



A INFLUÊNCIA DE FATORES MACROECONÔMICOS SOBRE A DEMANDA POR  
TRANSPORTE AÉREO

Marcial Alexandre Marazzo da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção, COPPE, da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
como parte dos requisitos necessários à  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia de Produção.

Orientador: Elton Fernandes.

Rio de Janeiro  
Novembro de 2008

A INFLUÊNCIA DE FATORES MACROECONÔMICOS SOBRE A DEMANDA POR  
TRANSPORTE AÉREO

Marcial Alexandre Marazzo da Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada por:

---

Prof. Elton Fernandes, Ph.D.

---

Carlos Alberto Nunes Cosenza, D.Sc., Liv.Doc.

---

Dr<sup>a</sup>. Eliana Consoni Rossi, D.Sc

---

Prof. Anderson Ribeiro Correia, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

NOVEMBRO DE 2008

Marazzo, Marcial Alexandre da Silva.

A Influência de Fatores Macroeconômicos sobre a Demanda por Transporte Aéreo/ Marcial Alexandre Marazzo da Silva. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2008.

XII, 84 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Elton Fernandes

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2008.

Referências Bibliográficas: p. 77 – 81.

1. Demanda por Transporte Aéreo. 2. Vetores Autoregressivos  
3. Crescimento Econômico. I. Fernandes, Elton. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

A lista é longa. Assim como foi longa a caminhada até aqui. Nesses mais de 15 anos de banco escolar, muitas foram as pessoas que contribuíram para que meus pés seguissem firmes em frente e por isso deixo registrado aqui minha gratidão àqueles que, por força das suas ações, se mantêm sempre vivos em minha memória:

Agradeço aos meus pais, por terem se ocupado verdadeiramente com minha educação, apesar de todas as (muitas) dificuldades;

À minha esposa Simone, pela compreensão e amor;

Aos mestres que me despertaram o interesse pela ciência e pela pesquisa, seja pelo carinho, pelo rigor ou pelo entusiasmo no ensino: Maria de Fátima; José Carlos (C.E. Nelson Rodrigues); Ana Patrícia; Norma; Sandra M. (C.E. Brigadeiro Schortch); José Francisco; Regina Serrão e Mariane (UERJ).

Ao grande econometricista e amigo Rafael Scherre, cujas longas conversas e intermináveis e-mails, ainda vou transformar num livro. *Ouzo!*

Agradeço especialmente ao Professor Elton Fernandes, que me recebeu como orientando em meio a uma turbulência e ofereceu inestimável apoio para a conclusão desta pesquisa;

Aos meus superiores pelo apoio e aos meus colegas de trabalho, que por muitas vezes se ocuparam com meus afazeres enquanto eu me mantive absorvido em busca de resultados desta pesquisa.

Ao Cel. Eng. Robson Fernandes, por acreditar em mim e me incentivar desde quando ainda fazia parte do programa de estágio;

A Deus, por me dar um espírito cheio de sonhos e certezas.

## DEDICATÓRIA

Dedico esta obra à minha querida filha Gabriela.

## EPÍGRAFE

*"Será um dia ruim para o homem quando ele se tornar absolutamente satisfeito com a vida que está levando, quando não estiver mais eternamente batendo nas portas de sua alma um enorme desejo de fazer algo maior."*

*Phillips Brooks*

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

## A INFLUENCIA DE FATORES MACROECONÔMICOS SOBRE A DEMANDA POR TRANSPORTE AÉREO DE PASSAGEIROS

Marcial Alexandre Marazzo da Silva

Novembro/2008

Orientador: Elton Fernandes

Programa: Engenharia de Produção

Conhecer a demanda por transporte aéreo e serviços de infra-estrutura é o primeiro passo para um planejamento eficiente do sistema de aviação civil, uma vez que expectativas equivocadas sobre esta demanda podem levar a um baixo nível de serviço ou a um custo desnecessário para manutenção de um excesso de capacidade. Este trabalho relata esforços para desenvolver uma abordagem econométrica apropriada para avaliar a relação existente entre algumas das variáveis que possam influenciar em uma maior ou menor utilização desse sistema.

A metodologia utilizada faz uso de análise de correlação, testes de raiz unitária, análise de cointegração, modelagem VAR, testes de causalidade de Granger e também dos métodos de Impulso-Resposta e Decomposição da Variância. Além das variáveis endógenas, oriundas das séries de demanda por transporte aéreo no Brasil, foi utilizado também um vetor de variáveis exógenas que inclui o PIB brasileiro, a receita unitária dos vôos (Yield), as taxas de cambio nacional e o preço do petróleo internacional. A versão final desta abordagem é um modelo do tipo Vetor de Correção de Erro (VEC), que considera as relações de cointegração entre as variáveis do sistema. Os resultados obtidos apresentam robustez e podem ser utilizados como ferramenta de planejamento e apoio para o desenvolvimento de políticas para o setor de aviação civil.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

## THE INFLUENCE OF MACROECONOMIC FACTORS ON DEMAND FOR AIR TRANSPORT

Marcial Alexandre Marazzo da Silva

November /2008

Advisor: Elton Fernandes

Department: Industrial Engineer

Understanding air transport demand behavior is the first step for an efficient planning in the civil aviation system. Great forecasting mistakes can lead to undesirable costs and low service level. This paper aims to contribute providing an appropriate econometric approach to assess the relationship between some variables which can lead to more or less useless of this system.

The methodology makes use of correlation analysis, the unit root tests, analysis of cointegration, VAR modeling, tests of Granger causality and also the methods of impulse-response and decomposition of the variance. In addition to the endogenous variables, derived from the series of demand for air transport in Brazil, we also used an array of exogenous variables that includes Brazilian GDP, unit revenue of flights (Yield), exchange rates and price of oil in U.S. market. The final version of this approach is a model of Vector Correction of Error (VEC), which considers the cointegration relationship between variables of the system. The results show robustness and can be used as a tool for planning and support for the development of policies for the sector of civil aviation.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
1.1. OBJETIVOS.....	5
1.1.1. Objetivos Gerais.....	5
1.1.2. Objetivos Especificos.....	5
1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	5
1.3. LIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	6
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	6
<b>2. TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL: UM BREVE DIAGNÓSTICO.....</b>	<b>9</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE AÉREO.....	9
2.2. PERFIL DO CONSUMIDOR.....	11
2.3. CUSTOS OPERACIONAIS DAS COMPANHIAS AÉREAS.....	13
2.4. CONCENTRAÇÃO DA DEMANDA.....	16
2.5. AMBIENTE REGULATÓRIO.....	17
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
3.1. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE TRANSPORTE AÉREO.....	22
3.2. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE VETORES AUTOREGRESSIVOS.....	22
3.3. PROCEDIMENTOS.....	24
3.3.1. Teste de Estacionariedade de Dickey-Fuller.....	24
3.3.2. Escolha do Número de Defasagens.....	29
3.3.3. Cointegração.....	31
3.3.4. O Vetor Autoregressivo.....	34
3.3.5. Matriz de Correlação.....	37
3.3.6. Teste de Causalidade de Granger.....	38
3.3.7. Bases para a Modelagem .....	39
<b>4. ESTUDO DE CASO: O MERCADO BRASILEIRO .....</b>	<b>45</b>
4.1. PASSAGEIRO-QUILÔMETRO TRANSPORTADO (RPK).....	46

4.2. PRODUTO INTERNO BRUTO (PIB).....	48
4.3. RECEITA UNITÁRIA DOS VÔOS (YIELD).....	50
4.4. PREÇO DO PETRÓLEO (PETROLEO).....	56
4.5. TAXA DE CAMBIO (CAMBIO).....	52
4.6. TAXA META SELIC (JUROS).....	55
4.7. CONSUMO DE DENERGIA ELÉTRICA .....	56
4.8. VOLUME DAS EXPORTAÇÕES – R\$ .....	58
<b>5. RESULTADOS DA ANÁLISE ECONOMETRICA.....</b>	<b>60</b>
5.1. MATRIZ DE CORRELAÇÃO.....	60
5.2. TESTE DE CAUSALIDADE DE GRANGER.....	61
5.3. TESTE DE ESTACIONARIEDADE DE DICKEY-FULLER.....	63
5.4. COINTEGRAÇÃO.....	64
5.5. ECM, ANÁLISE DE RESPOSTA AO IMPULSO E DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA.....	66
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>83</b>

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Motivo de Escolha de Companhia Aérea.....	12
2.2	Escolha de Companhia Aérea por Etapa de Vôo.....	13
2.3	Área Terminal de São Paulo.....	17
3.1	Curvas de Demanda com Base em Diferentes Níveis de Serviço.....	41
3.2	Inter-relacionamento Esperado das Variáveis Associadas à Demanda.....	43
4.1	Evolução do RPK.....	47
4.2	Evolução do PIB Brasileiro.....	49
4.3	Evolução do Yield Doméstico.....	51
4.4	Evolução do Preço do Petróleo.....	53
4.5	Evolução da Taxa de Cambio Real/Dólar.....	54
4.6	Evolução da Taxa de Juros.....	56
4.7	Evolução do Consumo de Energia Elétrica.....	57
4.8	Evolução do Volume de Exportações (R\$).....	58
5.1	Função de Resposta ao Impulso do Modelo VEC.....	59
5.2	Análise da Decomposição da Variância do Modelo VEC.....	71

## LISTA DE QUADROS

2.1	Participação Relativa (%) dos Custos Operacionais das Empresas no Mercado Doméstico.....	14
5.1	Matriz de Correlação entre as Variáveis em Primeira Diferença.....	61
5.2	Teste de Causalidade de Granger.....	61
5.3	Teste de Estacionariedade de Dickey-Fuller Aumentado.....	63
5.4	Resultados do Teste de Cointegração.....	65
5.5	Qualidade do Modelo VEC Ajustado.....	67

*"An approximate answer to the right problem is worth a good deal more than an exact answer to an approximate problem."*

*J. W. Tukey*

## **1. INTRODUÇÃO**

## 1. INTRODUÇÃO

A relação existente entre o crescimento econômico e o aumento da demanda por transporte aéreo vem sendo discutida nos meios acadêmico, empresarial e por autoridades governamentais para justificar o forte crescimento do setor de aviação que o Brasil vem experimentando nos últimos anos. Em 2006, o número de passageiros embarcados no país ultrapassou 40 milhões, 397% superior ao número registrado há 10 anos atrás (ANAC, 2008). A estabilidade econômica e monetária alcançadas pelo País a partir de meados da década de 90, aliada à flexibilização da política regulatória, dominante a partir de 2001, vêm sendo apontadas como as principais razões para o crescimento desse mercado. Sob tais condições, estabeleceu-se um novo modelo de competição no setor, baseado na diferenciação em custos e preços, que agregou novos usuários ao transporte de passageiros e intensificou a concorrência nas ligações aéreas.

Um estudo preliminar desenvolvido pela Agência Nacional de Aviação Civil (2007), entretanto, aponta para um descompasso entre o crescimento da demanda e os investimentos realizados em infra-estrutura aeroportuária. De acordo com o relatório, a capacidade de atender passageiros nos principais aeroportos brasileiros será, no curto-prazo, superada pela demanda, que cresceu a uma taxa média de 17% a.a. ente 2005 e 2007. O caso mais preocupante, segundo o relatório, é o do Aeroporto de Congonhas, que operou em 2007 com um volume de 17 milhões de pessoas/ano, frente a uma capacidade instalada de 12 milhões de pessoas/ano.

Neste relatório, que dará subsídios para a elaboração de um Plano Aeroviário Nacional em 2008, a ANAC aponta a falta das estruturas de planejamento de longo prazo que viabilizem os investimentos no setor de transporte aéreo e sua infra-estrutura.

No entendimento deste autor, a previsão da demanda é o primeiro passo para um planejamento eficiente do Sistema de Aviação Civil, por servir de base para todas as ações orientadas ao desenvolvimento da infraestrutura e da logística necessária para atender a essa demanda. Caso sejam utilizadas previsões subestimadas, as ações orientadas para o desenvolvimento da infra-estrutura levarão a um congestionamento do sistema e a um aumento dos custos operacionais, além de ineficiência e do baixo nível de serviço percebido pelos usuários (passageiros, empresas aéreas, ...). Por outro lado, se

as avaliações forem superestimadas, haverá um excesso de capacidade, o que levará a um custo desnecessário de manutenção da capacidade ociosa. Esta situação também não é saudável, tendo em vista a limitação de recursos para investimento.

Embora exista incerteza a respeito da acurácia dos modelos de previsão, as decisões gerenciais e principalmente de investimentos, envolvem previsão de algum tipo. ZOGRAFOS e MADAS (2003) discutiram o gerenciamento da oferta e demanda por serviços nos aeroportos, com foco na margem cada vez menor existente entre o movimento de aeronaves e a capacidade aeroportuária. Eles observaram que, com o crescimento constante da aviação, o gerenciamento da demanda vem recebendo destaque entre as preocupações das autoridades aeronáuticas e dos empresários do setor aéreo.

OLIVEIRA (2005) aponta para a importância da relação entre renda e demanda das empresas aéreas ao analisar a performance dessas companhias no mercado doméstico. O autor propõe que o comportamento cíclico observado na rentabilidade das empresas é originado em uma combinação de fatores econômicos, dentre os quais o PIB (renda), custos de produção, preço das passagens e efeitos de medidas regulatórias.

Desta forma, a metodologia empregada para previsão da demanda por transporte usualmente envolve um conjunto de hipótese acerca das relações existentes entre a demanda por transporte aéreo, o Produto Interno Bruto brasileiro e a receita unitária média em vôos domésticos – Yield, conforme exemplifica a equação 1, extraída da publicação Demanda Global (ANAC, 2001).

$$LN(DEMANDA / 10^3) = -10,133 + 1,453 \cdot LN(PIB / 10^3) - 0,245 \cdot LN(YIELD \cdot 10^6) - 0,283 \times DUMMY$$

(1)

Embora este tipo de abordagem seja largamente empregada para previsão, a utilização dos modelos de regressão envolvendo séries temporais não estacionárias, como por exemplo, as séries da demanda por transporte aéreo e do PIB Brasileiro, pode conduzir ao problema que se convencionou chamar de regressão espúria, isto é, quando temos um alto coeficiente de determinação -  $R^2$  - sem uma relação significativa entre as variáveis (HARRIS, 1995). Isto ocorre devido à presença de uma tendência, decrescente

ou crescente, em ambas as séries levar a um alto valor do  $R^2$ , mas não necessariamente, a presença de uma relação verdadeira entre as variáveis.

De forma geral, se a tendência observada nas séries for determinística, ou seja, invariante ao longo do tempo, as variáveis podem ser transformadas com a inclusão de um termo de tendência na regressão. Entretanto, a maioria das séries econômicas apresentam flutuações que são resultado de choques não apenas nos componentes cíclicos e transitórios, mas também nos seus componentes de longo prazo.

Por isso, a análise econométrica de séries temporais baseia-se cada vez mais nos conceitos de cointegração e causalidade. A idéia de cointegração, refere-se à existência de uma relação de interdependência e de equilíbrio (no longo prazo) entre duas ou mais variáveis, geralmente relacionadas ao desempenho econômico, que as leve a evoluírem de forma coordenada. De forma complementar, a idéia base da Causalidade de Granger, inicialmente introduzido por Granger e posteriormente popularizado por Sims (1980), é a de que uma determinada variável  $X_t$  causa  $Y_t$  se a informação passada da variável  $X_t$  permite melhorar as previsões da variável  $Y_t$ , isto é, se  $Y_t$  for melhor previsto com base nos valores passados de  $X_t$  e  $Y_t$  juntos do que apenas com os valores passados de  $Y_t$ . A caracterização da existência e do sentido da causalidade entre as variáveis, passa então a ser considerada fundamental para a obtenção de estimativas consistentes dos valores futuros da variável de interesse.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivos Gerais**

O presente trabalho objetivou testar empiricamente as propriedades de cointegração e causalidade existentes entre a demanda por transporte aéreo, preços da economia e a demanda por outros produtos associados à utilização dos serviços de aviação, utilizando uma abordagem econométrica apropriada ao comportamento não-estacionário observado na maioria destas variáveis.

