querosene (Combustível de aviação):** Preço do metro cúbico de querosene de aviação importada, calculado a partir do dispêndio com a importação (U\$) e o volume importado de querosene de aviação.

¹ Maiores detalhes sobre a metodologia ver ANAC (2010) e Salgado, Vassallo & Oliveira (2010).

Foram calculados os logaritmos dos valores originais de demanda, da renda e do combustível para que a estimação das relações se dê em um contexto de elasticidade.

6. Resultados

6.1. Estimação das relações de curto e longo-prazo

Durante o período de tempo analisado, se observa uma conexão entre as séries de demanda e de renda. O crescimento da demanda (RPK) é acompanhado pelo crescimento do PIB. A série de demanda apresenta picos de sazonalidade em janeiro e em julho. Em 2008 as séries apresentam algum certo descolamento. Devido à crise econômico-financeira internacional o PIB brasileiro apresenta uma queda não acompanhada imediatamente pela demanda, que irá apresentar tendência de queda somente em dezembro de 2008 (Gráfico 1).

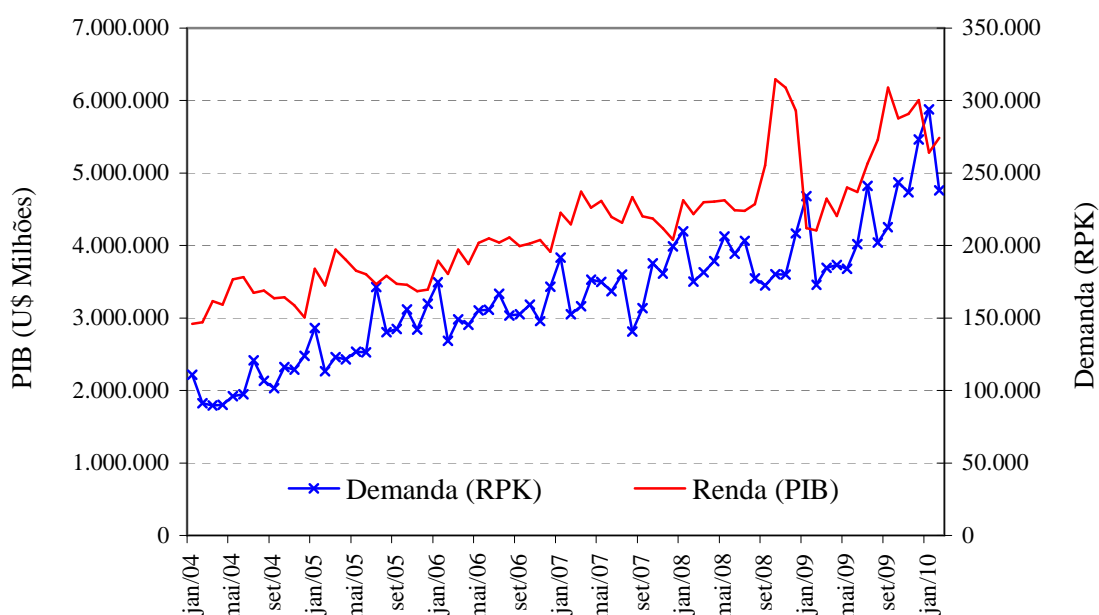


Gráfico 1: Evolução da demanda por *tickets* aéreos e do PIB: Jan/2004 a Feb/2010.

No período entre setembro de 2006 e janeiro de 2010, a tarifa Yield apresenta correlação com o preço do combustível de aviação, o que reflete o fato deste ser o componente de maior peso no custo variável das companhias aéreas. Conforme os gráficos 1 e 2 a evolução da Tarifa

Yield apresenta baixa correlação com a demanda e com o PIB, sendo influenciada principalmente pela variabilidade do preço do querosene de aviação.

