

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS

DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA

YURI ALVES PEREIRA

**ANÁLISE DA DEMANDA DE PASSAGEIROS DO SETOR AÉREO NO**

**BRASIL – PERÍODO 2000-2017**

BELO HORIZONTE

2018

YURI ALVES PEREIRA

**ANÁLISE DA DEMANDA DE PASSAGEIROS DO SETOR AÉREO NO  
BRASIL – PERÍODO 2000-2017**

Monografia apresentada ao Departamento de Estatística como requisito para obtenção do título de Especialista em Estatística.

Orientador: Prof. Roberto da Costa Quinino

ICEX/UFMG

Departamento de Estatística

Belo Horizonte - MG

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS

DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA

**YURI ALVES PEREIRA**

**ANÁLISE DA DEMANDA DE PASSAGEIROS DO SETOR AÉREO NO**

**BRASIL – PERÍODO 2000-2017**

Monografia apresentada ao Departamento de Estatística como requisito para obtenção do título de Especialista em Estatística.

**Aprovada em:**        /        /        **Conceito:**

Banca Examinadora:

-----  
**Orientador: Prof. Roberto da Costa Quinino**

-----  
**Prof. Anderson Laécio Trindade**

-----  
**Prof. Gustavo Mateus de Almeida**

## **RESUMO**

O trabalho pretende analisar as componentes da demanda por voos, através do indicador RPK, em voos com origem ou destinos no Brasil e fazer uma previsão dessa demanda para os anos de 2018 e 2019. A partir de dados de demanda disponibilizados pela ANAC, assim como de variáveis econômicas disponibilizadas pelo IBGE e pelo FMI, foi possível desenvolver um modelo de regressão linear múltipla que permite inferir as principais variáveis associadas a variação da demanda por assentos pagos. A partir desse modelo, foi possível determinar os possíveis valores para a demanda nos anos 2018 e 2019, auxiliando empresas e órgãos relacionados ao setor aéreo em suas atividades futuras.

Palavras-Chave: Demanda – Setor Aéreo – RPK – previsão – Regressão Linear

## **ABSTRACT**

The work intends to analyze the components of the demand for flights, through the indicator RPK, in flights with origin or destinations in Brazil and to forecast this demand for the years 2018 and 2019. Based on demand data provided by ANAC, as well as of economic variables made available by the IBGE and the IMF, it was possible to develop a multiple linear regression model that allows us to infer the main variables associated with the variation in the demand for flights. From this model, it was possible to determine the possible values for the demand in the years 2018 and 2019, assisting companies and organizations related to the air sector in their future activities.

Keywords: Demand - Air Sector - RPK - forecast - Linear Regression

## Sumário

1 – INTRODUÇÃO.....	7
2 – O SETOR AÉREO BRASILEIRO.....	8
2.1 ÓRGÃOS E FUNÇÕES .....	9
2.2 DETERMINANTES DA DEMANDA POR TRANSPORTE AÉREO E EXPANSÃO .....	10
3 – METODOLOGIA.....	11
3.1 MODELO DE REGRESSÃO LINEAR .....	11
4 – ESTUDO DE CASO .....	14
MODELO 1 - PIB E DESEMPREGO.....	17
MODELO 2 – VARIÁVEIS DE 2 GRAUS E INTERAÇÕES.....	19
MODELO 3 – MODELO 2 AJUSTADO.....	22
5 – PREVISÃO DA DEMANDA 2018-2019 .....	26
6 – CONCLUSÃO.....	28
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	29
8 – ANEXO .....	30
TABELA DE DADOS .....	30

## Lista de Figuras

Figura 1- Oferta e demanda de passageiros do setor aéreo .....	15
Figura 2- Demanda RPK vs PIB real.....	15
Figura 3- Demanda RPK vs Desemprego.....	16
Figura 4 - Gráficos dos Resíduos modelo 1 .....	18
Figura 5 - Gráfico de dispersão dos resíduos em relação a curva normal, modelo 1 .....	19
Figura 6 - Gráficos dos Resíduos modelo 2 .....	21
Figura 7 - Gráfico de dispersão dos resíduos em relação a curva normal, modelo 2.....	22
Figura 8 - Gráficos dos Resíduos modelo 3 .....	24
Figura 9 - Gráfico de dispersão dos resíduos em relação a curva normal, modelo 3 .....	25

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Entidades relacionadas ao setor aéreo .....	10
Tabela 2- Projeção PIB real absoluto e taxa de desemprego.....	26
Tabela 3– Intervalo de confiança para RPK.....	27

## Siglas

CONAC – Conselho Nacional de Aviação Civil

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

RPK – Revenue Passenger Kilometer

ASK – Available Seat Kilometer

## 1 – INTRODUÇÃO

Em um país de dimensões continentais, como o Brasil, o transporte aéreo desempenha um papel estratégico de integração nacional. Não apenas por transportar pessoas e cargas, o setor aéreo está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico, social e político do país, ligando locais remotos que, dificilmente, seriam acessados por outros meios de transporte. Dessa forma, compreender a dinâmica de atuação das companhias aéreas e o cenário no qual elas estão inseridas é fundamental para uma boa gestão do plano de desenvolvimento do estado brasileiro. O setor aéreo em toda sua complexidade, quanto a alocação geográfica de suas atividades, exige intervenção do Estado devido à alocação deficiente de trajetos aéreos, pela necessidade da continuidade e disponibilidade do serviço, de maneira a incentivar o desenvolvimento regional.

Conforme ABREU (2008): “... a relação entre o transporte aéreo e as atividades econômicas, culturais, sociais e políticas de uma região só pode ser efetivada a partir da existência da infraestrutura aeroportuária e da oferta do serviço do transporte aéreo, visto que influencia na abertura de novos mercados e age como facilitador de intercâmbio e de acesso de pessoas e de cargas a outros serviços e atividades”.

Outro aspecto econômico diretamente relacionado ao setor aéreo é o turismo. Os recentes eventos esportivos ocorridos no país (Jogos olímpicos do Rio de Janeiro 2016 e Copa do Mundo FIFA de futebol de 2014) geraram uma demanda por investimentos em infraestrutura. Para a copa do Mundo, foram criadas sedes em diversas regiões do país, como Arena Pantanal e Arena Amazônica, além das tradicionais situadas nas regiões sul, sudeste e nordeste. Para atender a demanda de deslocamento de passageiros para esses eventos, a infraestrutura aeroportuária recebeu investimentos para aumentar a capacidade de recebimento de cargas e passageiros. Mesmo após esses eventos, o turismo internacional no país continua a expandir, tendo recebido mais de 10,5 milhões de desembarques internacionais e 5,8 bilhões de dólares gastos por turistas em terras tupiniquins, segundo o ministério do turismo <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Dados disponíveis em 20/10/2018

Esse turismo internacional tem crescido devido à desvalorização da moeda brasileira (Real) em relação as principais moedas estrangeiras. Mas não somente o turismo internacional tem sido beneficiado pela questão cambial. Devido a essa desvalorização, os gastos brasileiros no exterior têm diminuído e sido redirecionados para uso no próprio Brasil, uma vez que os brasileiros têm preferido viajar pelo país, o que tem aumentado as necessidades de algum grau de previsibilidade na demanda por passageiros pelas agências de infraestrutura aeroportuárias.

Além da perspectiva do turismo, a aviação contribui para uma parte significativa do transporte de carga internacional, responsável por levar determinadas cargas a locais onde o transporte marítimo e terrestre apresenta maiores desvantagens ou impossibilidades.