Uma vez identificadas estas propriedades, espera-se desenvolver um sistema que explique o comportamento destas variáveis com base em uma estrutura equacional conhecida como Vetores Autoregressivos (VAR), onde os valores atuais de cada variável são descritos como uma função dos valores atuais e defasados de todas as variáveis que compõe o sistema. A condição de não-estacionariedade – um importante e restritivo óbice aos modelos de regressão tradicionais – será incorporada nesta nova modelagem através de um Mecanismo de Correção de Erros (ECM).

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Espera-se verificar a importância preditiva das variáveis que são tradicionalmente empregadas para fins de previsão do sistema de transporte aéreo, avaliando a existência de precedência temporal (Causalidade de Granger) entre estas séries históricas, além de determinar a intensidade e a duração com que choques aleatórios nessas variáveis repercutem em uma maior ou menor utilização do transporte aéreo.

## **1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA**

Até onde foi possível pesquisar na literatura relevante, a proposta da pesquisa é inovadora quanto à modelagem econométrica que trata a inter-relação entre séries

temporais não estacionárias para explicar a demanda por transporte aéreo pelo método de Vetores Auto-regressivos e Mecanismo de Correção de Erro.

A realização deste estudo irá contribuir para a análise dos impactos macroeconômicos sobre a utilização do transporte aéreo no Brasil, e seus resultados se constituem em uma ferramenta robusta de planejamento para o setor de transporte aéreo, por produzir resultados que podem servir de base para as ações orientadas ao desenvolvimento da infraestrutura e da logística necessária para atender a essa demanda.

### **1.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO**

O presente trabalho se expõe aos riscos naturais de propôr uma metodologia para o ato de prever ou antever, com base em suposições, algo que ainda não aconteceu. Assim, tais conjecturas estão por si só, sujeitas a erros, uma vez que o modelo a ser estimado não captura toda e qualquer variável capaz de influenciar o uso do sistema e tampouco os fenômenos reais que influenciam o transporte aéreo, como por exemplo catástrofes ou mudanças no ambiente regulatório<sup>1</sup>. Apesar disso, espera-se que o modelo seja uma boa aproximação da realidade e que seja útil para que inferências sejam realizadas.

Ainda assim, uma das limitações concretas que se impuseram à realização desta pesquisa foi a restrição de informação. Embora exista fartura de dados disponíveis para pesquisa econômica, sua qualidade e periodicidade muitas vezes deixa a desejar, não apenas devido a erros de medição mas também a confidencialidade de algumas informações. Tais restrições reduzem sobremaneira o tamanho da amostra a ser analisada, o que poderia fragilizar os resultados obtidos nesta pesquisa caso se optasse por analisar um número elevado de parâmetros para a modelagem.

---

<sup>1</sup> A conhecida *Crítica de Lucas*, publicada pelo Nobel Robert E. Lucas como contraponto ao uso de modelagem econômica, demonstra que a estimação dos parâmetros por meio de modelos econométricos depende da política econômica vigente à época em que o modelo é estimado e mudarão se essa política for alterada.

#### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Além da presente introdução, este trabalho conta ainda com mais cinco capítulos. No segundo, é apresentado um panorama geral do transporte aéreo no Brasil, buscando situar o leitor sobre as características do mercado de aviação civil nacional. O capítulo seguinte trata do arcabouço teórico que compõe a metodologia de análise de séries temporais através dos vetores autoregressivos, destacando pesquisas anteriores desenvolvidas com esta técnica. O capítulo quatro e cinco apresentam, respectivamente, a aplicação da metodologia no estudo de caso do mercado doméstico brasileiro e uma discussão sobre os resultados obtidos. Finalmente, o sexto capítulo consolida as observações feitas ao longo do estudo com uma conclusão e propostas para o prosseguimento da pesquisa.

*"Precisamos analisar o todo, para depois compreendermos as partes..."*

*Aristóteles*

## **2. TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL: UM BREVE DIAGNÓSTICO**

## 2. TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL: UM BREVE DIAGNÓSTICO

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE AÉREO

O modal aéreo apresenta como maior vantagem competitiva em relação aos demais modais, sua velocidade no atendimento a média e grandes distâncias. Embora seu custo fixo não seja dos mais elevados, seu custo variável é extremamente oneroso, em função dos gastos com combustíveis, manutenção das aeronaves e mão-de-obra altamente especializada – o que inviabiliza o uso deste modal em atividades onde o fator tempo não seja primordial a ponto de justificar seu alto custo.

Dentre as principais características do transporte aéreo, pode-se destacar:

- Rapidez / Regularidade: As características de rapidez e regularidade atribuídas ao transporte aéreo, aliado ao crescimento da oferta de vôos, permitiram um aumento da eficiência na circulação de pessoas e mercadorias. Atualmente, muitas empresas se apóiam na confiabilidade e na regularidade do transporte aéreo para gerenciar sua logística de produção.
- Atendimento a localidades remotas e fator de integração: O transporte aéreo é reconhecidamente um setor estratégico, principalmente, em um país com dimensões continentais, como o Brasil, que apresenta, ainda, restrições quanto à acessibilidade. Assim, identifica-se o transporte aéreo como um importante elo de integração nacional.
- Modal não-independente e pouco flexível: O transporte aéreo é realizado de terminal para terminal, ou seja, entre aeroportos. No entanto, como o passageiro geralmente não tem como destino final o aeroporto, este faz uso de outros modais (rodoviário, metroviário, ferroviário) para chegar ao seu destino final.

Desta forma, considera-se que o usuário do transporte aéreo depende da infra-estrutura dos outros modais, o que requer um planejamento

estratégico do sistema de transportes de forma integrada, visando aproveitar o máximo da potencialidade oferecida por cada modal.

- Segurança: As estatísticas comprovam que o transporte aéreo é mais seguro que os demais. A base para essa afirmação é a de que as viagens aéreas apresentam um óbito por cada milhão de passageiros, enquanto os acidentes de trânsito apresentam 201 mortes por milhão de pessoas, conforme dados da Organização Mundial de Saúde (2007).
- Tecnologia e Investimentos Maciços: O setor de transporte aéreo exige investimentos maciços ou de alta tecnologia. No caso específico dos administradores aeroportuários, são necessários intensivos aportes de capital de modo a dotar a infra-estrutura dos aeroportos de um nível de serviço adequado para atender a demanda. Os fabricantes de aeronaves, por sua vez, são impelidos a realizar investimentos maciços em estudos e pesquisas para evoluir em um mercado que envolve alta tecnologia. Por fim, as empresas aéreas são impostas a efetuar investimentos consideráveis na aquisição ou *leasing* de aeronaves, de retorno lento e suscetíveis às variações cambiais, para atender aos anseios dos usuários.
- Mão-de-obra especializada: O transporte aéreo tem como peculiaridade não só o uso intensivo de capital, como também a alta especialidade de seus recursos humanos. Por se tratar de um setor de alta tecnologia, a mão-de-obra precisa ser especializada e bem treinada, além de haver a necessidade de ser bem remunerada.

O crescimento de dois dígitos no fluxo de passageiros transportados traz mais um desafio ao setor: fomentar a formação de profissionais especializados - pilotos, controladores, mecânicos, engenheiros, entre outros -, bem como a necessidade de atrair de outros setores, profissionais com diferentes áreas de competência.

- Perecibilidade do produto: A perecibilidade é a impossibilidade de estocagem, uma vez efetuado um voo, ou seja, todo o assento não

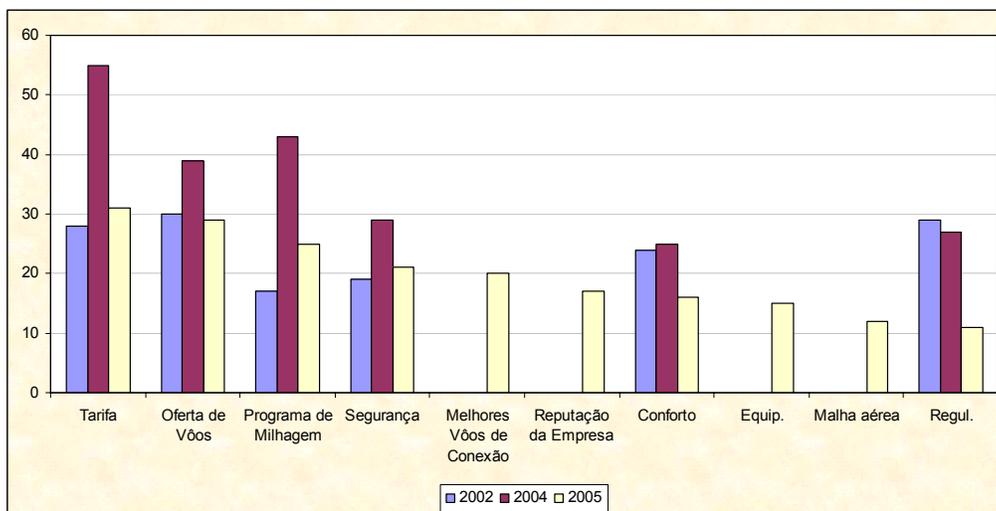
ocupado transforma-se em mercadoria deteriorada. Em virtude dessa característica surgem duas práticas que são exclusivas do modal aéreo - *no-show* e *overbooking*. Nos serviços de passageiros de ônibus, por exemplo, o passageiro que não comparece ao embarque, perde o direito de fazer a viagem em outra ocasião com o mesmo bilhete.

## **2.2 PERFIL DO USUÁRIO DO TRANSPORTE AÉREO**

O modal aéreo aumenta continuamente sua importância na matriz brasileira de transportes, representando, por seus atributos, uma opção cada vez mais relevante na escolha de pessoas e empresas.

A partir da década 90, como decorrência do processo de globalização, novas exigências vêm sendo impostas pelos usuários do modal aéreo, conforme mostra a pesquisa *Corporate Air Travel Survey* realizada pela IATA, em 2006. Essa pesquisa visou mapear os principais anseios dos usuários do modal aéreo, apontando os fatores que influenciam os passageiros na escolha da companhia aérea. Neste estudo foram aferidos atributos através dos quais os usuários identificavam um ou mais de sua preferência.

Os dez itens apontados como os de maior relevância para os usuários do transporte aéreo foram: tarifa, programa de milhagem, oferta de vôos, regularidade, segurança, conforto, melhores vôos de conexão, reputação da empresa, equipamento e malha aérea. A Figura 2.1 mostra a evolução entre 2002 e 2005 do peso de cada atributo para o usuário.

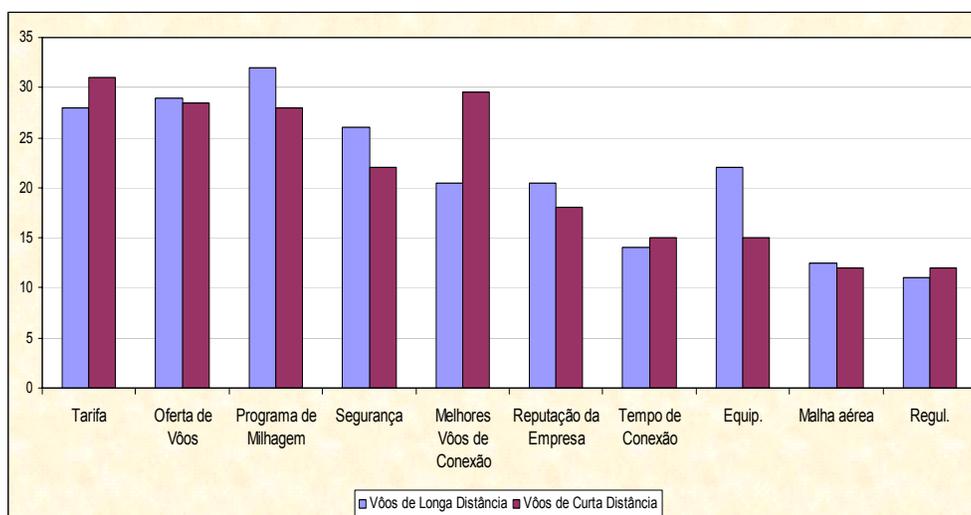


Fonte: Corporate Air Travel Survey - IATA (2006)

Figura 2.1 – Motivos de Escolha da Companhia Aérea

Apesar de novos fatores serem avaliados na pesquisa, pode-se verificar que a tarifa aérea (preço de bilhetes) e a oferta de vôos (frequência) continuam sendo os fatores decisivos na escolha do usuário. Como reflexo da crescente utilização pelas companhias aéreas da prática de *hub-and-spoke*, da preocupação do usuário quanto à solidez e segurança da companhia aérea, observa-se na Figura 2.1 que quatro itens (melhores vôos de conexão, reputação da empresa, equipamento e malha aérea) foram incorporados e apresentaram resultados relevantes.

A pesquisa realizada detalhou, ainda, as características dos usuários, referentes ao ano de 2005, segundo a etapa de vôo (longa e curta distância), conforme ilustra a Figura 2.2.



Fonte: *Corporate Air Travel Survey - IATA (2006)*

Figura 2.2 – Escolha da Companhia Aérea por etapa de voo.

Esta análise enfatiza a diferença do perfil dos passageiros nos voos de curta e longa distância. Os usuários dos voos de curta distância atribuem maior relevância às tarifas, enquanto os passageiros dos voos de longa distância destacam o programa de milhagem como fator primordial. Observa-se que, independente da etapa de voo, a oferta de voos é fator de suma importância para usuário do transporte aéreo.

### 2.3. CUSTOS OPERACIONAIS DAS COMPANHIAS AÉREAS

A análise da planilha de custos das empresas aéreas permite reunir e organizar informações, bem como diagnosticar os componentes do custo operacional de maior destaque. A partir dessa análise, é possível identificar variáveis potencialmente importantes para o aumento da eficiência das companhias e, conseqüentemente, para a redução de tarifas aéreas.

A classificação de cada item da planilha de custos operacionais obedece à regulamentação estabelecida pela ANAC, através da Portaria nº 1.334/SSA de 2004, que padroniza o plano de contas das empresas de transporte aéreo regular. No Quadro 2.2, é apresentada uma consolidação dos custos operacionais das empresas que operaram no mercado doméstico regular no período de 2000 a 2006.

Quadro 2.1 – Participação Relativa (%) dos Custos Operacionais no Mercado Doméstico

<b>Custos Operacionais</b>	<b>2000*</b>	<b>2001*</b>	<b>2002*</b>	<b>2003*</b>	<b>2004*</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<i>Combustível</i>	18,64	21,48	23,44	27,03	31,22	33,29	33,41
<i>Câmbio</i>	18,60	18,18	23,14	19,61	19,82	17,06	16,47
<i>Encargos com Pessoal</i>	18,24	15,02	13,42	13,02	12,84	13,95	14,12
<i>Despesas Comerciais</i>	14,63	12,03	14,41	15,69	15,52	13,82	12,49
<i>I.P.C.</i>	1,92	3,66	3,17	3,92	4,00	4,76	7,44
<i>Tarifas de Comunicação e Auxílio</i>	4,00	3,60	2,94	2,55	2,44	2,44	2,98
<i>Serviços Auxiliares Diversos</i>	1,79	2,06	2,02	1,69	1,25	1,36	2,35
<i>Despesas Diretas, Pax e Carga</i>	3,97	3,91	3,82	2,74	2,29	2,76	1,90
<i>Deprec., Seguros de Equip. de Vôo</i>	3,47	3,14	4,01	4,64	2,84	1,71	1,62
<i>Tarifas Aeroportuárias</i>	1,90	1,74	1,60	1,26	1,11	1,30	1,39
<i>Organização Terrestre</i>	6,11	8,47	1,90	2,00	2,10	2,80	1,53
<i>Despesas Fiscais</i>	1,10	1,10	1,03	1,30	1,05	0,86	1,29
<i>Deprec., Seg. e Alugueis em Geral</i>	1,60	1,50	1,41	1,55	1,23	0,97	0,88
<i>Consumo de Materiais Diversos</i>	1,17	1,06	0,97	0,78	0,38	0,64	0,68
<i>Serviços Públicos</i>	2,41	2,58	2,35	2,06	1,70	1,50	0,62
<i>Despesas Bancárias</i>	0,04	0,03	0,03	0,07	0,03	0,41	0,51
<i>Amortizações</i>	0,41	0,44	0,34	0,09	0,18	0,37	0,32
<b>Total</b>	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Anuário Econômico do Transporte Aéreo – ANAC

(\*) Inclui as empresas contempladas na Portaria nº 237/SPL, de 08 de dez. de 1981.