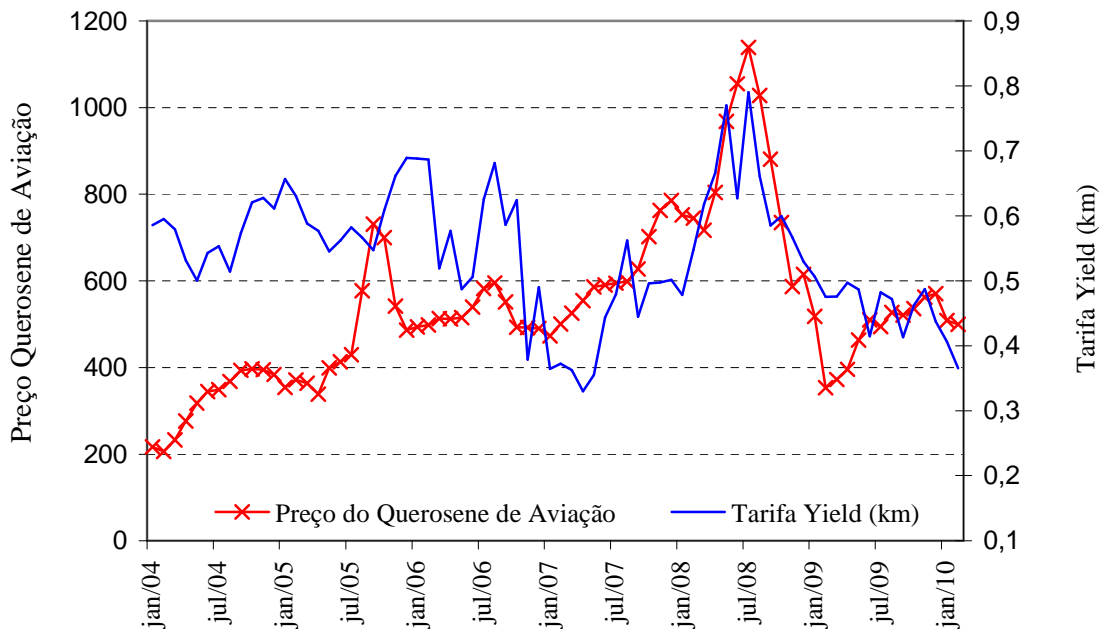


Gráfico 2: Tarifa Yield (por km) e do preço por m3 do querosene de aviação: Jan/2004 a Fev/2010.

Foi realizada uma análise individual das séries, de forma a tentar identificar os modelos e as defasagens que melhor explicam as variáveis. Para tal, se analisou os gráficos das funções de auto-correlação (ACF) e de auto-correlação parcial (PACF) (Brocklebank, 2003; p. 128), além dos valores do BIC (*Bayesian information criterion*) no MINIC (*Minimum Information Criterion*) e no ESACF (*extended sample autocorrelation function*).

Tanto o MINIC, quanto o ESACF são métodos que tentam definir as ordens dos processos ARMA. Com bases nos seus resultados, além das informações do ACF e do PACF, tem-se para a demanda, que o valor do BIC indica um modelo ARMA de ordem (5,4). Com base nessas informações, foi realizado o teste de ADF para verificar se o termo auto-regressivo é uma raiz unitária.

Tabela 1: Teste ADF para verificação da existência de raiz unitária

		Tendência e Intercepto		Sem Tendência e Com Intercepto		Sem Intercepto
		τ_τ	$\phi_3 (\tau_{\beta\tau})$	τ_μ	$\phi_I (\tau_{\beta\tau})$	τ_μ
Lag	$H_0 : \gamma = 0$	$H_0 : \begin{pmatrix} \mu \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$H_0 : \gamma = 0$	$H_0 : \begin{pmatrix} \mu \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$H_0 : \gamma = 0$	
YIELD	1	-2,24 ^{ns}	2,62 ^{ns}	-1,96 ^{ns}	2,06 ^{ns}	-0,83 ^{ns}
Δ YIELD		-	-	-	-	-5,96 [*]
RPK	4	3,00 ^{ns}	4,57 ^{ns}	-1,18 ^{ns}	4,24 ^{ns}	2,63 ^{ns}
	10	-2,52 ^{ns}	3,17 ^{ns}	-0,59 ^{ns}	2,14 ^{ns}	1,99 ^{ns}
Δ RPK		-	-	-	-	11,96 [*]
PIB	10	-3,46 ^{ns}	5,99 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	3,43 ^{ns}	2,60 ^{ns}
Δ PIB		-	-	-	-	5,75 [*]
COMB	10	-1,56 ^{ns}	1,91 ^{ns}	-1,96 ^{ns}	2,06 ^{ns}	0,43 ^{ns}
Δ COMB		-	-	-	-	-2,16 ^{**}

OBS: ^{ns} Não-significante, ^{*} significativa ao nível de 1% de confiança, ^{**} significativa ao nível de 5% de confiança.