Neste trabalho, venho a discorrer especificamente sobre a importância de uma análise de previsibilidade da demanda aérea para empresas de transporte de passageiros e para os agentes responsáveis pela infraestrutura do setor aéreo. Dessa forma, permitir um melhor planejamento das rotas a serem gerenciadas bem como a disposição dos slots de voo nos aeroportos, observando tendências que podem requisitar maior investimento para expansão do setor. Este estudo é capaz de ajudar órgãos como ANAC, INFRAERO e PROCONs em outros projetos onde a variação de demanda de passageiros possa ser importante.

## **2 – O SETOR AÉREO BRASILEIRO**

Segundo FERREIRA E LAPLANE (2006), a demanda do mercado aeronáutico é determinada pelas variações do nível de renda dentro e fora do país. Para que fosse possível fazer um estudo da demanda deste setor, os passageiros – principais clientes deste mercado – devem ser agrupados de duas formas: aqueles que voam a negócio e aqueles que voam a lazer.

Após esse agrupamento, observa-se uma divisão geográfica da demanda de passageiros ao longo do território nacional. Em determinados lugares do país, onde se encontram os grandes centros industriais, há uma maior quantidade de passageiros que viajam a negócios enquanto em outros locais, na maioria das vezes turísticos, registra-se maior quantidade de passageiros voando a lazer.



Atualmente, as demandas regionais para o turismo internacional têm aumentado as solicitações de empresas para operarem mais voos para destinos cujos aeroportos são menores, como exemplo, a empresa aérea AZUL que iniciou voos de Buenos Aires para Cabo frio – RJ, além de mais voos europeus estarem aterrissando no Brasil, por exemplo, no Aeroporto de Fortaleza, onde a empresa norueguesa de baixo custo NORWEGIAN AIR solicitou autorização para operar. O aeroporto de Fortaleza se tornou um hub importante de conexão da Europa com o Brasil, além de conectá-los com a região amazônica e as demais partes do nordeste. O Aeroporto de Viracopos em Campinas – SP, agora possui voos regulares para Europa e América Latina, reduzindo o congestionamento de aeronaves dos aeroportos de Congonhas e Guarulhos<sup>2</sup>.

## 2.1 ÓRGÃOS E FUNÇÕES

Segundo ABREU (2008), o sistema institucional do transporte aéreo brasileiro é formado por organizações públicas e privadas que atuam em diferentes níveis político-administrativos, onde suas ações interferem de forma direta e indireta no sistema de transporte aéreo brasileiro. Tais organizações participam do processo de planejamento, gerenciamento, operação, fiscalização e regulamentação, dentre outras. Além disso, fornecem o serviço de transporte aéreo e a infraestrutura de transporte. Dessa forma, o sistema institucional de um sistema de transportes tem a competência de viabilizar o funcionamento do sistema de transportes, fornecendo os meios necessários para sua atuação, através de regulamentação adequada e dos recursos necessários.

A Tabela 1 demonstra os principais atores do sistema institucional do transporte aéreo brasileiro.

---

<sup>2</sup> <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2018/09/10/fluxo-de-passageiros-em-viracopos-registra-alta-de-4-e-melhor-agosto-desde-2015.ghtml>

<http://www.viracopos.com/institucional/imprensa/17-01-2018-aeroporto-de-viracopos-ganha-nova-rota-internacional-a-partir-de-hoje.html>

**Tabela 1 - Entidades relacionadas ao setor aéreo**

<b>Entidades Responsáveis</b>			
<b>Planejamento</b>	<b>Regulação</b>	<b>Fiscalização</b>	<b>Operações</b>
Governo Federal	DECEA	ANAC	Infraero
Governo Estadual	ANAC	Infraero	Empresas aéreas
Governo Municipal			
Ministério da Defesa			
CONAC			
ANAC			
Infraero			
DECEA			

Observa-se que a ANAC e a Infraero possuem maiores atribuições na cadeia de atividades relacionadas ao setor aéreo brasileiro.

## 2.2 DETERMINANTES DA DEMANDA POR TRANSPORTE AÉREO E EXPANSÃO

É necessário conhecer os fatores responsáveis pelas variações na demanda por transporte aéreo de passageiros. Assim, poderemos entender e possivelmente, prever os caminhos que o setor aeroportuário precisará tomar para que se tenha aeroportos capazes de lidar com as necessidades crescentes de passageiros e empresas.

OLIVEIRA & SILVA (2008) mapearam os estágios da demanda por transporte aéreo regional em três grupos distintos, sendo também estágios aplicados para o transporte aéreo internacional: inicial (onde o tráfego aéreo é baixo, e o potencial ainda é inexplorado), em crescimento (nas regiões onde o potencial é iminente, bastando um pequeno catalisador para a sua materialização) e maduro (onde a região já representa alta probabilidade de atração de voos e demanda).

Outros fatores que também são levados em conta pelas companhias aéreas quando do estabelecimento de rotas regulares que são citados no estudo são os seguintes:

- (a) Fatores econômicos: (demanda potencial);
- (b) Fatores sociais: (perfil dos passageiros: idade, profissão, etc.);

- (c) Fatores turísticos (sazonalidade, tipo de turismo, etc.);
- (d) Fatores operacionais (pessoal, infraestrutura, etc.);
- (e) Fatores geográficos (relevo, meteorologia, etc.);
- (f) Fatores políticos (injunções junto a governos e autoridades, regulamentação); e
- (g) Fatores mercadológicos (concorrentes, publicidade, etc.)

O setor aéreo possui dois indicadores principais para indicação de demanda e oferta de assentos de passageiros. Segundo a ANAC<sup>3</sup>, o indicador de ASK (available seat kilometer) refere-se a soma do produto dos assentos oferecidos e a distância entre as etapas de transporte, sendo essa uma referência de oferta, e o indicador de RPK (revenue seat kilometer) refere-se a soma do produto entre o número de passageiros pagos e a distâncias das etapas, sendo essa uma referência de demanda.

### 3 – METODOLOGIA

#### 3.1 MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Segundo MONTGOMERY E RUNGER (2016), o objetivo do modelo de regressão linear é prever a variável dependente ou resposta em função de variáveis independentes ou explicativas. Sendo assim, queremos observar como as mudanças nas variáveis independentes estão relacionadas com a variável dependente. O modelo de regressão linear múltipla é dado pela Equação (1):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i \quad (1)$$

---

<sup>3</sup> <http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/descricao-de-variaveis>

onde  $Var(\mathcal{E}_i) = \sigma^2 (0 < \sigma^2 < \infty)$ ,  $\forall i$  e  $x$  são variáveis independentes com  $i=1,2,\dots, n$  e  $n > k$ .

O modelo de regressão linear também pode ser escrito da forma matricial, conforme pode ser visto de forma mais compacta na Equação (2):

$$\mathbf{y} = \boldsymbol{\beta}\mathbf{X} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2)$$

e em forma matricial como

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1 & x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ik} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathcal{E}_1 \\ \mathcal{E}_2 \\ \vdots \\ \mathcal{E}_i \end{bmatrix}$$

em que:

$\mathbf{Y}$  é um vetor coluna  $i \times 1$  de observações da variável dependente;

$\mathbf{X}$  = matriz  $i \times k$  contendo  $k$  variáveis onde a primeira coluna é um vetor coluna unitário representando o intercepto. Essa matriz é conhecida como a matriz de dados;

$\hat{\boldsymbol{\beta}}$  = vetor coluna  $k \times 1$  de parâmetros desconhecidos;

$\boldsymbol{\varepsilon}$  = vetor coluna  $i \times 1$  dos termos de erro.