Como pode ser observado no quadro 2.1, o componente de maior representatividade no total dos custos das empresas é o combustível. Este item registrou, em 2000, uma participação de 18,64% e, em 2006, respondeu por mais de 33% do total dos custos operacionais, representando crescimento acumulado de 77%. A composição deste item compreende o consumo de combustíveis em geral, inclusive lubrificantes e querosene de aviação (QAV).

O aumento de sua participação nos anos analisados se deve, não só ao incremento do volume consumido, mas, principalmente, à elevação dos preços do QAV. Este preço é obtido a partir da fórmula elaborada pela Petrobrás e fixado levando-se em conta a variação cambial, o preço do barril praticado internacionalmente e os encargos de ICMS fixados em cada estado.

Frente a esse obstáculo, as empresas têm buscado maneiras de diminuir o impacto desse aumento de preço de várias maneiras, dentre as quais podemos destacar:

- *Fuel Hedging*: uma maneira de se evitar, ou atrasar o aumento do preço dos combustíveis é através de operações de hedging. Grandes empresas como British Airways e Delta Airlines garantem até 75% do seu consumo antecipadamente.
- *Fuel Tankering*: devido a diferenças de taxaço e de preço dos combustíveis entre aeroportos, uma alternativa para as empresas é analisar a viabilidade de se abastecer a aeronave mais que o necessário nos aeroportos onde o preço final do combustível é mais baixo.

O segundo componente em termos de representatividade na planilha de custos das empresas aéreas é a taxa de câmbio da moeda norte-americana, que abrange todos os itens cujos preços estão atrelados à variação cambial, tais como consumo de peças e materiais importados, manutenção de aeronaves, serviços de terceiros referentes a oficinas, arrendamento de aeronaves, entre outros. Como resultado da apreciação do Real, em 2006, o câmbio representou 16,5% do total dos custos operacionais das empresas, alcançando o menor patamar do período observado.

Por sua vez, o item de encargos com pessoal, que representa atualmente cerca de 14 % da planilha de custos operacionais, engloba despesas, tais como: honorários de diretoria e conselhos, salários de funcionários, os encargos sociais e benefícios.

No caso das despesas comerciais incluem-se os gastos com comissões, propaganda, publicidade, promoção, gratificações, representações, entre outros. O comportamento deste item, no período analisado, não sofreu nenhuma variação significativa e sua representatividade nos custos operacionais se deve aos altos investimentos em publicidade despendidos pelas companhias aéreas.

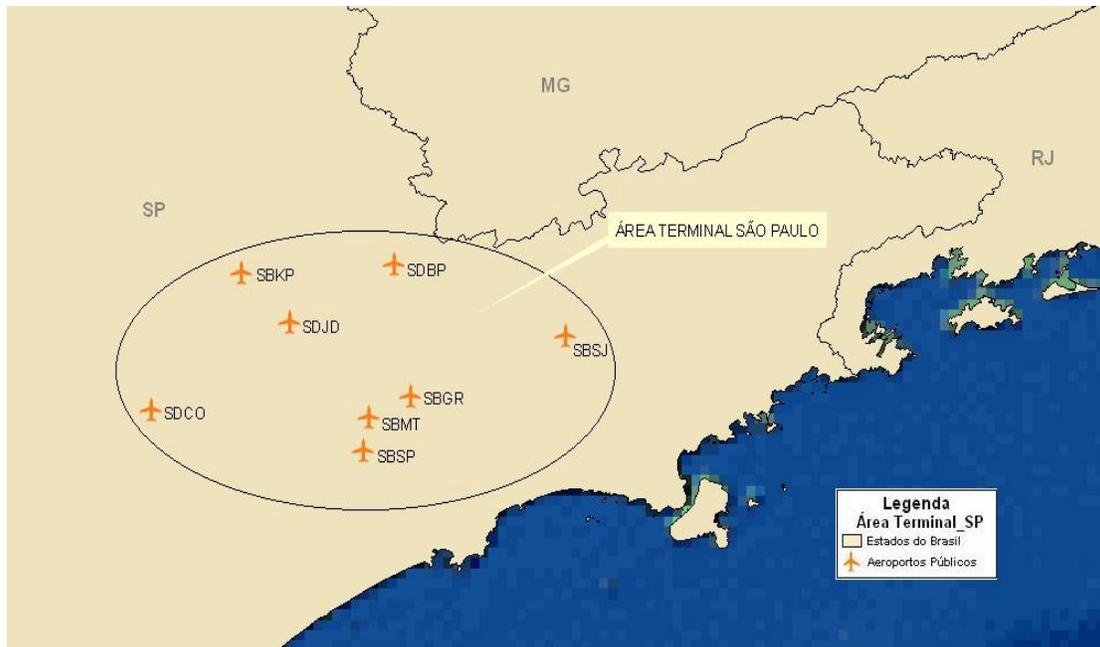
## **2.4. CONCENTRAÇÃO DA DEMANDA**

A análise crítica do processamento da demanda por transporte aéreo no Brasil demonstra que, apesar da quantidade expressiva de unidades aeroportuárias, o País apresenta um perfil bastante concentrado e que esta característica deverá permanecer nos próximos anos.

Pode-se constatar que, em 2006, cerca de 90% da demanda de passageiros foi processada em apenas dezenove aeroportos brasileiros, enquanto que 50% do total dos pousos e decolagens das aeronaves de passageiros foram registrados em 27 aeroportos.

De acordo com os dados estatísticos da ANAC/INFRAERO, as três principais Áreas de Controle Terminal (TMA) – São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte juntamente com Brasília, apresentaram uma participação relativa no mercado nacional, em 2006, de 60% e uma taxa média anual de crescimento de 24% no período entre 2000 e 2006.

Conforme mostra a Figura 2.3 a TMA São Paulo, principal centro gerador de demanda por transporte aéreo do Brasil é servida por oito aeroportos, a saber: Internacional de São Paulo/Guarulhos – SBGR, Internacional de Campinas/Viracopos – SBKP, Internacional de Congonhas - SBSP, São José dos Campos – SBSJ, Campo de Marte - SBMT, Sorocaba – SDCO, Jundiaí – SDJD e Bragança Paulista – SDBP.



Fonte: Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC

Figura 2.3 – Área Terminal de São Paulo

Em 2006, a TMA-SP processou, cerca de 33% do fluxo total de passageiros do País. Os aeroportos de Guarulhos - SBGR e de Congonhas – SBSP responderam, no período de 2000-2006, em média por 96% dessa movimentação.

## 2.5. AMBIENTE REGULATÓRIO

OLIVEIRA (2005) sustenta que o setor de transporte aéreo no Brasil passou por duas grandes *reformas regulatórias* ao longo dos últimos 35 anos: a introdução da regulação estrita (“competição controlada”, segundo definição do autor), associada a mecanismos de desenvolvimento regional, entre o final dos anos 1960 e início da década 1970, e a política de “Flexibilização”, introduzida no início da década de 1990.

Neste último período, a remoção de dispositivos que inibiam a competição direta entre as empresas – as bandas tarifárias e a exclusividade de tráfego nas linhas especiais

– estimulou o primeiro grande movimento de competição no mercado nacional. Sob essas condições, verificou-se no mercado doméstico a formação de uma “guerra de preços” entre as companhias, além de uma intensa disputa pelo direito de oferecer mais vôos, mesmo em um ambiente macroeconômico conturbado pela forte instabilidade da taxa de câmbio.

Em 2001, um acordo entre o órgão regulador da aviação civil da época (DAC) e o Ministério da Fazenda, permitiu que a maioria dos mecanismos de regulação econômica que ainda persistiam no setor fosse removida, sendo colocada em prática uma total liberalização dos preços e uma flexibilização dos processos de entrada de novas firmas, em um processo que culminou com o surgimento da empresa aérea Gol, em janeiro de 2001.

Finalmente, em 2003, com o novo governo federal, e seguindo novas orientações de política setorial, o regulador voltou a implementar alguns procedimentos de interferência econômica no mercado, objetivando controlar o que foi chamado de “excesso de capacidade” e o acirramento da “competição ruinosa” no mercado.

De acordo com novas portarias, sobretudo a 243/GC5, de 13 de março de 2003 e a 731/GC5, de 11 de agosto de 2003, o órgão regulador passava a exercer a função moderadora de *“adequar a oferta de transporte aéreo, feita pelas empresas aéreas, à evolução da demanda”*, com a *“finalidade de impedir uma competição danosa e irracional, com práticas predatórias de conseqüências indesejáveis sobre todas as empresas”*. A partir de então, a importação de novas aeronaves, exploração de novas linhas e também a entrada de novas companhias aéreas voltariam a exigir estudos de viabilidade econômica, configurando-se uma situação semelhante ao do período regulatório anterior, com a ressalva de que não houve interferência nos preços praticados pelas companhias aéreas.

*“Tudo deve ser feito o mais simples possível, mas nunca mais simples que isso.”*

*William de Occam*

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

A proposta de desenvolvimento de um modelo econométrico com a utilização de Vetores Auto-Regressivos (VAR) considera a evolução do transporte aéreo do ponto de vista operacional, utilizando variáveis que foram identificadas e utilizadas em pesquisas anteriores, como sendo influentes na demanda por transporte na área de aviação. Algumas dessas pesquisas são citadas a seguir.

#### 3.1. REVISÃO DA LITERATURA DEMANDA POR TRANSPORTE AÉREO

Os maiores esforços em mensurar as relações entre desenvolvimento econômico e transporte aéreo vêm sendo registrados pelo órgão regulador da aviação civil brasileira, *Agência Nacional de Aviação Civil*. Desde meados da década de 80, o então *Instituto de Aviação Civil*, desenvolveu uma extensa rede de estudos, como por exemplo *Demanda Global (1998)* e *Fluxo de Passageiros nas Ligações (2002)*, estabelecendo modelos de regressão que utilizam o Método dos Mínimos Quadrados como estimador dos parâmetros da modelagem.

Em 2005, o órgão apresentou o estudo *Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros*, onde se propunha uma metodologia baseada no procedimento *Top-Down* dos modelos *Capital Asset Price Market (CAPM)*, para determinar o fluxo esperado de passageiros em cada aeroporto da rede INFRAERO, a partir da estimativa da demanda agregada do mercado brasileiro.

SIMÕES (2003), ao estudar o efeito do crescimento do transporte aéreo como fator contribuinte para o aquecimento global, identificou que a estabilidade financeira observada no período após o Plano Real facilitou o financiamento de passagens e estimulou as viagens aéreas. O estudo referenciou também um modelo testado para expressar o potencial da demanda entre dois pólos geradores de tráfego. O Modelo Gravitacional foi utilizado para demonstrar a atratividade entre dois pólos, baseado nas suas relações entre população e distância. De acordo com o autor, este tipo de modelagem é pouco eficiente para prever a evolução do tráfego aéreo a médio e longo

prazo, pois as variáveis independentes incluídas são exclusivamente magnitudes físicas e não refletem os fatores econômicos que influem na sua evolução com o tempo.

MARAZZO et. al (2005) relataram esforços para captar a dinâmica de curto-prazo da demanda por transporte aéreo através de uma abordagem univariada, analisando dados em frequência mensal. Foram utilizados modelos de amortecimento exponencial e modelos SARIMA de Box-Jenkins, sendo este último o mais acurado, segundo os resultados apresentados.

Um estudo de PALHARES e ESPIRITO SANTO (2001), inverte o foco do debate e apresenta o transporte aéreo como indutor de crescimento econômico. De acordo com os autores, a indústria do turismo e aviação são intrinsecamente relacionadas, sendo a última responsável por um efeito multiplicador de acesso e renda.

OLIVEIRA (2005), aponta também para a importância da relação entre renda e demanda das empresas aéreas ao analisar a performance dessas companhias no mercado doméstico brasileiro. O autor propõe que o comportamento cíclico observado na rentabilidade das empresas é originado em uma combinação de fatores econômicos, dentre os quais o PIB (renda), custos de produção, preço das passagens e efeitos de medidas regulatórias.

No cenário internacional, muitas são as pesquisas desenvolvidas com o intuito de estabelecer relações entre variáveis exógenas e demanda por transporte aéreo. Em 2001, KARIM et. al. buscaram conhecer as condições para que uma cidade se tornasse um centro de distribuição de vôos dentro de uma determinada região, avaliando dentre outras variáveis, o montante de remessas entre países, impostos para turistas e volume de exportação/importação entre eles.

Um estudo apresentado por BADHRA (2003) examinou a demanda por transporte aéreo nos Estados Unidos através de um procedimento *bottom-up*, onde a demanda agregada do mercado norte-americano fora obtida através das estimativas de cada tráfego em separado. Esperava-se com esse tipo de abordagem (*specific to general*) potencializar o poder de explicação da modelagem, incorporando informações em nível local que seriam desprezadas em uma abordagem do tipo *top-down*.

A proposta de análise apresentada por NJEGOVAN (2001) é a que mais se alinha a esta pesquisa. No seu estudo foi avaliado se choques na taxa de crescimento da demanda por transporte aéreo no reino Unido eram permanentes ou transitórias, utilizando suposições acerca dos testes de raiz unitária. Foi verificado que os choques são, em grande parte, transitórios. Desta forma as previsões de longo prazo do mercado britânico não precisariam de revisões constantes.

### **3.2. REVISÃO DA LITERATURA VETORES AUTOREGRESSIVOS**

Embora no setor de transporte aéreo a utilização de Vetores Autoregressivos (VAR) no processo de estimação ainda seja incipiente, tal método vem sendo largamente utilizado pelo mercado em estudos empíricos com foco no planejamento, com relativa ênfase em projeção de resultados econômico-operacionais. Alguns desses trabalhos científicos são a seguir descritos com o objetivo de enfatizar a importância desse método no processo de estimação de resultados.

SIQUEIRA (2007) ao analisar a eficácia da política monetária adotada pelo Governo brasileiro, explorou a relação existente entre taxa de juros e inflação, demonstrando empiricamente, através da Função de Resposta ao Impulso, que a inflação aferida pelo IGP-M reage a choques na taxa de juros com a máxima intensidade em um período entre 6 e 8 meses a frente, tendo seus efeitos extintos em até 2 anos.

Um estudo promovido por CÂNDIDO (2007) explora a relação entre investimento público e seus efeitos sobre a riqueza e a eficiência em países como Brasil, Argentina e Chile. Os resultados foram unânimes em apontar uma relação de longo prazo positiva entre investimento público e riqueza. Por outro lado, não foi possível descartar a possibilidade de causalidade entre investimento público e eficiência, o que sugere que o aumento da eficiência da economia antecede a um aumento dos investimentos públicos;

Estudar as relações entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica na China foi a preocupação de YUAN et. al (2006). Ao promover o teste de Causalidade de Granger, os resultados estimados indicaram que o consumo de energia elétrica e o

crescimento econômico chinês tendem a evoluir conjuntamente, sendo verificada também uma precedência temporal do PIB sobre a energia.

MARAZZO et. al (2008), buscaram verificar empiricamente as relações de equilíbrio entre o crescimento econômico e a demanda por transporte aéreo doméstico no Brasil, contestando o uso das ferramentas tradicionais para avaliar a relação entre as variáveis endógenas e exógenas nos modelos de regressão, tendo em vista o risco de produzir regressão espúrias com séries não estacionárias. No estudo verificou-se que existe uma relação de precedência temporal entre crescimento do PIB, que afeta a demanda por transporte aéreo com intensidade máxima em dois anos.