A Tabela 1 apresenta o resultado da análise individual de presença de raiz unitária. Para a variável demanda, o teste ADF para 4 lags forneceu o valor de 3,00 e aceita-se a hipótese de não-estacionariedade ($H_0 : \gamma = 0$). Para esta mesma série, considerando 10 defasagens (considerou-se esta defasagem “alta” uma vez que o BIC indicou a presença de um processo de média móvel), o valor de -2,52 mostra que, também, não é estacionário. O valor de 3,17 refere-se ao teste de hipótese conjunto sobre a significância da tendência temporal (β), do parâmetro auto-regressivo (γ) e do intercepto (μ) e também é não-significante (Tabela 1). Assim, podemos retirar a tendência temporal do modelo e realizar novamente o teste de raiz unitária.

O valor de -0,59 indica novamente que a variável é não-estacionária. Prosseguimos verificando se o intercepto é estatisticamente significativo. O valor de 2,14 indica que, conjuntamente, o intercepto e o parâmetro auto-regressivo não são significantes. Desta forma podemos prosseguir retirando o intercepto do modelo. O modelo univariado agora contém somente o parâmetro auto-regressivo e o valor de 1,99 indica que este valor é estatisticamente

igual a zero. Na formulação do teste de ADF, se $\gamma = 0$ então a série é não-estacionária, sendo esta a conclusão final a respeito do comportamento da demanda, em nível. A mesma análise se aplica às demais variáveis. Fatos estilizados indicam que o PIB é não-estacionário, característica confirmada na Tabela 1.

Uma vez que todas as variáveis são não-estacionárias em nível e são todas integradas de ordem 1, temos os pré-requisitos (Enders, 2004) para aplicação do teste de co-integração de Johansen para verificar se as series apresentam uma relação de equilíbrio de longo prazo. Neste teste, a aceitação da hipótese nula dada por $H_0 : k = 0$ implica que não há nenhum vetor de co-integração entre as séries macroeconômicas.

Tabela 2: Teste de hipótese sobre as restrições

Rank	Autovalor	Autovalor com	GL	Qui-quadrado	P-Valor
		Restrição			
0	0,2695	0,2698	4	0,30	0,9897
1	0,2093	0,2100	3	0,27	0,9650
2	0,1140	0,1140	2	0,21	0,8992

Utilizou-se o BIC para identificar que o vetor auto-regressivo (VAR) possui ordem 2. A análise da (Tabela 2) mostra que se deve aceitar a hipótese nula de que o modelo, a ser construído a partir do VAR, possui drift constante tanto no modelo de correção de erro (ECM) quanto no processo, ou seja, deve-se ajustar o modelo:

$$\Delta y_t = \alpha (\beta', \beta_0) (y'_{t-1}, 1)' + \sum_{i=1}^{p-1} \Phi_i^* \Delta y_{t-i} + \epsilon_t \quad (23)$$

A partir dos autovalores restritos, testa-se a co-integração com base na equação (23). O valor de 48,89 da estatística do traço permite rejeitar a hipótese de existência de nenhum vetor de co-integração, pois se encontra acima do valor crítico (47,21). A segunda linha da Tabela 3 realiza o teste tendo como hipótese nula a existência de um único vetor de co-integração. O valor de 28,16 não permite rejeitar a hipótese de um único vetor de co-integração. Desta forma o teste de Johansen indica a presença de um único vetor de co-integração e as séries apresentam uma relação de equilíbrio de longo prazo. Quando as variáveis são co-integradas,

as estimativas dos parâmetros são ditas super-consistentes, pois convergem à uma taxa T , no lugar de \sqrt{T} . Isso implica que os parâmetros estimados da equação 23 possuem a mesma distribuição normal assintótica que os parâmetros reais.

Tabela 3: Teste de Co-Integração de Johansen na presença de restrição.

Nº Vetores de Co-Integração	Autovalor	Estatística do Traço	Valor Crítico 5%
0	0,2698	48,89	47,21
1	0,2093	28,16	29,38
2	0,1140	12,66	15,34

O vetor de co-integração estimado foi: $\beta = \{1 \quad 1,773 \quad -0,159 \quad -0,222\}$. No longo prazo, variações no PIB serão transmitidas para a demanda mais do que proporcionalmente. Um aumento de 1% na tarifa está relacionado a uma diminuição de 0,159% na demanda e um aumento no combustível diminui em 0,222%. Um fato relevante é que o parâmetro de longo prazo do preço dos combustíveis possui maior intensidade que o parâmetro de longo prazo do preço dos *tickets*.