O objetivo é estimar o vetor  $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ , assim poderemos fazer inferências sobre como e quanto cada variável explicativa impacta a variável dependente, a partir de um conjunto de dados. Para isto será utilizado o método de mínimos quadrados ordinários que minimiza a soma dos quadrados dos erros, ou seja, a soma do quadrado da diferença entre o valor estimado e os dados observados.

Para realizar inferência sobre os coeficientes  $\beta$ , é necessário assumir alguns pressupostos, a saber:

S0: O modelo proposto está correto;

S1: Os erros são normais e possuem média igual à zero e variância constante,  $\varepsilon_i \sim N(0; \sigma^2), \forall i$  ;

S2: Homocedasticidade,  $V(\varepsilon_i) = \sigma^2 < \infty, \forall i$ . A homocedasticidade significa que a variância dos erros é constante para todos os valores das variáveis dependentes.

S3: Os erros são não auto correlacionados,  $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, \forall i \neq j$  ;

S4: A matriz  $\mathbf{X}'\mathbf{X}$  é inversível;

O estimador pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) é dado por:

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (3)$$

onde  $\hat{\beta}$  é um vetor de estimadores de  $\beta$ .

O estimador  $\hat{\beta}$  detém algumas características interessantes:

C1:  $\hat{\beta}$  é um estimador linear, logo, pode ser escrito como um múltiplo de  $y$  ;

C2: Se  $y$  tiver distribuição normal,  $\hat{\beta}$  também terá, pois,  $\hat{\beta}$  é um múltiplo de  $y$  ;

C3:  $\hat{\beta}$  é não-viesado para  $\beta$  sob S0 e S1. Isso significa que em média  $\hat{\beta}$  será igual a  $\beta$  ;

C4:  $Cov(\hat{\beta}) = \sigma^2 (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ . A matriz de variância e covariância é utilizada para fazer testes de hipótese e estimação intervalar;

C5:  $\hat{\beta}$  é consistente. Este estimador é assintoticamente não viesado e sua variância tende a zero quando  $i \rightarrow \infty$ ;

C6: Sob S0, S1, S2 e S3, o Teorema de Gauss-Markov garante que  $\hat{\beta}$  é o melhor estimador linear e não-viesado de  $\beta$  .

É necessária uma medida da qualidade global do ajuste do modelo estimado. Uma medida que avalia a proporção da variabilidade dos dados que é explicada pelo modelo é conhecida como coeficiente de determinação e é calculado como:

$$R^2 = \frac{V(\hat{Y})}{V(Y)} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2 / (n-1)}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 / (n-1)}$$

Quando o tamanho da amostra é pequeno é recomendável ajustar o valor de  $R^2$ . Isto pode ser feito utilizando os desvios de  $y$ , variável dependente, em relação a sua média, que se trata do coeficiente de determinação ajustado ( $c$ ). O  $\bar{R}^2$  é dado pela Equação (4).

$$\bar{R}_{adj}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2 / (n-k-1)}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 / (n-1)} \quad (4)$$

#### 4 – ESTUDO DE CASO

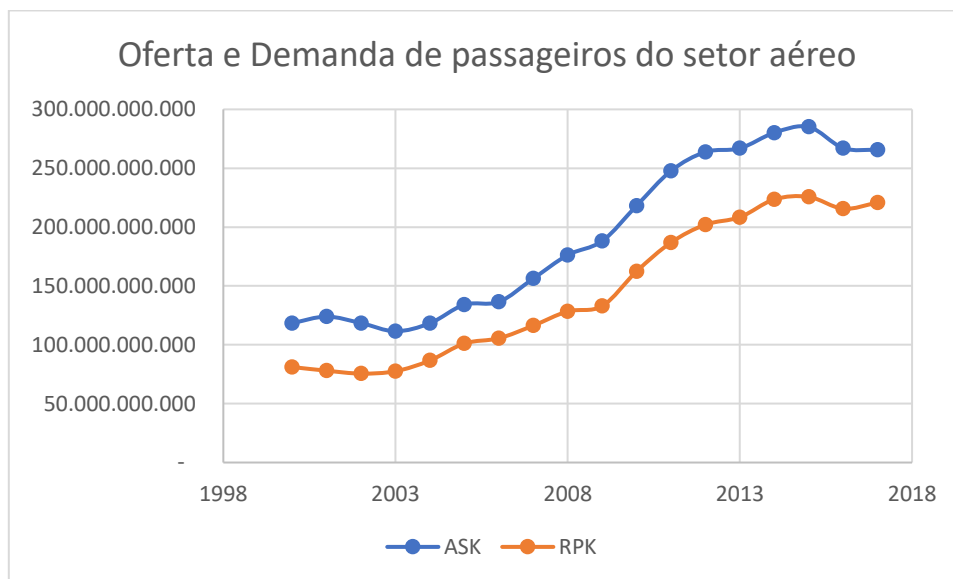
Dado as necessidades dos principais agentes do setor aéreo (empresas de transporte, ANAC e INFRAERO) possuírem uma previsibilidade das demandas de passageiros de avião para determinarem rotas, novos destinos e novas frotas de aeronaves, esse estudo busca, a partir de dados históricos recentes, compreender e prever a demanda de passageiros (RPK) para o período 2018-2019.

Foram utilizados dados disponibilizados pela ANAC<sup>4</sup> sobre o volume demandado de passageiros em âmbito nacional e internacional, trafegando pelos aeroportos brasileiros, além de dados do PIB real brasileiro divulgados pelo Banco Mundial<sup>5</sup> e de Desemprego divulgados pelo IBGE<sup>6</sup>.

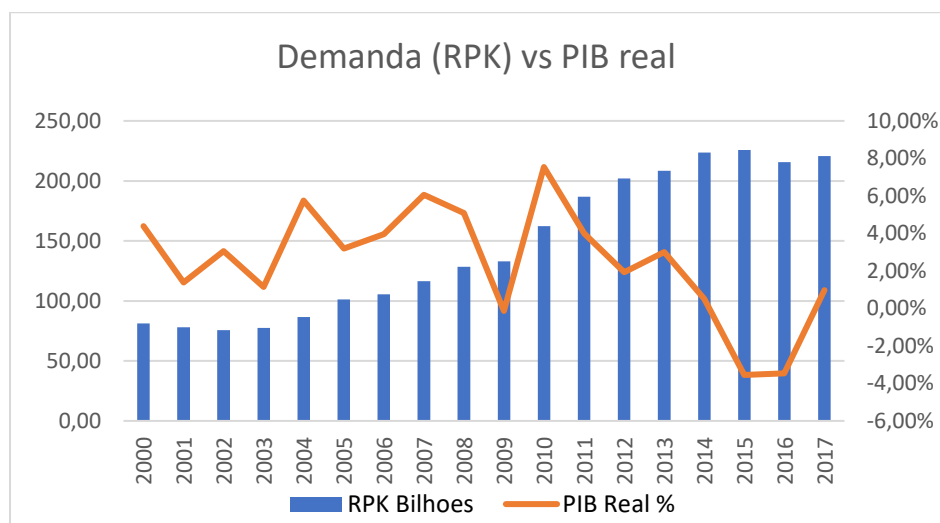
<sup>4</sup> <http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/empresas/envio-de-informacoes/base-de-dados-estatisticos-do-transporte-aereo>

<sup>5</sup> <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&series=NY.GDP.MKTP.KN&country=BRA#>

<sup>6</sup> <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/rendimento-despesa-e-consumo/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html?=&t=resultados>