Um modelo econométrico baseado em Vetores Autoregressivos foi utilizado por VAN DOORNIK (2006), para determinar o desempenho econômico-financeiro futuro da PETROBRAS. O autor faz uso de um extenso arcabouço teórico para justificar a preferência pelo método quando comparado com outras formas de modelagens de séries temporais, em especial os Modelos Estruturais.

RAMANATHAN (2001), investigou a relação entre variáveis macroeconômicas e o transporte rodoviário na Índia verificando as propriedades de cointegração entre as séries e as modelando em função de um Vetor de Correção de Erros. O estudo apontou que tanto passageiros quanto carga não são afetados significativamente por mudanças no preço, e que após desvios de curto-prazo, a demanda por passagens converge para o equilíbrio de longo prazo a uma taxa média de 35% a.a..

### **3.3. PROCEDIMENTOS**

Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia empregada neste estudo inicia com testes de raiz unitária em séries temporais, inicialmente apresentada nos trabalhos de DICKEY e FULLER (1979; 1981). A segunda parte é composta pelos testes de cointegração entre variáveis, desenvolvidos por ENGLE e GRANGER (1987) e por JOHANSEN (1988) e JOHANSEN e JOSELIUS (1990). Posteriormente, são aplicados os modelos autoregressivos Vetoriais (VAR), conforme estabelecido em SIMS (1980). Estes testes foram realizados utilizando o software E-views.

#### **3.3.1. O Vetor Autoregressivo**

A metodologia de Vetores Autoregressivos (VAR) é uma abordagem bastante utilizada na análise macroeconômica e também em estudos relacionados a resultados operacionais e ao mercado financeiro. A metodologia VAR foi proposta como alternativa aos modelos estruturais multiequacionais e teve avanços significativos na década de 80, tratando todas as variáveis sem a distinção sobre quais as variáveis devem ser consideradas dependentes ou independentes.

Em geral, a abordagem estrutural para modelar séries temporais usa a teoria econômica para estabelecer as relações existentes entre as variáveis de interesse. Entretanto, a teoria freqüentemente não é rica o suficiente para prover uma especificação dinâmica que explique todas essas relações, além do fato de que produzir estimativas e inferências com os métodos estruturais torna-se complexo, tendo em vista que variáveis endógenas podem estar em ambos os lados da equação.

Este problema levou a busca de uma alternativa não-estrutural de modelagem para estabelecer relações entre variáveis. A modelagem VAR substitui a necessidade de uma abordagem estruturada por tratar as variáveis do sistema como uma função dos valores defasados de todas as variáveis endógenas do sistema.

“Para propósitos de análise e previsão da atividade e investigação dos efeitos de mudanças na política macroeconômica e estimulação

externa da economia, pesquisadores descobriram que um VAR de pequena escala é tão bom quanto, ou melhor, do que Sistemas de Equações Estruturais”. Tradução de (GREENE, 2003)

Algumas características desta metodologia são:

1. A abordagem do VAR para fins de previsão considera diversas séries temporais de uma única vez. É um sistema verdadeiramente simultâneo, em que todas as variáveis são consideradas endógenas.

2. Nesta abordagem, o valor de uma variável é expresso como uma função dos valores passados, ou defasados, dessa variável e de todas as outras variáveis incluídas no modelo.

3. Se cada equação contiver o mesmo número de variáveis defasadas do sistema, ela pode ser estimada por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) sem que seja preciso recorrer a qualquer método de sistemas, tais como os mínimos quadrados em dois estágios.

4. Esta simplicidade da modelagem VAR pode ter sua desvantagem. Tendo em vista o número limitado de observações que estão geralmente disponíveis na maioria das análises econômicas, a introdução de várias defasagens de cada variável na construção do modelo pode consumir muitos graus de liberdade.

5. Se houver várias defasagens em cada equação, nem sempre é fácil interpretar cada coeficiente, em especial se o sinal dos coeficientes se alternarem. Por esta razão é necessário examinar a Função Resposta do Impulso na modelagem VAR para verificar como a variável dependente responde a um choque administrado a uma ou mais equações do sistema (GUJARATI, 2008).

A Função de Resposta ao Impulso permite também a obtenção de elasticidades de impulso para  $k$  períodos à frente. Essas elasticidades de impulso possibilitam a avaliação do comportamento das variáveis em resposta a choques ou inovações individuais em qualquer componente da equação. Desta forma, torna-se possível analisar, por meio de simulações, os efeitos dos eventos probabilísticos do sistema. Além disso ao

VAR possibilita a decomposição histórica da variância do erro de previsão,  $k$  períodos à frente, em percentagens a serem atribuídas a cada variável independente. Ao mesmo tempo, analisa a importância de cada choque, em cada variável endógena do modelo ocorrida para explicar os desvios dos valores observados das variáveis em relação à sua previsão (ALVES E BACCHI, 2004).

Alguns pré-requisitos são necessários antes de se estimar um modelo VAR. É preciso checar as condições de estabilidade do sistema, com a realização dos testes de estacionariedade e dos testes de estabilidade estrutural, conforme descrito no capítulo a seguir. Após, verifica-se por meio do teste de cointegração, a possibilidade de existência de relações de longo prazo entre as variáveis, caso se revelem não-estacionárias.

“Sem autocorrelação dos erros, VARs são particularmente fáceis de serem estimados. Apesar do sistema de equações poder ser extremamente grande, ele é, de fato, um modelo similar de regressões não relacionadas contendo regressores idênticos. Dessa forma, as equações podem ser estimadas separadamente pelo método dos mínimos quadrados-MQO” (GREENE, 2003)

### **3.3.2 Teste de Estacionariedade de Dickey-Fuller**

A condição de estabilidade é um dos pressupostos para a estimação. Se uma série temporal apresenta sua média, variância e autocovariância constantes ao longo do tempo, esta condição de estabilidade é atendida, denotando que o processo estocástico que gerou a série não varia em relação ao tempo. Sem esta condição, não seria possível generalizar o comportamento da série para outros períodos além daquele já observado, o que tornaria o exercício de previsão sem valor prático.

“quando uma série temporal apresenta média e variância dependentes do tempo, revela-se não estacionária. A não-estacionariedade de um série implica, em síntese, que: (i) há inclinação nos dados e eles não permanecem ao redor de uma linha horizontal ao longo do tempo e/ou (ii) a variação dos dados

não permanece essencialmente constante sobre o tempo.”  
(Pinheiro e Amin, 2005)

A distinção entre processos estocásticos estacionários e não estacionários tem implicação também no fato de a tendência ser determinística ou estocástica. De forma geral, se a tendência observada nas séries for determinística, ou seja, invariante ao longo do tempo, seria possível obter estimativas consistentes simplesmente com a inclusão de um termo de tendência nos modelos de regressão tradicional. Entretanto, a maioria das séries econômicas apresentam flutuações que são resultado de choques não apenas nos componentes cíclicos e transitórios, mas também nos seus componentes estruturais de longo prazo, sendo assim denominados processos de *tendência aleatória* ou de *raiz unitária*<sup>2</sup>.

Uma vez que a discussão sobre existência de raiz unitária ou integração em séries temporais está no debate sobre estacionariedade ou não da tendência da série, e que, a presença de raiz unitária na série temporal conduz a resultados viesados, invalidando os pressupostos da estatística clássica de média e variância constantes ao longo do tempo, a tendência da série precisa ser removida, trabalhando com as séries diferenciadas, e não em nível.

A ordem de integração de uma variável diz respeito ao número de vezes que a série deve ser diferenciada (diferença do tipo  $x_t - x_{t-1}$ ) para que ela se torne estacionária. Conforme definem ENGLE E GRANGER (1987) uma série sem componente determinístico, com representação ARMA (processo Autoregressivo de Média Movel), estacionária, após  $d$  diferenças é dita integrada de ordem  $d$ , denotada por  $x_t \sim I(d)$ . Portanto, a ordem de integração de uma variável representa o número de vezes que uma série precisa ser diferenciada para se tornar estacionária, ou seja, ao analisar uma variável de ordem 1, ela precisa ser diferenciada uma vez para se atingir a estacionariedade.

---

<sup>2</sup> Avaliando um processo estocástico não-estacionário denotado como  $Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t$ , o nome raiz unitária se dá ao fato de que, nesse caso,  $\rho \rightarrow 1$ . Desta forma, este texto trata os termos não-estacionariedade e raiz unitária como sinônimos.

Supondo que o processo gerador da série seja dado por um passeio aleatório, descrito como:

$$x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

com  $\varepsilon_t$  independente e identicamente distribuído (*iid*), com média zero e variância  $\sigma^2$ , tem-se:

$$x_t = \sum_{j=1}^t \varepsilon_j, \quad \text{se } x_0 = 0 \quad (3.2)$$

onde  $x_t$  é a somatória de  $\varepsilon_t$  e  $\Delta x_t = \varepsilon_t$  é  $I(0)$ , sendo  $\Delta$  o operador de diferença tal que  $\Delta x_t = x_t - x_{t-1}$ . Desse modo, tem-se que a série tem uma raiz unitária, ou que  $x_t$  é  $I(1)$ , pois uma diferença foi suficiente para que a série se tornasse estacionária. Dessa forma, um processo é integrado de ordem 1 [ $I(1)$ ] se  $x_t$  é não-estacionária mas a primeira diferença de  $x_t$  [ $\Delta x_t$ ] é estacionária.

O primeiro teste desenvolvido para testar a presença de raiz unitária foi proposto por Fuller (1976), considerando um processo autoregressivo de ordem 1 [ $AR(1)$ ], conforme descrito a seguir:

$$x_t = \rho x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3.3)$$

com  $\varepsilon_t$  ruído branco. A hipótese nula é que  $x_t$  é não estacionário. Assim, tem-se que  $H_0 : \rho = 1$  contra  $H_1 : \rho < 1$ , o que equivale a testar em:

$$\Delta x_t = (\rho - 1)x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3.4)$$

a hipótese  $H_0 : \rho - 1 = 0$  contra  $H_1 : \rho - 1 < 0$ .

A aceitação da hipótese nula indica que o processo tem raiz unitária e, portanto, é não estacionário. Para a realização deste teste de hipótese, utiliza-se como processo de estimação o método dos Mínimos Quadrados Ordinários. No entanto, os testes de raiz unitária ou estacionariedade não utilizam a distribuição padrão *t de Student*, mas os valores das distribuições denominadas  $\tau$  (tao), conforme proposto em HAMILTON (1994), apud MACKINNON (1999).

Considerando modelos que incorporem termos relacionados com a presença de intercepto e tendência, têm-se, respectivamente:

$$x_t = \alpha + \rho x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3.5)$$

e

$$x_t = \alpha + \beta t + \rho x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3.7)$$

Para fins de simplicidade, este estudo adota uma nomenclatura específica para descrever as variações do teste de Dickey-Fuller. A estatística utilizada no caso de modelos com intercepto é denominada de  $\tau_\mu$  e, para testar a presença de tendência, utiliza-se a estatística  $\tau_t$ . Entretanto é possível testar de maneira conjunta a presença de um termo de intercepto ou tendência e de raiz unitária, cujos testes são denominados  $\phi$  e correspondem a um teste F. No caso do teste denominado  $\phi_1$ , testa-se a hipótese de que  $(\alpha, \rho) = (0,1)$  contra a hipótese de que  $(\alpha, \rho) \neq (0,1)$ . No teste  $\phi_2$ , a hipótese nula é que  $(\alpha, \beta, \rho) = (0,0,1)$ , contra a hipótese alternativa de que  $(\alpha, \beta, \rho) \neq (0,0,1)$ . Finalmente, na estatística  $\phi_3$ , a hipótese nula é que  $(\alpha, \beta, \rho) = (\alpha, 0,1)$  contra a hipótese alternativa de que  $(\alpha, \beta, \rho) \neq (\alpha, 0,1)$ . Os valores críticos para essas distribuições estão tabulados em Dickey e Fuller (1981).

Se a série for descrita por um processo autoregressivo de ordem  $p$ , tem-se, para fim do teste, o seguinte modelo:

$$\Delta x_t = \alpha + \beta t + \gamma x_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \lambda_i \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3.8)$$

onde:  $\lambda_i = -\sum_{j=i+1}^p \rho_j$  e  $\gamma_i = \sum_{i=1}^p (\rho_i - 1)$ . Nesse caso, a presença de raiz unitária é testada pela hipótese  $H_0 : \gamma = 0$ . O teste de raiz unitária, neste caso, é denominado de Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF).

Pode-se resumir os testes de raiz unitária de acordo com o procedimento sequencial proposto por ENDERS (1995).

1. Estimar uma regressão contendo um intercepto e uma variável tendência, considerando as defasagens adequadas, conforme discutido posteriormente em 3.3.2;
2. Testar a hipótese de que  $\gamma = 0$ , utilizando-se a estatística  $\tau_t$ ;
3. Se a hipótese não for rejeitada, utiliza-se a estatística  $\tau_t$  para testar  $\beta = 0$ . Se esta hipótese for rejeitada, testa-se  $\gamma = 0$  usando a distribuição normal;
4. se a hipótese  $\beta = 0$  rejeitada, deve-se estimar o modelo sem a variável tendência, mas com intercepto:
5. Basedo nessa autoregressão, testa-se a hipótese de  $\gamma = 0$ , utilizando a estatística  $\tau_\mu$
6. Sua não-rejeição leva a testar a hipótese de que  $\alpha = 0$ , utilizando a estatística  $\tau_\mu$ . Caso se rejeite essa hipótese, testa-se  $\gamma = 0$  usando a distribuição normal;
7. Não se rejeitando a hipótese  $\alpha = 0$ , estima-se o modelo sem intercepto e sem tendência;

8. Neste caso, deve-se testar  $\gamma = 0$  utilizando a estatística  $\tau$ . Se a hipótese não puder ser rejeitada, conclui-se que o processo gerador da série possui raiz unitária. Portanto, deve-se trabalhar com a variável diferenciada e não em nível;
9. Se isso ocorrer, repete-se o processo, porém considerando uma diferença a mais, para verificar se a real ordem de integração da série. Normalmente uma ou duas diferenças são o suficiente para torná-la estacionária.

Apesar da profusão de novos testes de raiz unitária que vem sendo observada (Phillip-Peron, Dickey-Pantula, ...) é necessário levar em consideração o *Tamanho* (probabilidade de rejeitar uma hipótese verdadeira) e a *Potência* (probabilidade de aceitar uma hipótese falsa) desses testes. A maioria dos testes de raiz unitária é baseada na hipótese nula de que a série temporal considerada tem raiz unitária, ou não-estacionariedade. A hipótese alternativa é a de que a série é estacionária.

- *Tamanho do teste*: O teste de Dickey-Fuller é sensível às especificações inicialmente propostas: cabe ao analista definir se o experimento é um passeio aleatório com a presença de intercepto ou tendência determinística. Uma escolha inicial mal feita pode levar a conclusões erradas sobre o nível de significância do resultado.
- *Potência do teste*: A maioria dos testes do tipo Dickey-Fuller tem baixa potência, ou seja, tende a aceitar a hipótese de raiz unitária com mais frequência do que seria recomendável, ou seja, podem indicar raiz unitária mesmo quando não há nenhuma. GUJARATI (2008) explica que a potência depende da amplitude (de tempo) dos dados, mais do que simplesmente do tamanho da amostra. Assim, um teste de raiz unitária com 30 observações em um período de 30 anos, por exemplo, pode ter uma potência maior do que outro baseado em 100 observações coletadas em um intervalo de tempo de 100 dias.

### 3.3.3 Escolha do Número de Defasagens

Um ponto importante na análise da relação de causalidade entre duas variáveis diz respeito à escolha do número apropriado de defasagens a ser utilizado. Em fenômenos de natureza econômica, a dependência de uma variável raramente é instantânea, pois seus efeitos, em geral, são registrados com um lapso de tempo. GUJARATI (2008) argumenta que as pessoas não mudam seus hábitos de consumo imediatamente devido a uma diminuição do preço, ou a um aumento da renda, talvez porque falte ao consumidor saber se a mudança no nível de renda é permanente ou transitória.