Analisando o ajustamento dos parâmetros de curto prazo vemos que a demanda absorve 12,8% de sua variabilidade a cada período, enquanto o PIB absorve 21,7% (Tabela 4). Enquanto o PIB demora aproximadamente 5 meses para eliminar toda a variabilidade causada por um choque exógeno, a demanda demora aproximadamente 8 meses.

Os preços das tarifas e do combustível possuem uma velocidade de ajuste baixa, menos de 5% ao mês, demorando mais de dois anos para eliminar a variabilidade causada por um choque exógeno. Este é um importante mecanismo de transmissão de perturbações macroeconômicas sobre a demanda por transportes aéreos. Alterações na moeda e no câmbio provocam a mudança internacional no preço de importantes insumos do setor. Tais choques se dissipam muito lentamente, caracterizando a interdependência do comportamento da demanda com variáveis macroeconômicas. Os parâmetros de longo prazo não permitem verificar a transferência de um choque entre as séries, esta análise deve ser feita utilizando a representação gráfica da função impulso resposta.

Tabela 4: Parâmetros de Curto e Longo Prazo.

Série	Parâmetro de Longo Prazo	Parâmetro de Curto Prazo
Demanda (ln RKP)	1,000	-0,128
Renda (ln PIB)	1,773	0,217
Preços (Yield)	-0,159	0,030
Combustível (ln Querosene)	-0,222	0,007
Constante	1,519	-

A função impulso resposta mostra a transferência de variabilidade entre as séries analisadas. No Gráfico 3, um choque de renda é completamente transferido para a demanda em cerca de dez períodos, ou seja, dez meses. Um choque na demanda é completamente transferido para a própria demanda em aproximadamente seis meses, mesmo período em que um choque nos preços é transferido. Uma variação nos combustíveis é transferida negativamente, estabilizando-se após um ano.

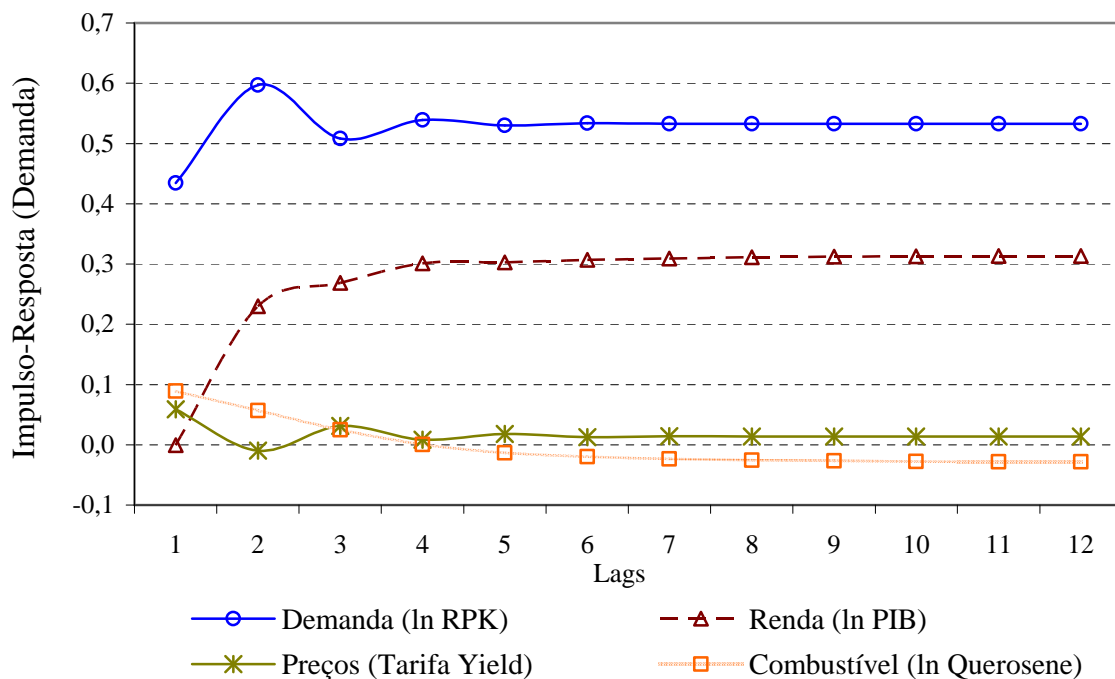


Gráfico 3: Função Impulso Resposta da Demanda.