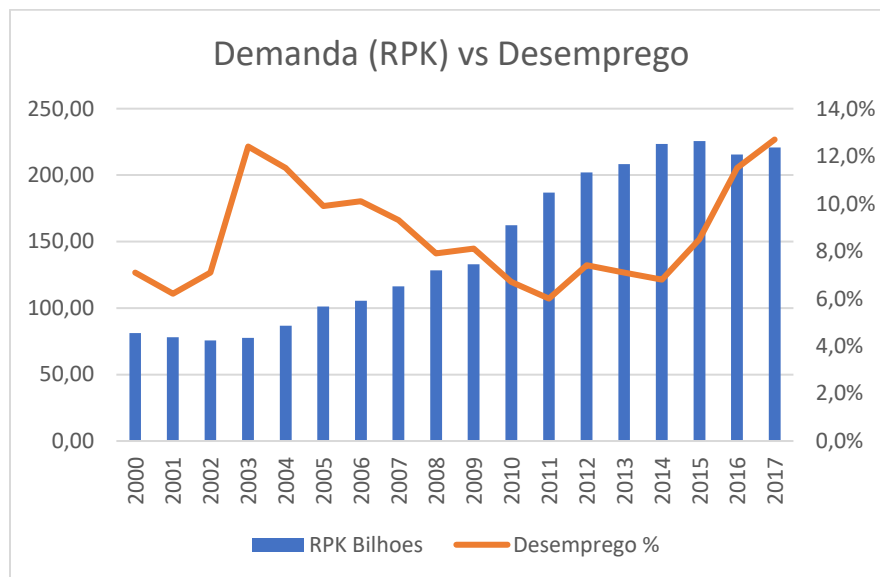
**Figura 1- Oferta e demanda de passageiros do setor aéreo**

Na Figura 1, observamos uma tendência clara de crescimento de demanda e oferta de assentos até o ano 2017, com pequena queda observada entre os anos de 2015 e 2016. Essa queda pode ser atribuída às condições econômicas do país, as quais fizeram com que o PIB se reduzisse devido a um ambiente de incerteza política que atingiu o setor produtivo e aumentou o nível de desemprego, uma das variáveis que impactam a demanda e a oferta de assentos em aeronaves.

**Figura 2- Demanda RPK vs PIB real**

Na Figura 2, observa-se que a demanda (RPK) apresentou uma tendência de crescimento acentuada entre os anos de 2003 e 2014 e uma pequena instabilidade de 2015 a 2017. Nota-se que apesar da oscilação do PIB real percentual divulgado pelo IBGE, a demanda por assentos se manteve em trajetória crescente independente de o PIB crescer ou diminuir.

**Figura 3- Demanda RPK vs Desemprego**



Ao analisarmos a demanda (RPK) em relação ao nível de desemprego no país, Figura 3, observamos que a partir de 2003 a taxa de desemprego e a demanda seguem trajetórias inversas até o ano de 2014. Nos anos subsequentes, a demanda aparenta estabilidade mesmo com um aumento significativo da taxa de desemprego, contrariando a expectativa que seria de queda na demanda, provavelmente causada por um movimento resultante de maior movimentação turística estrangeira em função dos jogos olímpicos de 2016 e residual da copa do mundo de 2014.

Neste trabalho, foi proposto uma análise agregada da demanda, dessa forma a escolha das variáveis independentes que possam explicar as variações na demanda por assentos em aeronaves de voos comerciais foi sugerida por conseguirem absorver as principais oscilações das economias, motivo pelo qual o PIB real foi selecionado, e o desemprego. Utiliza-se o PIB real nesse trabalho, sendo este, o valor do PIB a valores correntes descontado a inflação do período. O software utilizado para executar os testes foi o MINITAB 17.



## MODELO 1 - PIB E DESEMPREGO

O primeiro modelo proposto para explicar a variação da demanda de assentos no transporte aéreo consistiu em utilizar interações de primeiro grau para avaliar se as variáveis são consistentes. A equação utilizada foi:

$$RPK = \beta_0 + \beta_1 PIB + \beta_2 Desemprego + \varepsilon \quad (5)$$

Os resultados do modelo seguem:

Saídas de Software : MODELO 1

### Regression Analysis: RPK Bilhoes versus PIB em Bilhoes; Desemprego

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	54551,9	27275,9	96,46	0,000
PIB em Bilhoes	1	54360,4	54360,4	192,24	0,000
Desemprego	1	361,2	361,2	1,28	0,276
Error	15	4241,5	282,8		
Total	17	58793,4			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
16,8157	92,79%	91,82%	89,26%

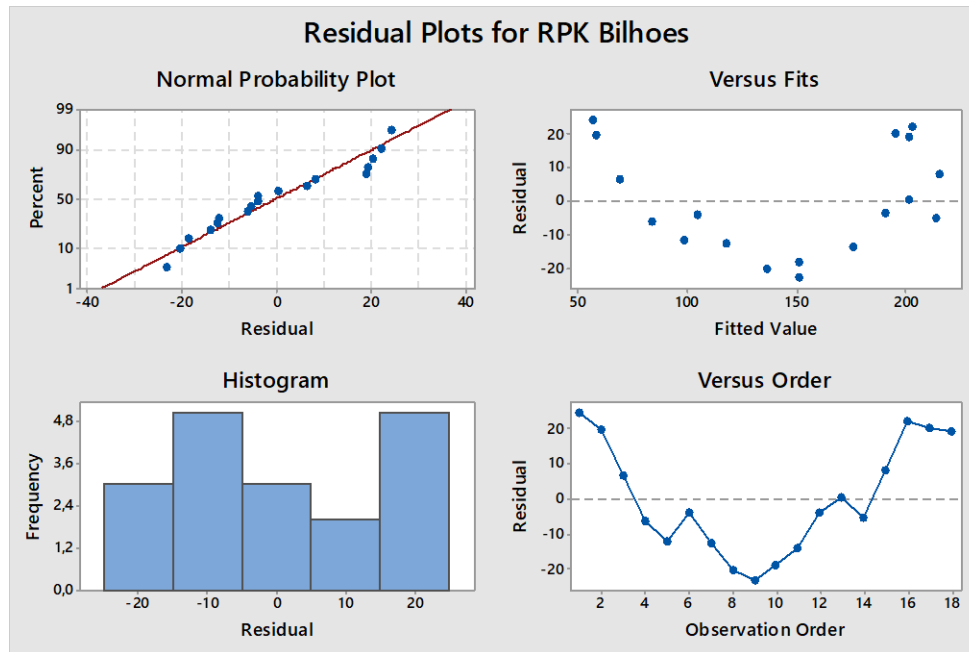
#### Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	-235,5	33,0	-7,13	0,000
PIB em Bilhoes	0,2310	0,0167	13,87	0,000
Desemprego	214	189	1,13	0,276