MADDALA (1992) sugere que a dimensão das defasagens é, em certo sentido, arbitrária. Isso porque existe uma variedade de métodos alternativos para se determinar o tamanho ótimo de defasagens em um modelo.

DAVIDSON e MACKINNON (2004) argumentam que a escolha de um número elevado de defasagens seria preferível, uma vez que dessa forma o analista pode verificar como a exclusão de algumas defasagens afeta as estimativas. Além disso, a escolha de poucas defasagens pode ainda causar viés devido à omissão de variáveis relevantes (o estimador de mínimos quadrados das variáveis que permanecem serão inconsistentes e as variâncias e erros-padrão desses coeficientes serão incorretamente calculados); por outro lado, a escolha de mais defasagens do que o necessário pode levar ao viés de inclusão de variáveis irrelevantes, que é menos sério do que no caso anterior (os coeficientes podem ser estimados consistentemente pelo método de mínimos quadrados, mas tendo-se em mente que suas variâncias podem ser menos eficientes).

Na verdade, esse é o método de modelagem originalmente proposto pelo econométrico escocês David Hendry, que sugere que a escolha do melhor modelo deve ser feita gradativamente, partindo-se de um modelo generalista e, por meio de testes, reduzindo o alcance do modelo na análise final (*general to specific modelling*).

Dada a necessidade de se estabelecer um equilíbrio entre o número de defasagens e a qualidade do ajustamento dos modelos<sup>3</sup>, alguns métodos empíricos utilizados para esse fim ganharam destaque ao longo dos últimos anos, como por exemplo o critério de informação de Schwartz (CIS), Critério de Informação de Akaike (CIA) ou Critério de Mallow, sem que se tenha provado a superioridade de algum deles sobre os demais.

Nesta pesquisa, buscou-se os modelos que apresentasse o menor CIS, definido como:

$$\ln CIS = \frac{k}{n} \cdot \ln n + \ln \left( \frac{SQR}{n} \right) \quad (3.9)$$

onde  $k$  é o número de defasagens + 1 e  $n$  é o número de observações presentes na amostra.

### 3.3.4 Cointegração

Para testar a existência de cointegração, é preciso primeiramente verificar se as variáveis apresentam a mesma ordem de integração. Se ambas forem caracterizadas por um processo  $I(1)$ , por exemplo, o teste utilizado para verificar cointegração é baseado na estimativa da seguinte equação:

$$y_t = \alpha + \beta x_t + \varepsilon_t \quad (3.10)$$

De forma intuitiva, o conceito de cointegração significa que variáveis não-estacionárias podem ter caminho temporal ligado, de forma que no longo-prazo apresentem relação de equilíbrio. Segundo ENGLE e GRANGER (1987), se duas séries de tempo são  $I(1)$ , então, em geral, a combinação linear

---

<sup>3</sup> O teste mais conhecido para medir ajustamento da regressão, o  $R^2$ , não reduz seu valor com a presença de novas variáveis. Este fato traz ao analista a possibilidade de aumentar indefinidamente o número regressores para maximizar o ajustamento, mas aumenta o erro da previsão.

$$y_t - \alpha - \beta x_t = \varepsilon_t \quad (3.11)$$

também é  $I(1)$ . Entretanto, em alguns casos esta combinação é  $I(0)$  e não produz resultados espúrios, tendo em vista a existência de uma tendência de evolução coordenada no longo-prazo.

De forma geral, a presença de não-estacionariedade em uma análise de séries temporais torna necessária a transformação da série em primeiras diferenças para que se obtenha a estimativas dos parâmetros, conforme exposto em 3.3.1. Entretanto, esse procedimento elimina as informações de curto-prazo presentes nos dados, que podem ser particularmente interessantes para a análise do fenômeno em estudo.

Uma alternativa para estabelecer esta relação sem a perda de informação é analisar as séries cointegradas em forma de um *Vetor de Correção de Erros* (VEC), que representa um sistema conjunto de equações, construído sob a especificação de que as séries convergem para um equilíbrio de longo-prazo através de um ajustamento dinâmico de curto-prazo. Tomando um exemplo simplista, é possível considerar um sistema de duas variáveis com uma equação de cointegração e sem termos defasados. Desta forma a equação de cointegração é dada por  $Y_{2,t} = \beta \cdot Y_{1,t}$ , e o Vetor de Correção de Erro correspondente é:

$$\Delta Y_{1,t} = \alpha_1 \cdot (Y_{2,t-1} - \beta \cdot Y_{1,t-1} + e_{1,t}) \quad (3.12)$$

$$\Delta Y_{2,t} = \alpha_2 \cdot (Y_{2,t-1} - \beta \cdot Y_{1,t-1} + e_{2,t}) \quad (3.13)$$

Neste modelo, a única variável do lado direito da equação é o Vetor de Correção de Erro, que no equilíbrio de longo-prazo tende a zero. Entretanto, se  $Y_1$  e  $Y_2$  se desviam do equilíbrio, o termo de correção do erro será diferente de zero e cada variável tende a se ajustar para restaurar parcialmente a relação de equilíbrio. Assim, o coeficiente  $\alpha_i$  mede a velocidade da  $i$ -ésima variável endógena para o equilíbrio.

Em geral, ao se diferenciar os dados para se obter as séries estacionárias, perdem-se as informações de longo-prazo, caso

existam, conduzindo a estimativas viesadas dos parâmetros, assim como resultados de testes inválidos estatisticamente. Nesse contexto, torna-se necessária a inclusão de um componente que recupera esse desvio de trajetória de longo prazo das variáveis, chamado de Mecanismo de correção de Erro. (Bacchi, 1994).

Este mecanismo consiste na inclusão do resíduo da equação de cointegração (defasado de um período) na estimação do modelo econométrico especificado nas primeiras diferença, originando o Modelo de Correção de Erro. Desta forma, a representação completa do modelo de correção de erros em um formato vetorial, para o exemplo proposto, pode ser dada então por:

$$\Delta y_{1,t} = w_0 + w_1 \Delta y_{2,t} - \Pi (y_{1,t-1} - \alpha - \beta y_{2,t-1}) + \varepsilon_t \quad (3.14)$$

Caso exista mais de um vetor de cointegração, a metodologia proposta por Engle e Granger usualmente é substituída pelo método proposto por Johansen e Juselius (1990), o qual é descrito a seguir, numa representação do Vetor Autoregressivo (VAR) de ordem  $p$ , descrita por:

$$y_{1,t} = A_0 + A_1 y_{1,t-1} + \dots + A_p y_{1,t-p} + B_1 y_{2,t} + B_2 y_{2,t-1} + \dots + B_p y_{p,t-p} + \varepsilon_t \quad (3.15)$$

Onde  $y_i$  é um vetor  $n \times 1$  que representa as variáveis endógenas do modelo,  $z$  é um vetor  $m \times 1$  que representa as variáveis exógenas do modelo.  $A_0$  é um vetor  $n \times 1$  de termos do intercepto,  $A_1, \dots, A_p$  são matrizes  $n \times n$  de coeficientes que relacionam valores defasados das variáveis endógenas a valores correntes defasados das variáveis,  $B_1, \dots, B_p$  são matrizes  $n \times m$  de coeficientes que relacionam valores correntes e defasados das variáveis exógenas a valores correntes das variáveis endógenas, e  $\varepsilon_t$  é um vetor  $n \times 1$  de termos referentes à inovação, como é chamado o componente aleatório no jargão da metodologia VAR. Estes podem ser correlacionados contemporaneamente, mas são não correlacionados com seus próprios valores defasados, tampouco com as variáveis do lado direito da equação.

Conforme descrito em JOHANSEN E JOSELIUS (1990), é possível reescrever a equação 3.15 da seguinte forma:

$$\Delta Y_t = \Pi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-1} + \beta X_t + \varepsilon_t \quad (3.16)$$

Onde  $\Pi = \sum_{i=1}^p A_i - I$ ,  $\Gamma_i = -\sum_{j=i+1}^p A_j$ ,  $Y_t$  é em vetor de variáveis não-estacionárias  $I(1)$ ,  $X_t$  é um vetor de variáveis determinísticas e  $\varepsilon_t$  é um vetor do termo aleatório com média 0 e variância finita. O número de vetores de cointegração é representado pelo posto da matriz de coeficientes  $\Pi$ . O método proposto consiste em estimar a matriz  $\Pi$  em uma forma irrestrita e testar se é possível rejeitar a significância das restrições impostas a partir da redução do posto de  $\Pi$ .

Há três casos possíveis decorrentes dessa análise: a) Se  $\Pi$  tem posto completo, então  $x_t$  é um processo estacionário e um modelo VAR em nível é apropriado; b) se  $\Pi$  tem posto igual a zero, então  $x_t$  é um processo integrado onde um modelo VAR nas diferenças é apropriado; c) Se, entretanto, o posto da matriz está entre 0 e k, há cointegração e a matriz  $\Pi$  pode ser representada pelo produto de duas matrizes, referentes ao comportamento de curto e longo-prazo.

O teste da razão da verossimilhança, que verifica a hipótese de que existem no máximo  $r$  vetores de cointegração, é chamado genericamente de *teste do traço estatístico* e é representado em termos algébricos como:

$$\lambda_{\text{traço}} = -2 \log(Q) = -T \sum_{i=r+1}^n \log(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (3.17)$$

$$r = 0, 1, 2, \dots, n-2, n-1.$$

Onde  $Q = (\text{função de verossimilhança restrita maximizada} \div \text{função de verossimilhança sem restrição maximizada})$ .

### 3.3.5 Matriz de Correlação

A matriz de correlação representa um instrumento de fornecimento de informações básicas sobre as séries do estudo, indicando o grau de relação linear entre as variáveis analisadas.

O valor usualmente aplicado para aferir essa relação é o coeficiente de correlação de Pearson. Este coeficiente varia entre os valores -1 e 1, sendo os valores próximos a 0 (zero) os que indicam que não há relação linear, o valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 também indica uma relação linear perfeita mas inversa, ou seja quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis.

O coeficiente de correlação de Pearson é normalmente representado pela letra  $r$  e a sua fórmula de cálculo é:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(x_i - \bar{x})(\sum_{i=1}^n y_i - \bar{y})}} \quad (3.18)$$

Quando  $r$  é igual a +1 ou -1, a correlação é dita perfeita. O sinal indica o sentido da correlação se positiva indica que  $y$  cresce quando  $x$  também cresce e se negativa indica que  $y$  decresce quando  $x$  cresce.

Quanto mais próxima de zero for o valor do coeficiente de correlação menor será a indicação de que as variáveis estejam correlacionadas linearmente.

### 3.3.6 Teste de Causalidade de Granger

A análise de regressão trata a dependência de uma variável com relação a outras. No entanto, a análise de regressão pura e simples não implica em causalidade. A esse

respeito, KENDAL e STUART (1977) afirmam que a identificação de uma relação estatística entre duas ou mais variáveis, por mais forte que seja, não pode nunca estabelecer uma relação causal entre elas, devendo esta relação se originar, fundamentalmente, em alguma teoria já estabelecida ou até mesmo no senso comum. Dessa forma, ao ajustar modelos econômicos empiricamente toma-se como base uma relação causal que já deve estar implícita no modelo postulado.

No entanto, existem situações onde duas variáveis quaisquer X e Y podem ter um efeito mútuo entre si, dependendo da estrutura de defasagens distribuídas entre elas. Esse é o ponto de interesse para responder às seguintes questões: (i) é possível dizer que X causa Y ( $X \rightarrow Y$ ); (ii) que Y causa X ( $Y \rightarrow X$ ); ou (iii) que existe simultaneidade entre as duas ( $X \rightarrow Y$  e  $Y \rightarrow X$ )? Em suma, existe interesse em descobrir se é possível identificar uma relação estatística de causa e efeito entre X e Y, quando existe uma relação de *precedência temporal* entre as duas variáveis.

A ideia base da Causalidade de Granger, inicialmente introduzido por Granger e posteriormente popularizado por SIMS (1972), é a de que uma determinada variável  $X_t$  causa  $Y_t$  se a informação passada da variável  $X_t$  permite melhorar as previsões da variável  $Y_t$ , isto é, se  $Y_t$  for melhor previsto com base nos valores passados de  $X_t$  e  $Y_t$  juntos do que apenas com os valores passados de  $Y_t$ . A caracterização da existência e do sentido da causalidade entre as variáveis, passa então a ser considerada fundamental para a obtenção de estimativas consistentes dos valores futuros da variável de interesse.

De acordo com OLIVEIRA (2005), o transporte aéreo é um setor que tradicionalmente apresenta essa característica de precedência sobre a “saúde” da economia. Por ter demanda derivada – isto é, procura atrelada a outros bens ou serviços, como turismo, negócios e logística –, o setor costuma estar presente nas análises dos economistas visando à antecipação e mesmo à projeção do aquecimento ou desaquecimento do nível de atividade como um todo.

Para testar a previsibilidade que existe entre as séries temporais, utiliza-se a o teste de Granger escrito sob a seguinte equação:

$$Y_t = \lambda + \sum_{i=1}^m \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_j X_{t-j} + \varepsilon_t \quad (3.19)$$

Onde  $\lambda$  é uma constante,  $m$  e  $n$  são o tamanho dos lags necessários para tornar  $\varepsilon_t$  aleatório,  $t$  o instante de observação e  $\varepsilon_t$  o termo do erro com média 0. A hipótese nula de  $X$  não causar  $Y$  é  $H_0 : \beta_j = 0$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ).

### 3.3.7 BASES PARA A MODELAGEM

Uma das premissas da modelagem é a de que o modelo deve estar corretamente especificado, sendo bem suportado pelos dados da amostra em análise e coerente com alguma teoria previamente estabelecida. Não há dúvida de que esta é uma tarefa complexa, e requer do analista o conhecimento, não apenas das sutilezas teóricas que envolvem a análise, mas também do próprio fenômeno em estudo. KENNEDY (1992), propõe, com algum humor, os seguintes “Dez mandamentos da Econometria Aplicada”:

1. *Usarás o senso comum e a teoria econômica;*
2. *Farás as perguntas certas (valorizando a relevância à elegância matemática);*
3. *Conhecerás o contexto (não apenas números vazios);*
4. *Examinarás os dados;*
5. *Não adorarás a complexidade;*
6. *Examinarás demorada e rigorosamente teus resultados;*
7. *Estarás atento aos custos da garimpagem de dados;*
8. *Estarás disposto a conciliar ( e não adorar as receitas de manuais);*

9. *Não confundirás significância estatística com significância prática;*

10. *Confessar-te-ás na presença de controvérsia.*

Alguns desses mandamentos podem parecer demasiadamente irônicos, mas retratam com clareza e precisão alguns dos erros frequentemente observados no processo de modelagem. Desta forma, convém dar suporte às propriedades ateóricas do modelo VAR e traçar algumas hipóteses pertinentes à interação entre as variáveis analisadas e o produto final do transporte aéreo, o RPK.

É notório que em mercados competitivos, os preços ou tarifas são determinados diretamente pela inter-relação entre oferta e demanda. Para O'CONNOR (1985), a demanda por transporte aéreo pode ser considerada, no sentido econômico, um bem intermediário e uma demanda derivada, uma vez que os consumidores usam o transporte para atingir algum propósito, que não apenas a própria viagem. O autor demonstrou que a demanda por transporte aéreo é elástica à renda e que quanto menor a renda do usuário maior é a elasticidade preço-quantidade.