O comportamento da função impulso resposta da tarifa Yield, frente às variações exógenas nas demais variáveis, observamos um comportamento completamente diferente para a propagação de choques exógenos na renda e na demanda sobre os preços (gráfico 3). Choques exógenos nas variáveis analisadas são rapidamente absorvidos pelos preços, representados pela tarifa Yield. Um choque de renda é completamente transferido para os preços em cerca de cinco meses, levando a uma mudança de pouco mais que 0,1% na tarifa Yield após este período. Da mesma forma a ocorrência de um choque na demanda é absorvida pelos preços em aproximadamente seis meses, levando a um aumento de pouco mais que 0,1%.

A baixa transferência de variabilidade sobre a tarifa Yield, tal como representada no gráfico 3, pode ser reflexo da política de liberação monitorada dos preços nos setor, conforme relatado em Salgado, Vassallo e Oliveira (2010). Em 2001 ocorreu uma breve remoção dos mecanismos de regulação dos preços e maiores possibilidades de entrada de novas empresas no mercado. Entretanto em 2003, foram retomados procedimentos de interferência econômica, período que os autores denominam de re-regulação. Portanto, o mercado esteve muito pouco tempo exposto a uma completa liberalização dos preços.

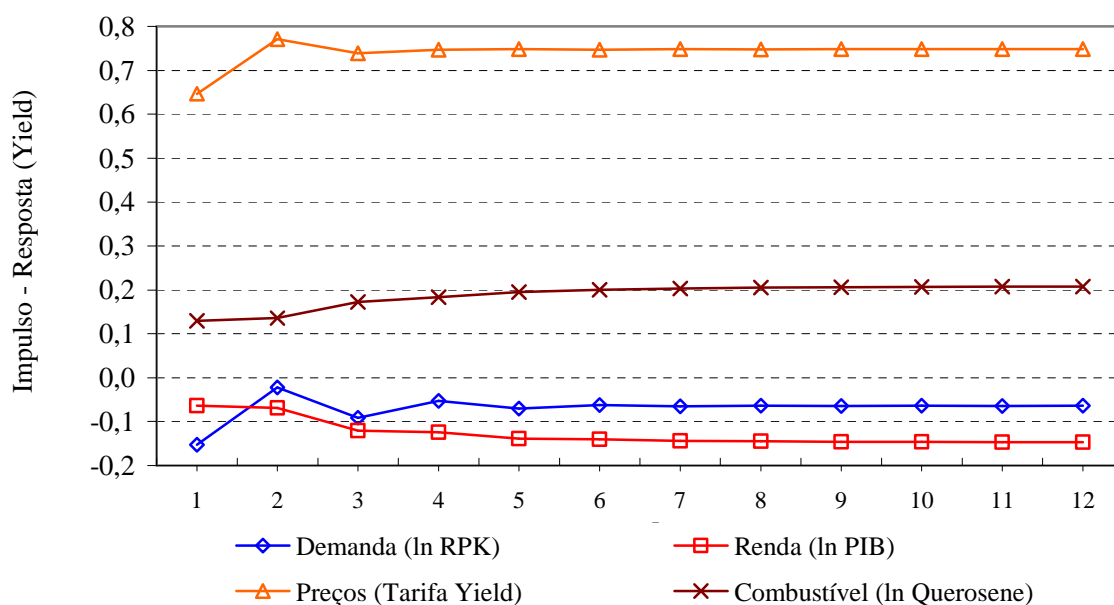


Gráfico 4: Função Impulso Resposta da Tarifa Yield.

Conforme caracterização encontrada em Lovadine (2010) a demanda por transporte aéreo pode ser segmentada pelo viajante de turismo e pelo viajante a negocio, sendo o ultimo predomina no mercado domestico². Por sua vez, a demanda do viajante a negocio apresenta baixa sensibilidade-preço, o que explica o baixo coeficiente de longo prazo da tarifa Yield apresentado na Tabela 4.