#### Regression Equation

RPK Bilhoes = -235,5 + 0,2310 PIB em Bilhoes + 214 Desemprego

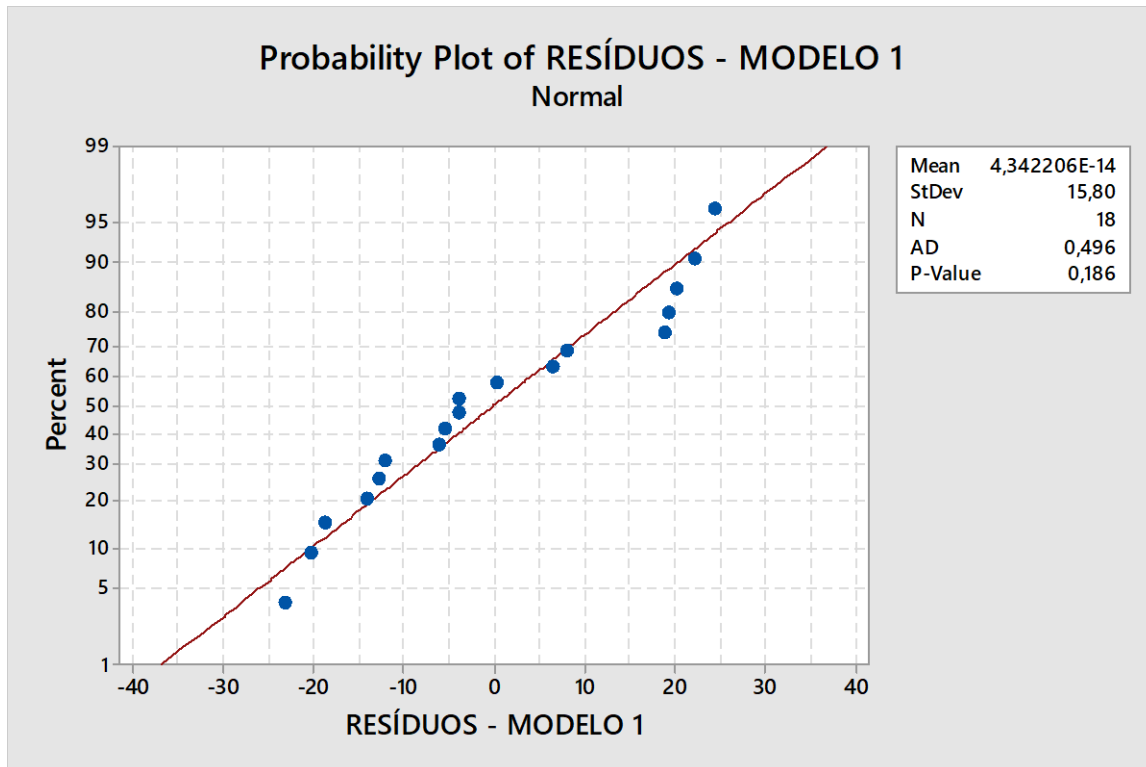
**Figura 4 - Gráficos dos Resíduos modelo 1**



Os resultados demonstram em primeiro lugar, que a variável desemprego não é estatisticamente diferente de 0 para um índice de confiança de 5%, dado que o p-valor apresentado é de 27,6%. Ao observar os gráficos dos resíduos versus Fits é possível inferir um modelo com interações de ordens superiores devido o aspecto não linear além de não parecer razoável a suposição de homocedasticidade.

Ao realizar o teste de Anderson-Darling para atestar normalidade, não se rejeita a normalidade para um índice de confiança de 95%, conforme pode ser observado abaixo. Devido ao fato de o modelo 1 não atender os pressupostos da regressão linear e não passar nos testes estatísticos, ele foi considerado não pertinente aos propósitos desse trabalho.

**Figura 5 - Gráfico de dispersão dos resíduos em relação a curva normal, modelo 1**



## MODELO 2 – VARIÁVEIS DE 2ª ORDEM E INTERAÇÕES

A partir das conclusões do primeiro modelo, que foi julgado não satisfatório foi construído um segundo modelo com termos quadráticos com o objetivo de observar qual seria o comportamento dos termos quadráticos assim como um termo de interação entre as variáveis, uma vez que as duas possuem comportamento teoricamente correlacionado de acordo com a teoria macroeconomia ortodoxa. A equação utilizada se segue:

$$RPK = \beta_0 + \beta_1 PIB + \beta_2 Desemprego + \beta_3 PIB^2 + \beta_4 Desemprego^2 + \beta_5 PIB * Desemprego + \varepsilon \quad (6)$$

Os resultados do modelo seguem:

## Saídas de Software: MODELO 2

**Regression Analysis: RPK Bilhoes versus PIB em Bilhoes; Desemprego**

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	58128,2	11625,6	209,74	0,000
PIB em Bilhoes	1	1344,0	1344,0	24,25	0,000
Desemprego	1	105,8	105,8	1,91	0,192
PIB em Bilhoes*PIB em Bilhoes	1	1715,3	1715,3	30,95	0,000
Desemprego*Desemprego	1	9,2	9,2	0,17	0,691
PIB em Bilhoes*Desemprego	1	1255,5	1255,5	22,65	0,000
Error	12	665,2	55,4		
Total	17	58793,4			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
7,44514	98,87%	98,40%	97,09%

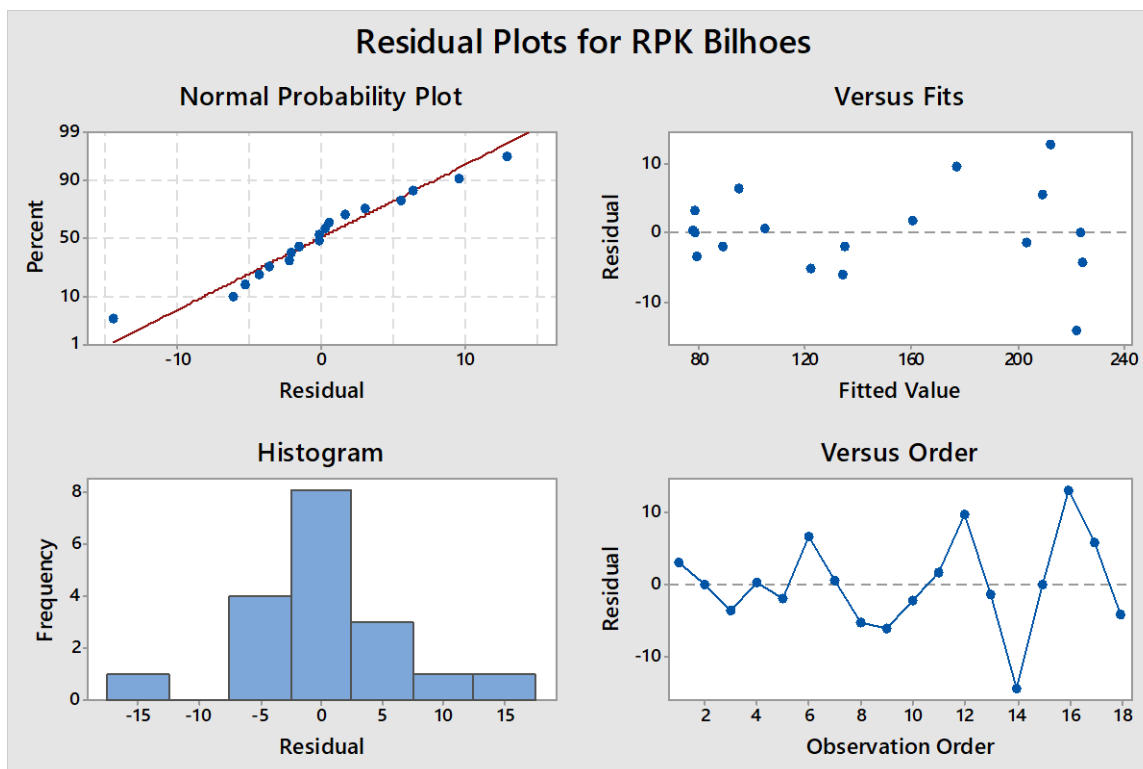
## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	641	116	5,54	0,000
PIB em Bilhoes	-0,844	0,171	-4,92	0,000
Desemprego	-1627	1178	-1,38	0,192
PIB em Bilhoes*PIB em Bilhoes	0,000307	0,000055	5,56	0,000
Desemprego*Desemprego	-2313	5679	-0,41	0,691
PIB em Bilhoes*Desemprego	1,602	0,337	4,76	0,000

## Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{RPK Bilhoes} = & 641 - 0,844 \text{ PIB em Bilhoes} - 1627 \text{ Desemprego} \\ & + 0,000307 \text{ PIB em Bilhoes*PIB em Bilhoes} - 2313 \text{ Desemprego*Desemprego} \\ & + 1,602 \text{ PIB em Bilhoes*Desemprego} \end{aligned}$$

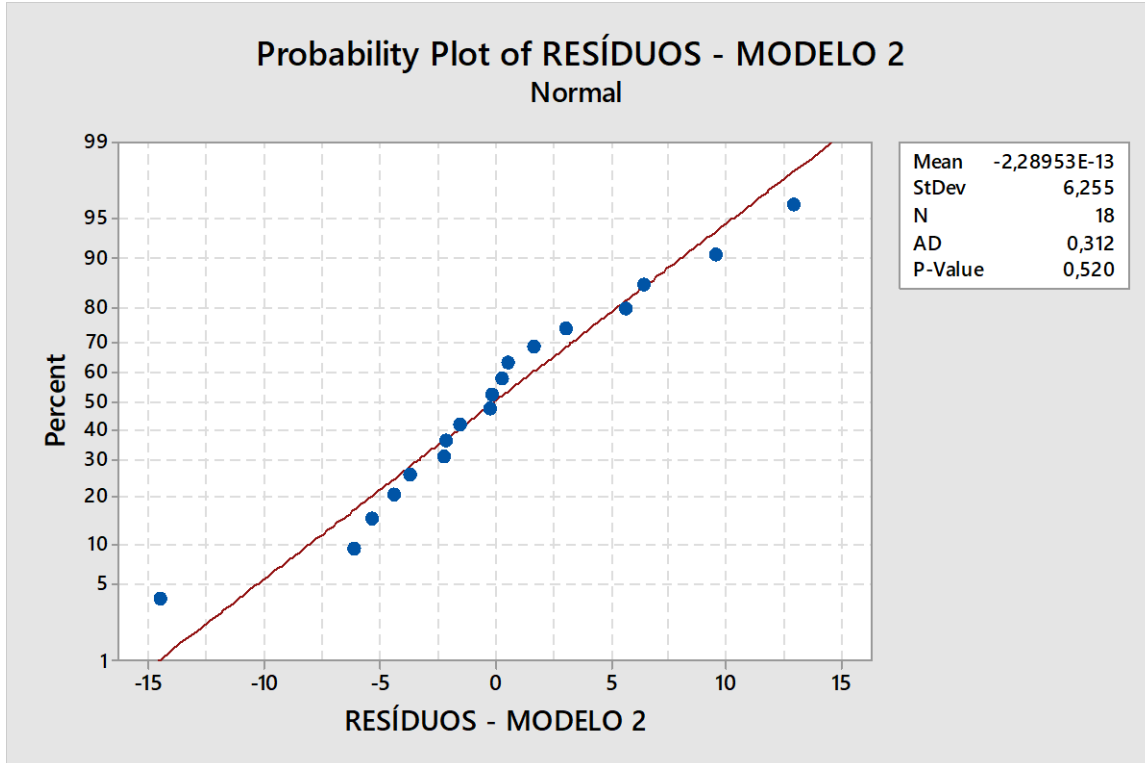
**Figura 6 - Gráficos dos Resíduos modelo 2**



Os resultados demonstram que a variável desemprego, seja ela de primeiro ou segundo grau, não são estatisticamente diferentes de 0 para um nível de confiança de 5%. O p valor da variável de primeiro grau é de 19,2%, e a de segundo, 69,1%. Isso demonstra que a variável desemprego, estatisticamente, não acrescenta informações relevantes ao modelo, e ao ajustá-lo, essas variáveis poderiam ser removidas. O  $\bar{R}^2$  (ajustado), demonstra que esse modelo é capaz de explicar 98,40% da demanda de assentos de passageiros em aeronaves que possuem origem ou destino no Brasil. Esse é um valor explicativo bastante expressivo.

Ao observar os gráficos dos resíduos e dos resíduos ajustados é possível inferir um modelo mais bem ajustado à normal. O mesmo pode ser visto ao analisar o histograma dos resíduos. Para certificar essas conclusões, foi realizado o teste de Anderson-Darling para atestar normalidade, não rejeitando a normalidade para um nível de significância de 95%, uma vez que o p valor é de 52%, superior ao índice de confiança, conforme pode ser observado no gráfico abaixo.

**Figura 7 - Gráfico de dispersão dos resíduos em relação a curva normal, modelo 2**



Apesar de a variável desemprego nesse modelo ter sido não significativa estatisticamente, economicamente ela é de crucial importância. Devido a dinâmica do setor aéreo e a influência do mesmo nas atividades comerciais e de turismo, é pouco provável que o modelo esteja bem ajustado a realidade em questão, dado que o Desemprego expressa, teoricamente, um fator relevante para a demanda de assentos de aeronaves. Com isso em mente, foi proposto um novo modelo a partir do ajuste do modelo 2, removendo a variável *Desemprego*<sup>2</sup> e mantendo a variável de interação e de primeiro grau.

### MODELO 3 – MODELO 2 AJUSTADO

$$RPK = \beta_0 + \beta_1 PIB + \beta_2 Desemprego + \beta_3 PIB^2 + \beta_4 PIB * Desemprego + \varepsilon \quad (7)$$

## Saídas de Software: MODELO 3

**Regression Analysis: RPK Bilhoes versus PIB em Bilhoes; Desemprego**

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	58119,0	14529,8	280,10	0,000
PIB em Bilhoes	1	1665,9	1665,9	32,11	0,000
Desemprego	1	833,6	833,6	16,07	0,001
PIB em Bilhoes*PIB em Bilhoes	1	2143,9	2143,9	41,33	0,000
PIB em Bilhoes*Desemprego	1	1247,9	1247,9	24,06	0,000
Error	13	674,4	51,9		
Total	17	58793,4			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
7,20232	98,85%	98,50%	97,90%

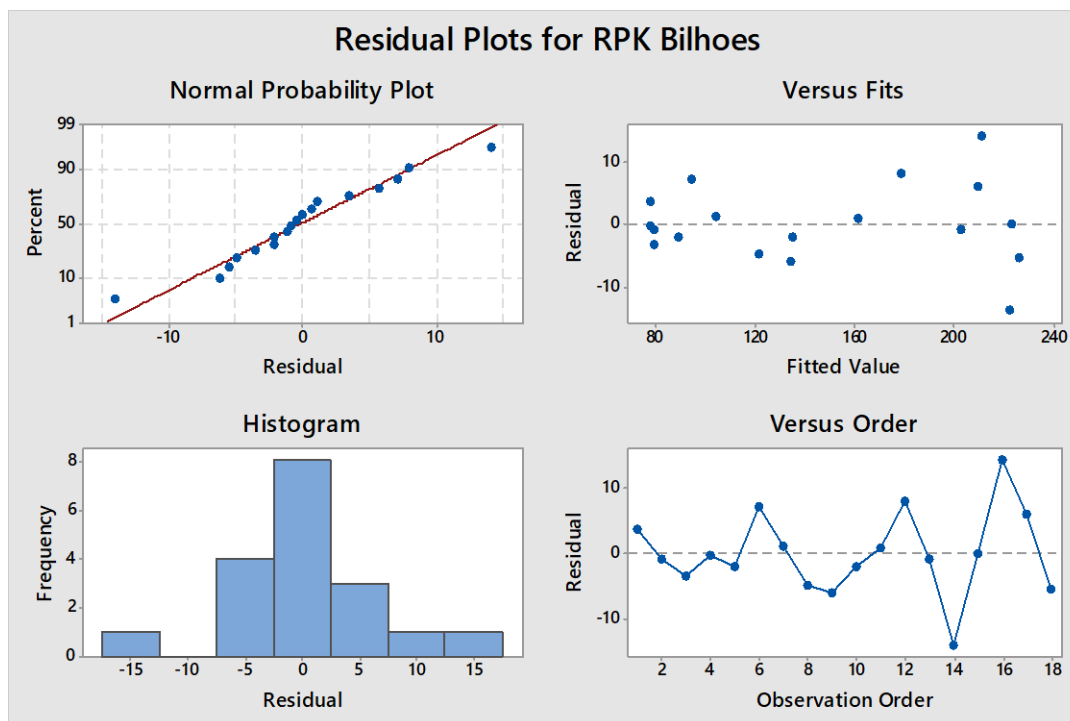
## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	633	110	5,73	0,000	
PIB em Bilhoes	-0,809	0,143	-5,67	0,000	407,97
Desemprego	-2055	513	-4,01	0,001	40,89
PIB em Bilhoes*PIB em Bilhoes	0,000295	0,000046	6,43	0,000	403,72
PIB em Bilhoes*Desemprego	1,596	0,325	4,90	0,000	48,07