ARAÚJO (2007) defendeu que esta demanda é influenciada pelo preço do produto (P), conforme formulado na teoria neoclássica e que, no caso do transporte aéreo, o nível de serviço oferecido (S) é um importante influenciador no comportamento do usuário, sendo este composto por diversos fatores, tal como tempo de viagem, tempo de espera e nível de conforto<sup>4</sup>. Partindo deste princípio, é possível formular a função da demanda por transporte aéreo da seguinte forma:

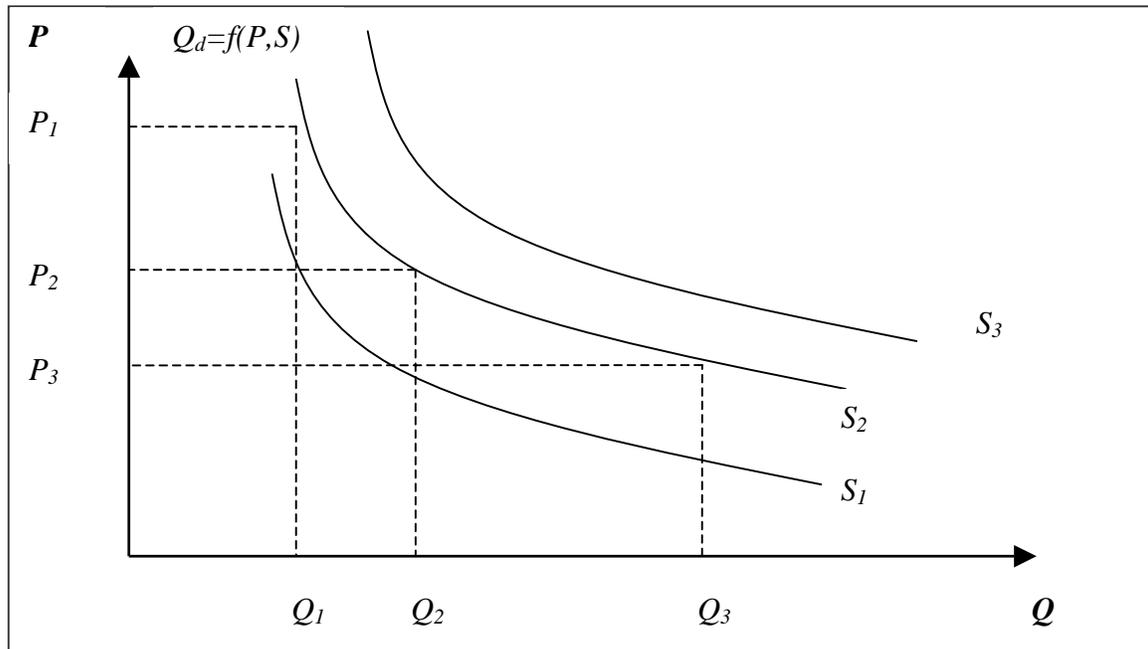
$$Q_d = f_d(P, S) \quad (3.20)$$

A expressão acima representa a função da demanda na visão neoclássica, onde a quantidade demandada é uma função direta do preço do bem ou serviço a ser consumido, *ceteris paribus*. Desta forma, pode-se afirmar que a quantidade demandada por transporte aéreo é função do preço (P) e de atributos não-preço (S), o que fornece não apenas um

---

<sup>4</sup> Logo após o chamado "apagão aéreo", muitos viajantes optaram, ainda que temporariamente, pelo transporte rodoviário, temendo as longas filas e atrasos nos vôos.

conjunto de curvas em que cada uma representa a função demanda para um dado nível de serviço (S) considerado.



Fonte: O autor.

Figura 3.1: Curvas de Demanda com base em diferentes níveis de serviços.

Na Figura 3.1, são apresentadas três curvas de demanda para três níveis de serviço: S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>. De acordo com a figura, é possível afirmar que, ao se elevar o nível de serviço (S), a curva tem um deslocamento para cima e a direita e para baixo e à esquerda quando ocorre o oposto. Para fins de aplicabilidade desta pesquisa, será considerado um nível de serviço fixo e uma capacidade ilimitada do sistema, de forma que este último não se configure um condicionante para a expansão do transporte aéreo.

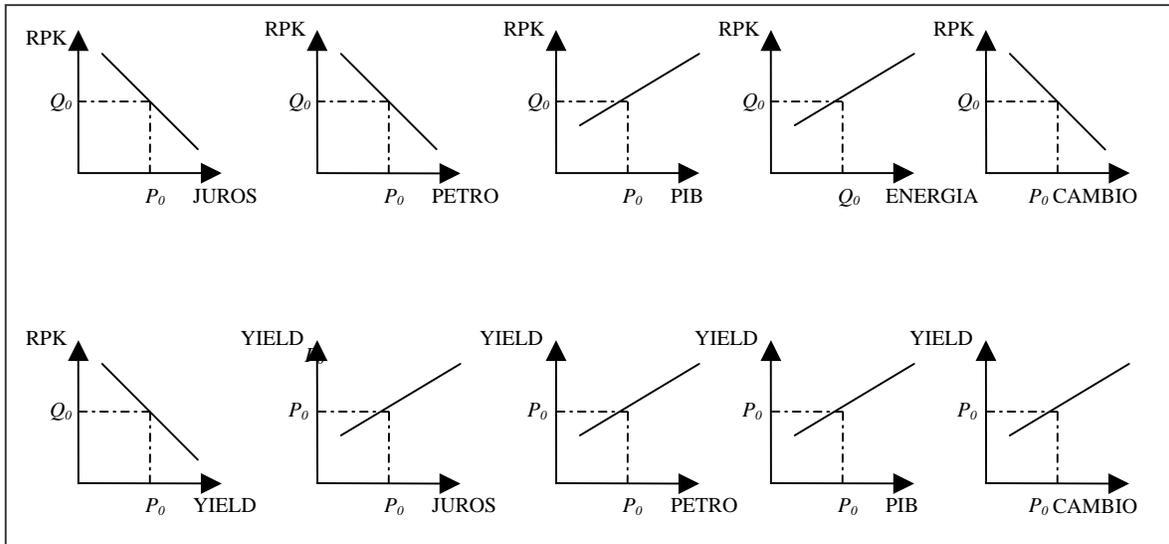
Ainda abordando o pensamento econômico neoclássico, é possível enumerar, além do preço, os principais fatores que determinam os gastos em consumo, dentro de um contexto de generalização. A escolha intertemporal de gastos foi estudada já no início do século passado por Irving Fisher, com o objetivo de alocar a renda da comunidade no consumo presente e futuro. Como resultado, teria-se uma distribuição de gastos ao longo do tempo, pois se o consumo é maior ou menor no futuro, este depende dos bens presentes e futuros, preços atuais e esperados, taxas de juros, demanda por moeda,

renda atual e esperada, bem como alguns fatores que influenciam psicologicamente o consumo. Como se vê, o consumo presente e futuro são afetados por fatores presentes e expectativas que são tomadas sob uma perspectiva psicológica, tais como: a inflação crescente, esperanças de orçamentos maiores, perspectivas de baixa nos preços, e muitos outros fatores econômicos, conforme observado em 3.3.2.

Seguindo a mesma abordagem, tem-se a visão de Milton Friedman, que ao analisar os gastos de consumo frente ao fluxo de renda, optou por não considerar o fluxo de renda corrente para a sua análise, mas investigar a função consumo pela ótica da renda permanente, separando a renda corrente em renda permanente e a transitória. Nesse caso, deve-se associar a hipótese de que o consumo corrente é uma função estável a longo prazo da renda permanente e da taxa de juros, destacando-se, entretanto, que o consumo permanente é um componente estável e o consumo transitório é o componente aleatório. Friedman provou que a propensão média a consumir a longo prazo é uma constante, dependendo de como se comporta a taxa de juros, os gastos, e a dimensão da riqueza esperada.

Apesar dos enormes esforços empreendidos para explicar a relação existente entre uma função consumo e o fluxo de renda presente e esperado pela sociedade, a organização da sociedade em classes dificulta uma explicação mais consistente da função consumo frente à sua renda. Além do fato do sistema de crédito fazer com que não se gaste o que se ganhe, mas, ultrapassem-se normalmente as possibilidades financeiras de cada agente econômico. Além da renda e do nível da taxa de juros, existem outras variáveis que afetam o consumo da economia e que não são levadas em consideração, devido ao seu alto grau de abstração envolvente, que embora não sejam palpáveis, influenciam em seu contexto de causa-efeito.

Desta forma, esta pesquisa buscou estudar a demanda por transporte aéreo não apenas através de variações em preço do transporte aéreo e renda, mas também em outras variáveis que já haviam sido identificadas como associadas à aviação em pesquisas anteriores. A Figura 3.2 apresenta a relação esperada entre estas variáveis e o preço do transporte aéreo e também com a própria demanda por transporte aéreo, seja instantaneamente ou de forma defasada.



Fonte: O autor

Figura 3.2: Inter-relacionamento esperado das variáveis associadas à demanda.

O motivo de escolha dessas variáveis e a natureza de tais relacionamentos serão detalhadamente abordados no capítulo a seguir.

## **4. ESTUDO DE CASO: DEMANDA POR TRANSPORTE AÉREO DE PASSAGEIROS NO BRASIL**

#### 4. ESTUDO DE CASO: DEMANDA POR TRANSPORTE AÉREO DE PASSAGEIROS NO BRASIL

Uma adequada análise da inter-relação entre fatores macroeconômicos e a demanda por transporte aéreo no Brasil, a partir de séries históricas, passa primeiramente pela tarefa de definição dos índices de inflação adequados para a atualização dos valores das séries em estudo. Esta tarefa é crucial, tendo em vista a necessidade de ajuste dos preços da economia aos preços do setor aéreo no intervalo de tempo considerado.

A formação de preços do setor se dá a partir dos insumos utilizados no processo produtivo, obtidos a partir de importação ou que tenham referência nos mercados internacionais, como as aeronaves (preços de aquisição, arrendamento e seguros), combustível e peças para manutenção. Entretanto, a regra mais adequada de escolha de potenciais deflatores deve se pautar não apenas pelo uso de índices associados à produção, mas também ao consumo de bens e serviços finais. Neste caso, a necessidade de analisar a relação entre preço, renda e consumo sugere o uso de um índice como o IGP-M, que incorpora itens como bens de consumo e bens de produção<sup>5</sup>.

Com relação ao período de observação, verifica-se que os relatórios de *Yield* doméstico estão disponíveis na Agência Nacional de Aviação Civil a partir de 1979, enquanto as outras variáveis dispõem de dados para períodos mais abrangentes. Como a obtenção dos parâmetros no modelo VAR obedece à mesma lógica de uma regressão MQO, a amostra adequada para compor a análise é restrita à série com menos observações. Desta forma, a série de *Yield* serve como limitante inferior para o tamanho da base de dados.

A seguir são apresentadas as variáveis utilizadas na modelagem econométrica, juntamente com os respectivos gráficos que denotam o comportamento de cada variável em nível e em primeira diferença, buscando trazer ao leitor algumas considerações acerca das variações ocorridas em cada uma das séries utilizadas neste estudo.

---

<sup>5</sup> O IGP-M é formado pelo IPA-M (Índice de Preços por Atacado - Mercado), IPC-M (Índice de Preços ao Consumidor - Mercado) e INCC-M (Índice Nacional do Custo da Construção - Mercado), com pesos de 60%, 30% e 10%, respectivamente.

#### 4.1 PASSAGEIRO KILOMETRO TRANSPORTADO (RPK)

Desde que as empresas aéreas iniciaram a utilização de aeronaves a jato, em 1950, a utilização do transporte aéreo tem aumentado substancialmente. Entretanto, o comportamento da demanda nos últimos anos tem surpreendido o mercado por apresentar taxas de crescimento vigorosas, da ordem de 17% a.a. nos últimos três anos e um crescimento acumulado de 397% nos últimos 10 anos. Segundo dados da IATA (2006), essa característica é também observada em países emergentes, como China, onde o mercado ainda não atingiu a maturidade. Estados Unidos e Europa, ao contrário, apresentam taxas de crescimento mais moderadas.

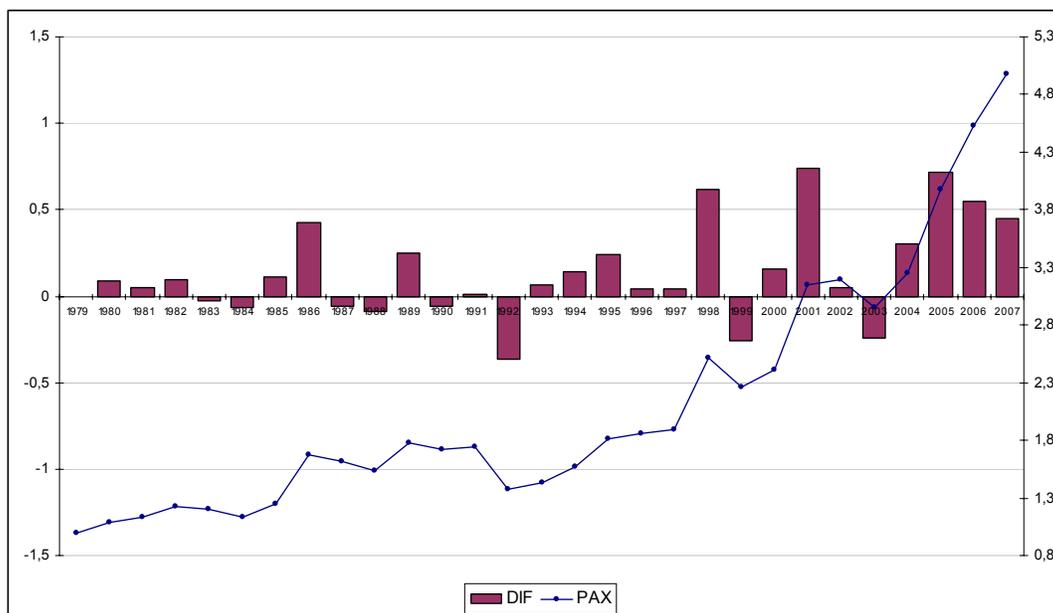
Em geral, esta variação de demanda é medida no setor através do produto final do transporte aéreo, definido como o deslocamento de um passageiro pagante (ou uma unidade de carga paga) de um aeroporto de origem para um aeroporto de destino por uma determinada etapa de voo (número de quilômetros voados).

Assim, tem-se como indicador do produto em transporte aéreo de passageiros, a *revenue passenger-kilometers* (RPK), que consiste no somatório do número de passageiros pagantes embarcados e suas respectivas etapas voadas. Para o melhor entendimento dessas variáveis, são apresentados alguns exemplos abaixo.

Companhia Aérea A transportou 1 PAX em 1 voo de 1000 km, “produziu” 1000 RPK
Companhia Aérea B transportou 1 PAX em 1 voo de 5000 km , “produziu” 5000 RPK

- O indicador de produção RPK efetua uma ponderação do número de PAX pela etapa produzida.
- O RPK é um tipo de medida de produtividade, que permite comparabilidade do produto de duas rotas, duas companhias, etc.
- No caso das companhias A e B, essa padronização produz o resultado de que A, por ter maior etapa média, produziu 5 vezes mais do que a B.

De acordo com os dados coletados no Anuário Estatístico da ANAC, foi elaborado a Figura 4.1, que ilustra a evolução do RPK no mercado doméstico brasileiro em nível e em primeira diferença.



Fonte: Anuários do Transporte Aéreo, Volume 1, elaborado pelo autor.

Figura 4.1: Evolução do RPK.

Após o período de variação oscilante observado na década de 80, o RPK passou a apresentar períodos de crescimento prolongado, sendo observada a maior variação positiva no ano de 2001, com a entrada da empresa GOL no mercado. Fica clara a influência da flexibilização do ambiente regulatório estabelecida pelo governo em 1991, já que neste período, o número de empresas operando transporte aéreo evoluiu de 15 (1991) para 39 (1997).