6.2. Previsão da demanda por tickets

O próximo passo é realizar a previsão multivariada a partir das estimativas do modelo vetorial com correção de erro (VECM). Nossa análise será concentrada na previsão de demanda, uma vez que esta é que determina os níveis necessários de investimento em infra-estrutura. Entretanto, a previsão futura de preços e do PIB também poderá balizar uma análise de cenários futuros. Para dezembro de 2010, o modelo apresenta uma previsão de demanda de aproximadamente 7 milhões de passageiros, ou seja, um crescimento de 28,4% em relação a dezembro de 2009.

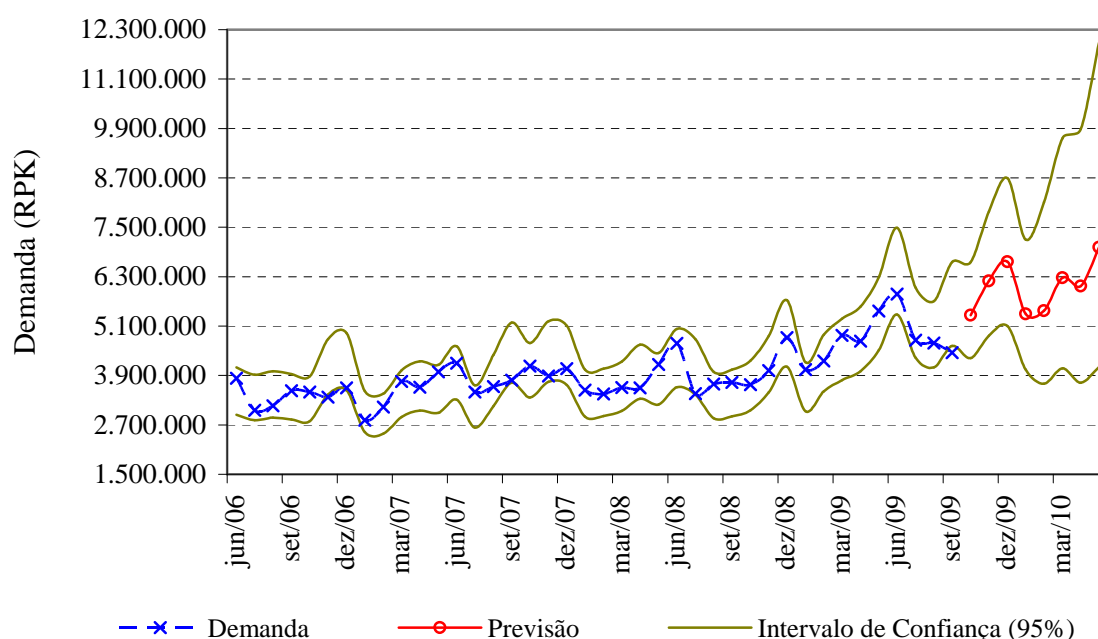


Gráfico 5: Previsão de Demanda Futura

² Viagens a negócio representam em torno de 71% das viagens domesticas no período de 1980 a 1996 (Lovadine, 2010 *apud* Tavares, 1999).

Considerando o comportamento passado observadas nas variáveis macroeconômicas sob análise, e considerando os pressupostos do modelo VECM, para dezembro de 2010 o modelo VECM prevê uma demanda de 7.014.757 passageiros nos voos domésticos, o que representa um crescimento de 28% em relação a dezembro de 2009. A demanda de passageiros por voos domésticos pode chegar a 11.983.404, segundo o limite superior de intervalo com 95% de confiança. A tarifa Yield (por km) prevista para dezembro de 2010 é de 0,3931, o que representa um decréscimo 10,1% em relação a dezembro de 2009.

Considerações Finais

Os modelos de co-integração possibilitam a previsão multivariada de séries temporais, sendo particularmente úteis quando não se podem associar, a priori, relações de causa e efeito entre as variáveis sob estudo. Neste estudo foi demonstrado que o modelo vetorial com correção de erro pode ser utilizado como ferramenta de previsão de demanda por transporte aéreo de passageiros, pois esta apresenta uma relação de co-integração com variáveis macroeconômicas, tais como PIB. A demanda de passageiros é o fator determinante da pressão sobre a capacidade da infra-estrutura aeroportuária. A previsão de demanda futura apresentada neste trabalho pode ser utilizada como subsídio ao planejamento de investimentos em infra-estrutura aeroportuária e como termômetro do grau de aquecimento futuro da economia.