## Regression Equation

$$\text{RPK Bilhoes} = 633 - 0,809 \text{ PIB em Bilhoes} - 2055 \text{ Desemprego} \\ + 0,000295 \text{ PIB em Bilhoes*PIB em Bilhoes} + 1,596 \text{ PIB em Bilhoes*Desemprego}$$

**Figura 8 - Gráficos dos Resíduos modelo 3**

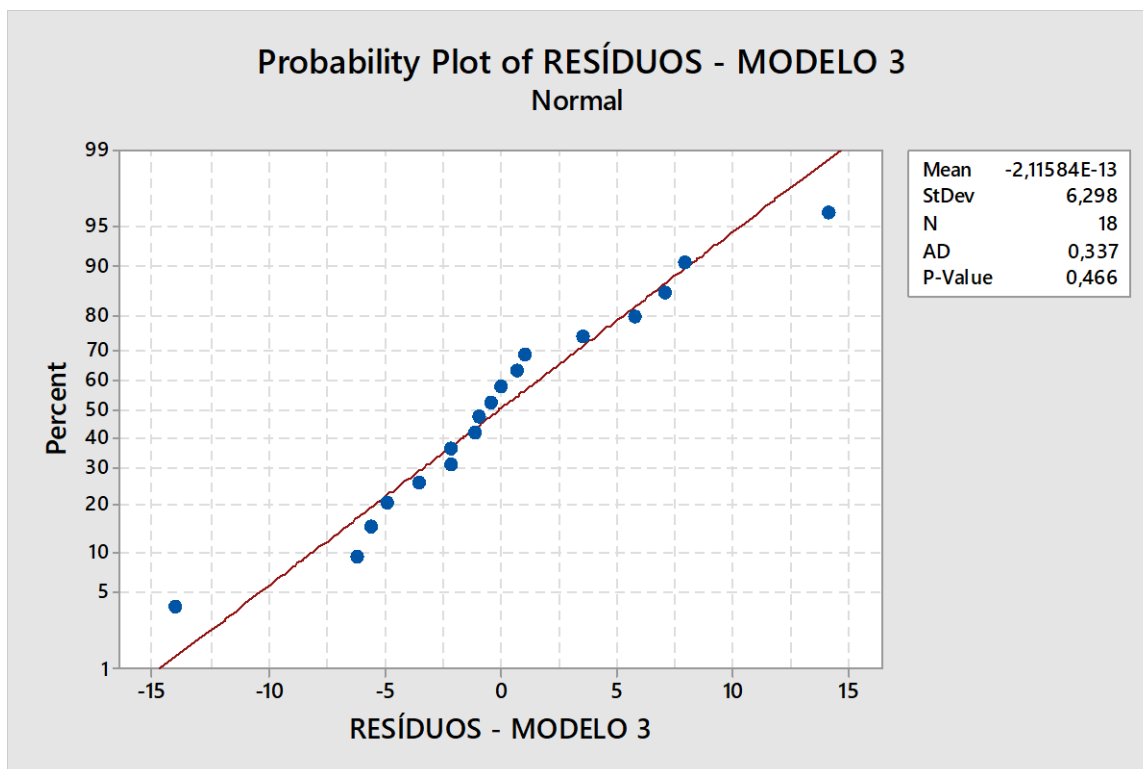


Ao realizar o ajuste no modelo 2, removendo a variável e mantendo a variável de interação e de primeiro grau, observamos que todas as variáveis se tornaram estatisticamente significativas a 5%. Ou seja, o modelo que melhor representa a variação da demanda por assentos (RPK), considera a variável relevante, conforme pressuposto econômico para este estudo de caso.

Os resíduos apresentam valores bastante semelhantes ao modelo 2 e o teste de normalidade de Anderson-Darling não apresenta melhora significativa em relação ao modelo anterior, conforme pode-se ver no Gráfico 6 pelo p-valor de 46,6%. Devemos tomar cuidado ao interpretar os coeficientes do modelo, pois o PIB real tem um coeficiente negativo, o que significaria que um aumento do PIB impactaria negativamente a demanda por assentos, o que não faz sentido. WOOLDRIDGE (2011) afirma ainda que o mesmo cuidado é necessário ao analisar os coeficientes dos termos de interação uma vez que as variáveis de interação não possuem correlação com as variáveis de seus componentes.



**Figura 9 - Gráfico de dispersão dos resíduos em relação a curva normal, modelo 3**



Apesar das pequenas melhoras estatísticas (ajustado), o modelo 3 representa melhor a realidade das interações das variáveis, demonstrando que o resultado numérico não deve ser levado exclusivamente em consideração ao tratar de variáveis econômicas que, através da intuição econômica e de modelos já consolidados, se fazem mais que importantes. Isso evita conclusões equivocadas de modelos ajustado numericamente.

Dessa forma, o modelo final ajustado é:

$$RPK = \beta_0 + \beta_1 PIB + \beta_2 Desemprego + \beta_3 PIB^2 + \beta_4 PIB * Desemprego + \varepsilon \quad (7)$$

Aplicando os valores encontrados dos coeficientes temos,

$$RPK = 633 - 0,809 PIB - 2055 Desemprego + 0,000295 PIB^2 + 1,595 PIB * Desemprego$$

## 5 – PREVISÃO DA DEMANDA 2018-2019

Uma vez que temos a equação que representa as variações da demanda de assentos em aeronaves bem como o impacto de cada variável sobre a demanda, para determinarmos a previsão da demanda, é necessário determinar os valores das variáveis explicativas para os períodos futuros.

Utilizando a projeções de PIB apresentadas pelo Fundo Monetário Internacional (FMI)<sup>7</sup> e de desemprego apresentados pelo Banco BRADESCO<sup>8</sup>, realizamos a projeção da demanda para o período de 2018 e 2019.