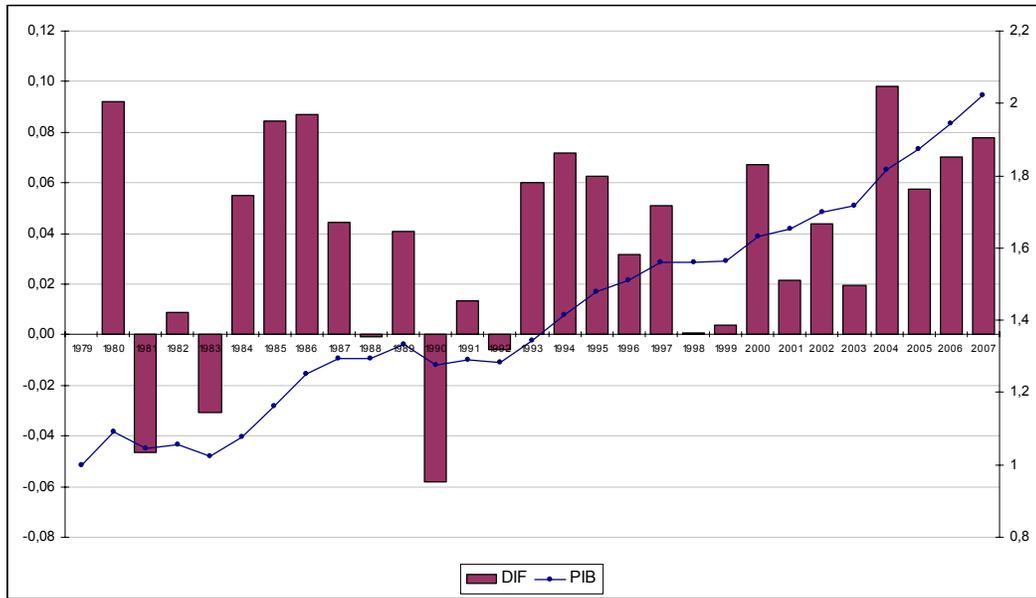
Ao fim dos anos 90, a autoridade aeronáutica removeu dois importantes dispositivos de controle à competição – as bandas tarifárias e a exclusividade de operação nas Linhas Aéreas Especiais pelas empresas regionais. Tal fato acarretou o fenômeno de “guerra de preços”, o que, associado a forte desvalorização cambial em 1999 e a um aumento generalizado dos preços de leasing e seguro, levou a um aumento dos custos operacionais das empresas aéreas.

O reflexo desta situação é observado em 2003, com o aumento de preços e um conseqüente recrudescimento do nível de RPK frente ao ano anterior. No ano seguinte, a VASP, então quarta maior companhia aérea brasileira, cessou suas operações em função do forte endividamento adquirido nos anos anteriores.

#### **4.2. PRODUTO INTERNO BRUTO (PIB)**

O nível de atividade econômica é um reconhecido deslocador da demanda por transporte aéreo, dado ser este um mercado com demanda altamente elástica à renda e inelástica a preço no Brasil, sendo o PIB o indicador mais utilizado em sua mensuração. Esta variável exprime o valor da produção realizada dentro das fronteiras geográficas, num determinado período, independente da nacionalidade das unidades produtoras e visa aferir monetariamente a produção, sem duplicações, de todos os produtores residentes nos limites da nação avaliada. Importante notar que a produção da economia informal não é computada no cálculo do PIB nacional.

A metodologia de avaliação do PIB adota como marco referencial as recomendações contidas no Sistema de Contas Nacionais (SCN), proposto pela Organização das Nações Unidas.



Fonte: IPEADATA, elaborado pelo autor.

Figura 4.2: Evolução do PIB Brasileiro.

A primeira metade da década de 80 foi caracterizada por períodos de recessão econômica, em grande parte por influência da crise do petróleo de 1979. A partir desta data, o padrão de crescimento baseado no financiamento externo ou estatal, através do investimento direto do Estado ou do investimento privado subsidiado, que tinha prevalecido durante a década de 70, entrou em crise, devido à retração do fluxo de financiamento externo.

Ainda na década de 80, o governo brasileiro desenvolveu vários planos econômicos visando o controle da inflação, com resultados pouco expressivos. O resultado destes planos foi o não pagamento de dívidas com credores internacionais (moratória), o que resultou em graves problemas econômicos que se prolongaram nos períodos seguintes.

Os anos 90 foram caracterizados por grandes transformações na economia brasileira, ocasionadas principalmente pela liberalização comercial e financeira e também pela implementação de políticas de estabilização, com a redução das barreiras tarifárias e não tarifárias. A partir de 2000 a trajetória de crescimento do PIB se mantém estável, na ordem de 4% ao ano.

### 4.3 RECEITA MEDIA POR ASSENTO-KILOMETRO (YIELD)

Um fator determinante nas relações de consumo, além da renda disponível, é o preço de venda de produto, conforme preconizado em 3.3.7. Desta forma, observa-se a necessidade de considerar na modelagem proposta variáveis que reflitam a evolução deste item para o consumidor.

Tradicionalmente, o *Yield* representa a receita média por passageiro-quilômetro transportado, ou ainda, a receita unitária de voo. Esta variável é obtida através da razão entre a receita total dos passageiros e o total de passageiros-quilômetros transportados.

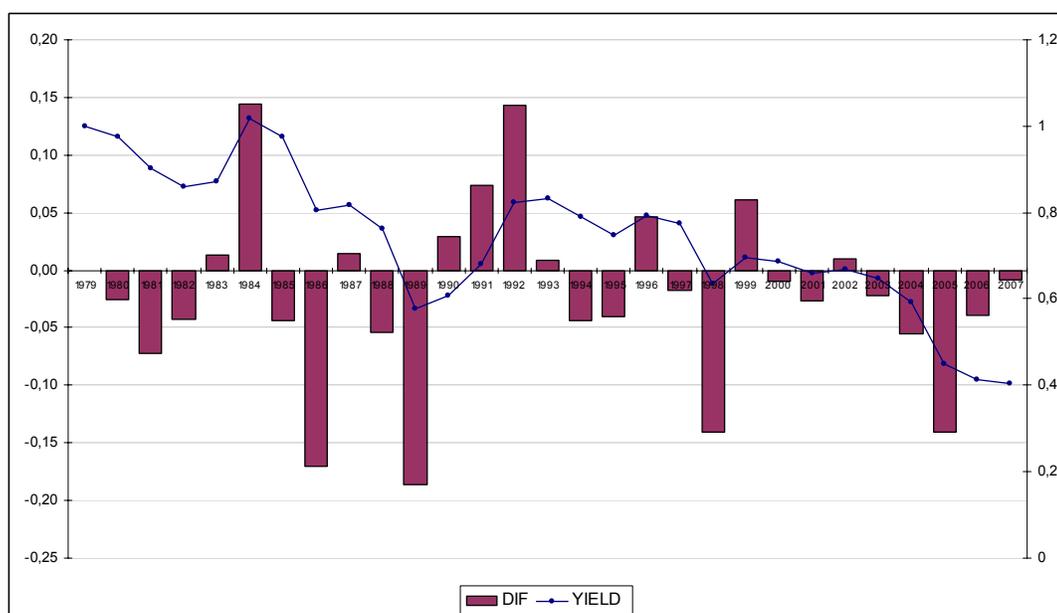
Como reflexo das inovações tecnológicas e das estratégias competitivas de redução de custos, durante o período analisado o *Yield* vêm apresentando comportamento decrescente, em grande parte em função do gerenciamento de preços aplicado pelas empresas. Em linhas genéricas, este gerenciamento se dá em quatro aspectos: Discriminação de Preços, Diferenciação de Produtos, Sistema de Controle de Estoque de Assentos e *Overbooking*.

O chamado Controle de Estoque de Assentos (CEA) é a ferramenta do Gerenciamento de Receitas responsável pela determinação dos limites de assentos a serem alocados em cada classe tarifária, pela definição dos níveis de *overbooking* praticados e, conseqüentemente, pela otimização das receitas geradas pela venda de passagens aéreas.

No que tange à estratégia de *overbooking*, o controle da demanda atua definindo a melhor alternativa a ser adotada em relação à aceitação ou não de novas reservas nos vôos mais demandados, considerando a hipótese de maximização das receitas. A decisão de aceitar ou recusar uma reserva é baseada no número de assentos previamente reservados (SUBRAMANIAN et. al.). Em função da habitual situação de cancelamento e *no-show*, e com o intuito de minimizar as perdas de receitas decorrentes da capacidade ociosa resultante, as empresas aéreas vêm fazendo uso de modelos matemáticos a fim de estabelecer políticas de reservas que permitam otimizar a receita total de passageiros em cada voo oferecido.

Assim, para que os modelos de *overbooking* sejam desenvolvidos, é necessário, inicialmente, entender o comportamento dos passageiros quanto ao período em que este efetua a reserva ou compra do bilhete de passagem, i.e., com que antecedência o passageiro compra seu bilhete de passagem. Em outras palavras, deve-se conhecer o processo de chegada das reservas nos sistemas das empresas aéreas.

Se a estrutura da demanda for estável durante o período de reservas, a maximização da receita é obtida simplesmente através da determinação de preços em níveis apropriados (MC GILL, 1999). Entretanto, esta não é a característica da demanda por transporte aéreo. Sabe-se que a estrutura da demanda deste setor não é estável e também não é uniforme ao longo do processo de reservas. A demanda possui características peculiares representadas pelas diferentes percepções dos usuários em relação aos atributos da viagem – preço, frequência, flexibilidade do bilhete, entre outros – refletindo no comportamento do mesmo quanto à chegada no Sistema de Reservas, ou seja, no tempo de antecedência da data da reserva em relação à data do voo. Assim, tem-se que o desenvolvimento, por parte das companhias aéreas, de uma habilidade de adequadamente prever o processo de chegada nos seus Sistemas de Reservas, é tarefa fundamental para que possam melhor definir os moldes da estratégia de *overbooking* e, em última instância, do próprio Gerenciamento de Receitas adotado.



Fonte: *Anuários do Transporte Aéreo, Volume 2, elaborado pelo autor.*

Figura 4.3: Evolução do *Yield* Doméstico.

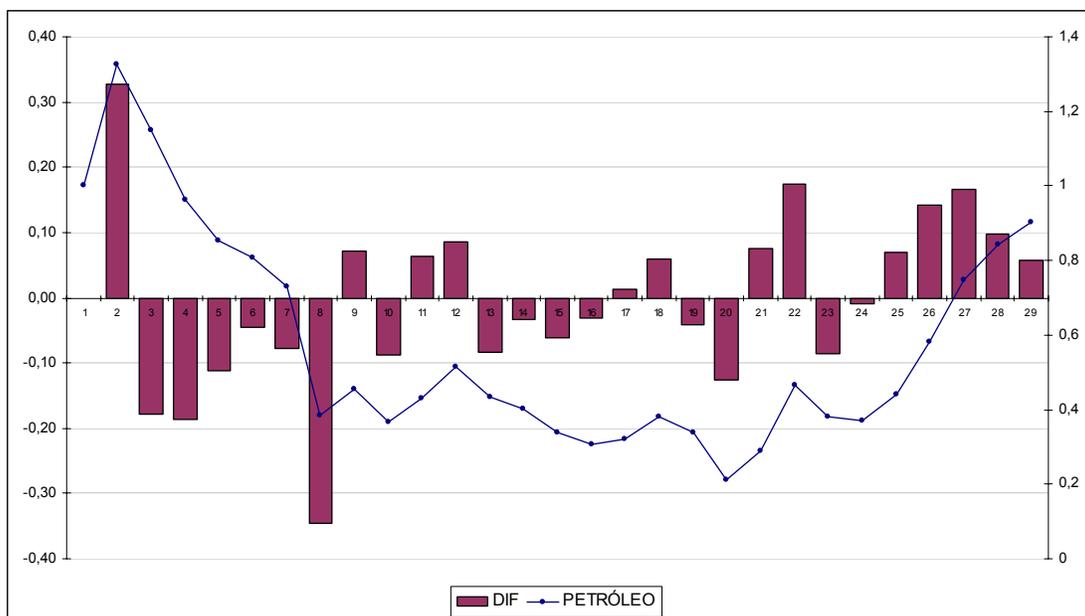
A partir da figura, observa-se que além da tendência de queda, a série apresenta também ciclos estabelecidos em torno desta tendência.

Após um período de redução moderada na década de 90, entre 2001 e 2005, o mercado volta a experimentar forte redução de preços, desta vez como efeito das medidas flexibilizatórias implementadas com a Portaria N° 1.213/DGAC, que liberava o preço das tarifas praticadas e estimulava a competição no mercado doméstico.

Em 2006, apesar da redução na participação da VARIG no mercado, da oferta de vôos cada vez mais concentrada em um número reduzido de empresas e do alto índice de ocupação das aeronaves, o *yield* doméstico manteve sua tendência de queda registrando, em relação a 2005, um decréscimo de 9,4%.

#### **4.4 PREÇO DO PETRÓLEO (PETRÓLEO)**

Conforme exposto em 2.3, o consumo de combustíveis derivados do petróleo, inclusive lubrificantes e querosene de aviação (QAV), é o componente de maior representatividade e participação cada vez mais expressiva no total dos custos das empresas aéreas. O aumento de sua participação se deve, não só ao incremento do volume consumido, mas, principalmente, à elevação dos preços do QAV. A Figura 4.4 apresenta o preço do petróleo do tipo *Brent* no mercado norte-americano, com base nos dados disponibilizados pela *Energy Information Administration* – EIA.



Fonte: Energy Information Administration – EIA

Figura 4.4 – Evolução do preço do Petróleo

Ao longo dos últimos 30 anos o preço do petróleo no mercado internacional oscilou, influenciado não apenas pelo consumo acelerado dessa *commodity* no mercado mundial - sobretudo na China e na Índia -, mas também devido às pressões especulativas exercidas pelos países produtores. Atualmente, os preços se encontram no maior valor nominal da série histórica, embora continuem abaixo do nível registrado após a revolução islâmica iraniana de 1979, se atualizados os valores aos preços correntes (Figura 4.4).

A partir de 1985, com o aumento de produção garantido pela OPEP, os preços acentuaram a tendência de queda registrada após a segunda crise do petróleo e se mantiveram num padrão estável, até o final de 2000. Desde então, o forte crescimento da produção mundial, associado às mais diversas ações desestabilizadoras (atentado terrorista no E.U.A, Invasão das tropas americanas ao Iraque, Furacões no Golfo do México,...) têm acentuado o movimento de alta de preços.

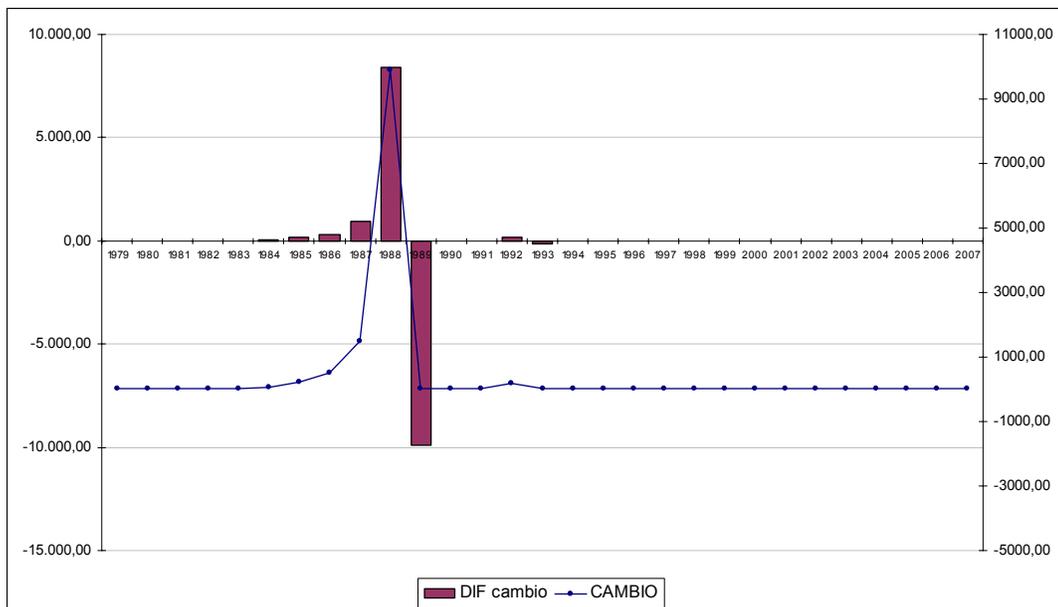
Uma constatação na indústria de aviação é que a maior ou menor disponibilidade de um combustível líquido derivado do petróleo, relativamente barato e adequado à

aviação, terá fortes implicações no futuro do transporte aéreo e nos setores da economia que lhes estão associados.