Estimou-se para dezembro de 2010 um aumento de demanda de aproximadamente 28%. A elasticidade-PIB de longo prazo da de 1,77%, o que confirma a dependência existente entre o setor transporte aéreo de passageiros e o desempenho macroeconômico. Por sua vez a elasticidade-preço da demanda é baixa (-0,595), refletindo a predominância do viajante à negócios, o qual não escolhe sua passagem aérea baseando-se em preço, no transporte doméstico de passageiros,

Entretanto, uma análise de demanda focada nos horários de grande pressão sobre capacidade aeroportuária seria também particularmente útil no dimensionamento do sistema aeroportuário, o que pode contribuir em trabalhos futuros. Esta previsão de demanda focada em horários de pico permitirá melhor adequar a capacidade aeroportuária de atendimento, aperfeiçoando a alocação de recursos dos aeroportos. Evidentemente evidente que este tipo de análise depende da disponibilidade de dados por hora.

Referências

- Abreu, F. E. L. (2008) *Análise Sistêmica do Setor Aéreo Brasileiro: propostas para o planejamento do setor*. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Transportes, Brasília, DF.
- ANAC. (2010) *Relatório de Yield Tarifa: transporte aéreo doméstico regular de passageiros*. Agência Nacional de Aviação Civil, Superintendência de Regulação Econômica e Acompanhamento de Mercado Gerência de Regulação Econômica, Brasília, DF.
- Araújo Jr., A. H. (2004) *Análise da produtividade do setor de transporte aéreo brasileiro*. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Engenharia de Produção, São Paulo, SP.
- Brocklebank, J. & Dickey, D. (2003) *SAS[®] for Forecasting Time Series* (2^a ed.). SAS Institute & John Wiley & Sons, Cary, NC, USA.
- Brueckner, J. K. (2004) Network Structure and Airline Scheduling. *Journal of Industrial Economics*. v. 52, n. 2, p. 291-312
- Burle, L. L. (2003) Transporte Aéreo no Brasil: a crise da aviação comercial. *Indicadores Econômicos FEE*, Porto Alegre, v. 31, n. 3, p. 5-18.
- DAC. (2010) Estatística de assentos oferecidos por KM (ASK). DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL
- Enders, W. (2004) *Applied Econometric Time Series* (2^a ed.). John Wiley & Sons Inc.
- Gillen, D. E Lall, A. (2003) International Transmission of Shocks in The Airline Industry. *Journal of Air Transportation Management*, v. 9, n. 1, p. 37-49.
- Hamilton, J.D. (1994) *Time Series Analysis*. Princeton University Press.

- Panzar, J. C. Equilibrium and Welfare in Unregulated Airline Markets. *The American Economic Review*, v. 69, n. 2, Paper and Proceedings of Annual Meeting American Association, 1979.
- Lovadine, D. Análise Econométrica Estrutural da Conduta Competitiva: Estudo de Caso do Transporte Aéreo Pós-Liberalização. *Revista de Literatura dos Transportes*, v. 3, n. 1, p. 7-39.
- Neven, D. J., Röller, L. e Zhang, Z. (2006) Endogenous Costs and Price-Cost Margins: An application to the European Airline industry. *The Journal of Industrial Economics*, v. 54, n. 3, p. 351-368.
- Oliveira, A. (2010) A Alocação de *Slots* em Aeroportos Congestionados e suas Consequências no Poder de Mercado das Companhias Aéreas. *Revista de Literatura dos Transportes*, v. 4, n. 2, p. 5-49.
- Salgado, L. H., Vassallo, M. & Oliveira, A. (2010) Regulação, Políticas Setoriais, Competitividade e Formação de Preços: Considerações sobre o Transporte Aéreo no Brasil. *Revista de Literatura dos Transportes*, v. 4, n. 1, p. 7-48.
- Stavins J. (2001) Price Discrimination in the Airline Market: The Effect of Market Concentration. *The Review of Economic and Statistics*, v 83, n. 1, p. 200-203.
- Teixeira, C. H. & Sousa, A. F. (2010) Análise da avaliação financeira da marca VARIG para aquisição pela GOL. *Seminários em Administração*, XII SEMEAD, Programa de Pós-Graduação em Administração da FEA/US, São Paulo.
- Valente, F. J. e Cury, R. M. (2004) Transporte Aéreo e a Integração Logística com as Atividades Turísticas. *Turismo, Visão e Ação*, v. 6, n.1, p. 27-43.