**Tabela 2- Projeção PIB real absoluto e taxa de desemprego**

Ano \ Variável	PIB Real Relativo	PIB real Absoluto (bilhões)	Desemprego
2017	1,00%	1.775,72	12,70%
2018	2,30%	1.816,56	12,50%
2019	2,50%	1.861,97	12,25%

Dessa forma, a demanda por assentos em aeronaves nos anos de 2018 e 2019 serão:

$$RPK_{2018} = 633 - 0,809 * (1816,56) - 2055 * (0,125) + 0,000295 * (1816,56)^2 + 1,595 * (1816,56) * (0,125)$$

$$RPK_{2019} = 633 - 0,809 * (1861,97) - 2055 * (0,1225) + 0,000295 * (1861,97)^2 + 1,595 * (1861,97) * (0,1225)$$

$$RPK_{2018} = 243,16 \text{ Bilhões}$$

$$RPK_{2019} = 262,49 \text{ Bilhões}$$

Ao realizar a análise no ambiente computacional, obtêm-se os seguintes resultados:

<sup>7</sup> [https://www.imf.org/external/datamapper/NGDP\\_RPCH@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD/BRA](https://www.imf.org/external/datamapper/NGDP_RPCH@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD/BRA)

<sup>8</sup> <https://www.economiaemdia.com.br/vgn-ext-templating/v/index.jsp?vgnextoid=8f99cd1b9aece510VgnVCM1000001816de0aRCRD&vgnnextchannel=8f99cd1b9aece510VgnVCM1000001816de0aRCRD>

Relatório Projeções Bradesco de Longo Prazo acessado em 10/10/2018

### Prediction for RPK Bilhoes

#### Regression Equation

RPK Bilhoes = 633 - 0,809 PIB em Bilhoes - 2055 Desemprego + 0,000295 PIB em Bilhoes\*PIB em Bilhoes + 1,596 PIB em Bilhoes\*Desemprego

Variable	Setting
PIB em Bilhoes	1816,56
Desemprego	0,125

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
243,160	5,98612	(230,228; 256,092)	(222,928; 263,392)

Variable	Setting
PIB em Bilhoes	1861,97
Desemprego	0,1225

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
262,498	6,68250	(248,061; 276,934)	(241,272; 283,723) X

X denotes an unusual point relative to predictor levels used to fit the model.

Os valores de RPK para 2018 e 2019, foram determinados, mas podem oscilar com índice de 95% de confiança. Logo, os valores podem estar entre os limites superiores e inferiores descritos abaixo:

**Tabela 3– Intervalo de confiança para RPK**

RPK			
ANO	LIMITE INFERIOR	DETERMINADO	LIMITE SUPERIOR
2018	230,23	243,16	256,09
2019	248,06	262,49	276,99

## 6 – CONCLUSÃO

A proposta desse trabalho era compreender quais eram as variáveis que impactam diretamente a demanda de assentos de passageiros de transporte aéreo (RPK) e de que forma elas impactam. O resultado possui grande valia para empresas do setor aéreo assim como para órgãos reguladores, uma vez que permite a previsão dessa demanda, é possível se preparar adequadamente para atender esses clientes tanto do ponto de vista da quantidade de aeronaves quanto da infraestrutura aeroportuária necessária.

Ao desenvolver os modelos descritos foi observado a necessidade de considerar a interação entre as variáveis Desemprego e PIB, assim como o termo quadrático da última. Importante lembrar que o PIB utilizado nesse trabalho é o PIB real, ou seja, é o PIB descontado a inflação dos períodos através dos deflatores utilizados pelo FMI. Os dados divulgados pelo IBGE publicamente, são dados relativos ao ano anterior, expressos em valores percentuais, não considerando a inflação do período. Constata-se uma relação inversa entre PIB e a demanda RPK, que não segue a intuição econômica, dado que o esperado era que a relação fosse direta, ou seja, um aumento do PIB aumentaria a demanda por assentos.

A relação inversa observada leva em consideração o baixo volume de dados devido ao recorte analisado, anos 2000 a 2017, em que houve diversas mudanças na estrutura econômica brasileira, com maior participação de empresas estrangeiras atuando no Brasil, o que gera maior demanda de voos comerciais, assim como das atividades turísticas por meio do desenvolvimento do turismo regional (e assim o da aviação) e eventos internacionais realizados no Brasil, como a Copa do Mundo FIFA de Futebol (2014) e os Jogos Olímpicos do Rio de Janeiro (2016). Esses dois últimos eventos em particular, ocorrem em um momento de estagnação da demanda de voos e uma acentuada queda no PIB nacional. O gráfico 1 demonstra que de 2003 a 2014 houve um crescimento bastante significativo da demanda de assentos em voos comerciais, independente das oscilações do PIB nesse período.

Estudos posteriores podem ser realizados considerando uma base de dados maior para melhor determinação dos valores de demanda encontrados, e ainda a utilização de outros modelos que possam incorporar ou considerar as interações econômicas entre as variáveis, visto que isso foi um fator determinante para aceitação do modelo 3. Outro estudo possível é desagregar o PIB em novos drivers que interagem majoritariamente com o setor de aviação.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, Marcos José Barbieri; LAPLANE, Gabriela. **O transporte aéreo no Brasil: Panorama geral, avaliação da competitividade e propostas de políticas públicas para o setor.** Campinas, Unicamp, 2006. 83p. Projeto de Pesquisa CGEE/NEIT-IEUNICAMP, Gestão, Unicamp, Campinas, 2006.

ABREU, F. E. L. V. **Análise sistêmica do setor aéreo brasileiro: propostas para o planejamento do setor.** 2008. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Publicação T. DM-005A/2008, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF 156p.

OLIVEIRA, Alessandro V. M. & SILVA, Lucia H.S; **Constituição do Marco Regulatório para o mercado brasileiro de aviação regional.** São José dos Campos, 2008. Pp. 204. Estudo técnico (NECTAR – Núcleo de Economia dos Transportes, Antitruste e Regulação) – ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2008.

MONTGOMERY, Douglas C., RUNGER, George C.; **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros,** Rio de Janeiro, 6.<sup>a</sup> Edição, Editora LTC, 2016.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M.; **Introdução à Econometria: uma abordagem moderna,** São Paulo, 4.<sup>a</sup> Edição, Editora CENGAGE Learning, 2011.

## 8 – ANEXO

TABELA DE DADOS

Ano	RPK Bilhões	PIB em Bilhões	Desemprego	RESÍDUOS	RESÍDUOS	RESÍDUOS
				- MODELO 1	- MODELO 2	- MODELO 3
2000	81,11	1199,09	7,10%	24,431	3,037	3,558
2001	78,01	1215,67	6,20%	19,424	-0,102	-0,867
2002	75,55	1252,8	7,10%	6,463	-3,648	-3,512
2003	77,57	1267,08	12,40%	-6,141	0,304	-0,397
2004	86,67	1340,12	11,50%	-11,990	-2,098	-2,128
2005	101,16	1382,96	9,90%	-3,978	6,417	7,142
2006	105,52	1437,68	10,10%	-12,686	0,562	1,088
2007	116,31	1524,81	9,30%	-20,314	-5,358	-4,849
2008	128,39	1602,44	7,90%	-23,176	-6,112	-6,128
2009	132,88	1600,42	8,10%	-18,646	-2,224	-2,104
2010	162,37	1721,13	6,70%	-14,050	1,665	0,760
2011	186,92	1789,72	6,00%	-3,849	9,582	7,987
2012	202,09	1824,31	7,40%	0,339	-1,491	-1,047
2013	208,4	1879,23	7,10%	-5,397	-14,519	-14,000
2014	223,54	1888,78	6,80%	8,178	-0,198	0,037
2015	225,67	1821,73	8,50%	22,164	12,933	14,162
2016	215,61	1758,55	11,50%	20,289	5,621	5,812
2017	220,79	1775,72	12,70%	18,938	-4,369	-5,515