#### 4.5 TAXA DE CAMBIO (CAMBIO)

Um elemento macroeconômico de forte influência sobre a performance no setor de transporte aéreo doméstico é a taxa de câmbio, dado que os custos de produção são em grande parte atrelados às cotações de moedas internacionais.

A taxa de câmbio de um país pode ser definida com número de unidades de moeda de um país que são necessárias para comprar uma unidade de moeda de outro país. É o preço de uma moeda estrangeira, medido em unidades ou frações da moeda nacional, refletindo dessa forma o custo de uma moeda em relação à outra. O câmbio representa uma das mais importantes variáveis da macroeconomia, sobretudo no que se refere ao comércio internacional. A figura 4.5 mostra a evolução desde 1979 até 2007.



Fonte: IPEADATA.

Figura 4.5 – Evolução da Taxa de Câmbio Real/Dólar.

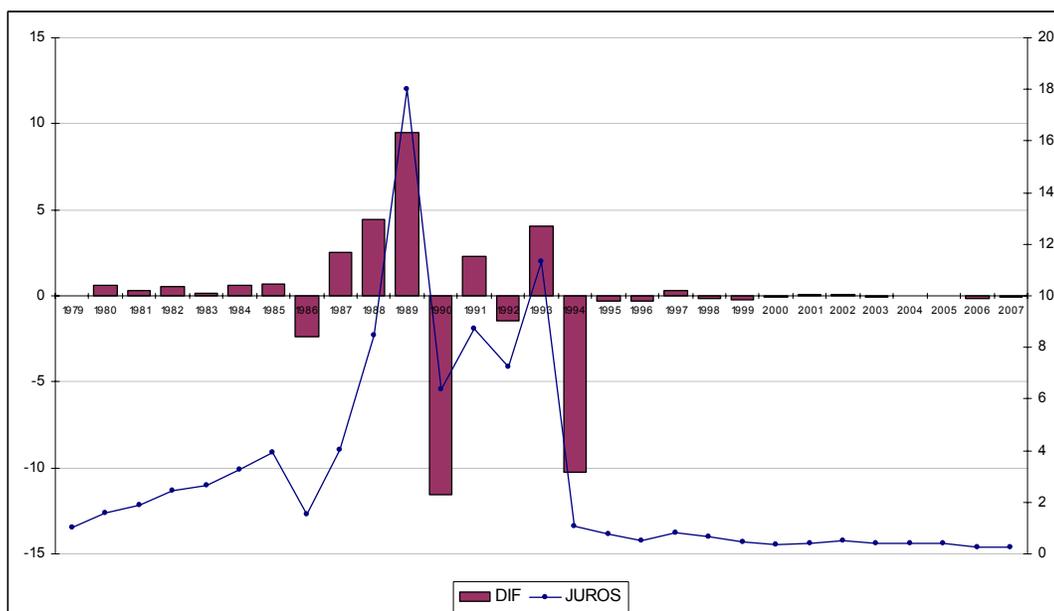
A política cambial adotada pelo governo ao longo dos últimos anos sofreu alterações significativas, na busca da estabilidade monetária. Na primeira metade da década de 80 a proposta visava à manutenção da taxa de câmbio em patamares que garantissem a obtenção de superávits da balança comercial. A partir de então, adotou-se o regime de câmbio fixo (plano Cruzado), mas as elevadas taxas de inflação e conseqüente instabilidade econômica levaram, em 1989, a adoção de um câmbio flutuante, em que as cotações eram determinadas pela interação entre oferta e demanda de divisas, sem uma interferência direta do Banco Central. Inicialmente, eram realizadas pelo câmbio flutuante as operações de turismo internacional.

O período de 1990 a 1994 foi caracterizado pela abertura da economia ao comércio exterior e pela maior liberalização do movimento internacional de capitais e maior liberdade às instituições financeiras nas operações cambiais. No ano seguinte, o país enfrentou a crise cambial mexicana, que provocou a saída de capitais de curto prazo do Brasil. Para evitar a fragilidade da moeda ao *capital especulativo* estrangeiro, o Banco Central elevou as taxas de juros e passou a interferir diretamente no mercado cambial, sendo adotado um sistema em que o câmbio podia variar dentro de certos limites fixados pela autoridade monetária. Seguiram-se ainda, as crises cambiais na Ásia, em 1997, e na Rússia, em 1998, que motivou uma desvalorização da moeda nacional e levou o Banco Central à adoção de um sistema de livre flutuação cambial.

#### **4.6. TAXA META SELIC (JUROS)**

A taxa básica de juros da economia brasileira, definida nas reuniões do Comitê de Política Monetária do Banco Central (COPOM), é conhecida como Selic Meta e representa a taxa de financiamento no mercado interbancário para operações de um dia, que possuem lastro em títulos públicos federais. A *taxa de redesconto*, ou seja, o custo de captação de recursos no mercado doméstico é controlado pelo Comitê a fim de produzir um determinado efeito no cenário macroeconômico, sendo tradicionalmente operada para controlar a demanda agregada.

SIMÕES (2002) destacou indiretamente a importância da taxa de juros da economia sobre a demanda por transporte aéreo, quando identificou que a estabilidade financeira observada no período após o Plano Real facilitou o financiamento de passagens aéreas e estimulou as viagens.



Fonte: IPEADATA.

Figura 4.6 – Evolução da Taxa de Juros.

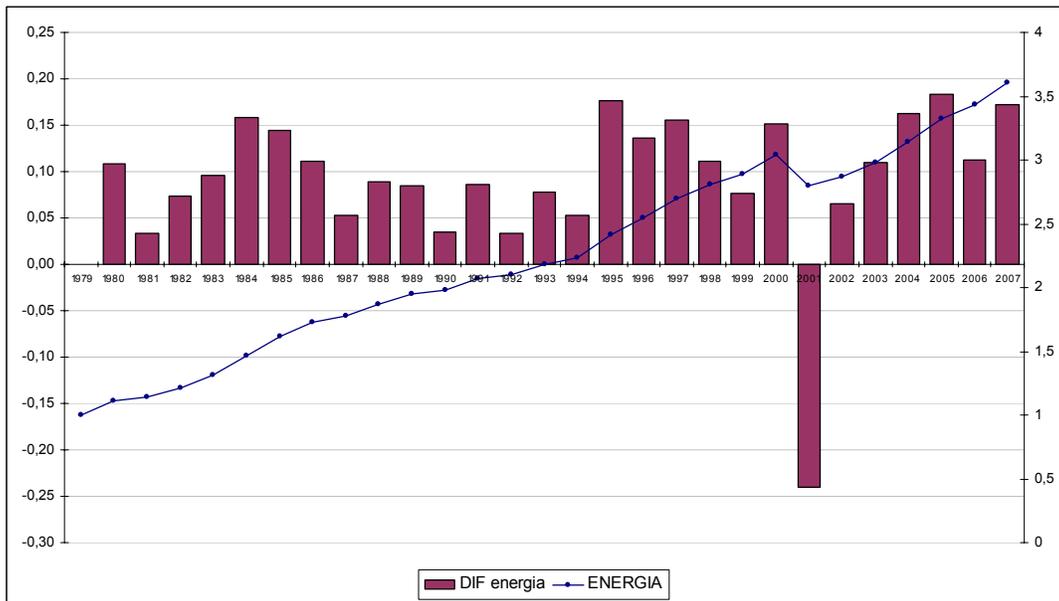
As variações mais expressivas de JUROS são notadas entre a segunda metade da década de 80 e a primeira metade da década de 90, resultado das sucessivas medidas governamentais de combate a inflação. A partir da implementação do Plano Real, a taxa vem apresentando uma lenta redução.

#### 4.7. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (ENERGIA)

Apesar de diversos estudos econométricos fazerem uso das séries de consumo de energia elétrica como *proxies* de crescimento econômico em modelos de demanda por transporte aéreo, a análise da evolução desta variável com relação à economia nacional traz evidências de que a estrutura dinâmica desses indicadores se dá de forma especial:

o consumo de energia elétrica segue trajetória de crescimento permanente superior à evolução da economia.

De fato, a figura 4.7 mostra um comportamento do consumo de energia distinto do observado na série do PIB, apresentado na Figura 4.2 , trazendo indícios da existência de uma componente inercial do mercado de energia elétrica que explica a maior parte de seu crescimento, independente das condições macroeconômicas do País.



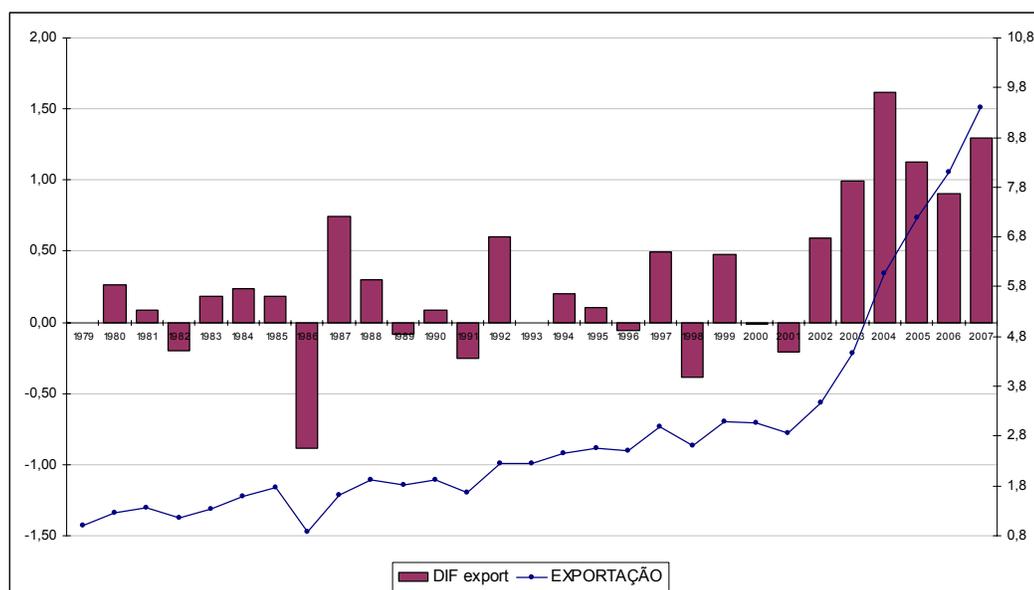
Fonte: IPEADATA.

Figura 4.7 – Evolução do Consumo de Energia Elétrica.

A tendência de crescimento constante observada na série histórica do consumo de energia elétrica apresentou um único momento de retração, dentro do período considerado: o ano de 2001. O chamado “apagão energético” ocorrido nesse ano levou a uma diminuição do consumo de energia, que recuperou sua trajetória anterior a partir do ano seguinte.

#### 4.8. VOLUME DAS EXPORTAÇÕES – R\$ (EXPORTACAO)

O crescimento da quantidade física exportada pelos produtores nacionais, associado ao bom momento dos preços dos produtos básicos exportados pelo Brasil (minério e ferro, soja, celulose, aço, etc) determinou um forte crescimento das exportações nos últimos anos, influenciando a taxa de câmbio e o resultado da economia de forma geral. A Figura 4.8 mostra a evolução desta variável a partir de 1979.



Fonte: IPEADATA.

Figura 4.8 – Evolução das Exportações Brasileiras.

Conforme discutido no capítulo 4.7, desde o início da década, a condição do País de provedor de insumos básicos de produção e alimentos vem favorecendo sobremaneira as exportações brasileiras, frente ao ritmo acelerado de crescimento mundial. Espera-se que sejam observadas evidências de um precedência das exportações sobre a atividade econômica e, por conseqüência, sobre a atividade de transporte aéreo no País.

*“A busca da “verdade” por parte de alguns economistas levou, ao longo dos anos, à idéia de que economistas são pessoas que procuram por um inexistente gato preto em uma sala escura. Os econometricistas são regularmente acusados de encontrá-lo!”*

*Peter Kennedy – A Guide to Econometrics, 1992.*

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA ANÁLISE ECONOMÉTRICA**

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA ANÁLISE ECONOMETRICA

Este item, no qual se faz a análise dos resultados, está dividido em dois tópicos. No primeiro, apresentam-se os testes de raiz unitária, identificando a estacionariedade e/ou ordem de integração das variáveis, além de verificar se é possível a realização dos testes de cointegração. Em seguida são apresentados e discutidos os resultados dos testes de cointegração entre variáveis integradas de mesma ordem e também dos Testes de Causalidade. No segundo tópico são analisados os resultados do modelo Autogressivos Vetoriais com Correção de Erro (VECM) proposto, inclusive com a obtenção da elasticidade da Função de Resposta ao Impulso e a Decomposição da Variância.

### 5.1. MATRIZ DE CORRELAÇÃO

Com o intuito de aprofundar o entendimento das relações existentes entre as variáveis do modelo, foi construído inicialmente uma matriz de correlação entre as variáveis em primeira diferença, para investigar aspectos do seu relacionamento de curto prazo.

QUADRO 5.1 : *Matriz de Correlação entre as Variáveis em Primeira Diferença*

	D_CAMBIO	D_ENERGIA	D_EXPORT	D_JUROS	D_RPK	D_PETROLEO	D_PIB	D_YIELD
D_CAMBIO	1,00	-0,35	-0,29	-0,20	-0,10	-0,14	-0,03	0,15
D_ENERGIA		1,00	0,31	0,11	-0,07	0,25	0,41	-0,09
D_EXPORT			1,00	0,01	-0,04	0,58	0,24	0,16
D_JUROS				1,00	0,03	0,00	0,15	-0,18
D_RPK					1,00	-0,02	0,37	-0,64
D_PETROLEO						1,00	0,30	0,14
D_PIB							1,00	-0,22
D_YIELD								1,00

Fonte: *Resultado do Estudo.*

Ao analisar a correlação das variáveis em primeira diferença, é possível observar alguns resultados relevantes. O alto coeficiente do valor da correlação indica que existe uma relação contemporânea real entre o Yield e o RPK, ou seja, há uma constatação de que variações no preço da passagem se relacionam, no sentido inverso, com a variação na utilização do transporte aéreo no Brasil. Essa observação contraria algumas argumentações correntes no setor, de que o cliente do transporte aéreo é insensível a

preço, tendo em vista a maior participação do *business traveler* entre os viajantes. A argumentação proposta em estudos anteriores é a de que essa classe de passageiros privilegia os horários e freqüência dos vôos em detrimento aos preços.

Os dados analisados indicam também a existência de uma relação simultânea entre a atividade econômica (PIB) e o transporte aéreo, embora em uma medida mais moderada do que a observada com o (*YIELD*).

## 5.2. TESTE DE CAUSALIDADE DE GRANGER

Conforme estabelecido no item 3.3.6., o teste de Causalidade de Granger é inferido para verificar se valores de períodos passados de uma variável  $Y_{1,t}$  tem poder explanatório na regressão da variável  $Y_{2,t}$ , considerando valores passados das variáveis  $Y_{1,t}$  e  $Y_{2,t}$  conjuntamente. O quadro a seguir apresenta os resultados do Teste aplicado às variáveis a serem utilizadas para a modelagem, destacando aquelas nas quais foi rejeitada, com 5% de significância, a hipótese inicial de que uma variável não tem poder explanatório sobre a outra.<sup>6</sup>

Quadro 5.2 : Teste de Causalidade de Granger

<b>Hipótese Nula:</b>	Obs	F-Statistic	Probabilidade
D_RPK não causa D_CAMBIO D_CAMBIO não causa D_RPK	27	0.02048 0.64111	0.88741 0.43116
D_YIELD não causa D_CAMBIO <b>D_CAMBIO não causa D_YIELD</b>	27	1.45722 <b>4.64613</b>	0.23914 <b>0.04137</b>
D_RPK não causa D_ENERGIA D_ENERGIA não causa D_RPK	27	0.08594 3.88687	0.77192 0.06030
D_YIELD não causa D_ENERGIA D_ENERGIA não causa D_YIELD	27	0.25467 1.04267	0.61841 0.31739
<b>D_RPK não causa D_EXPORT</b> <b>D_EXPORT não causa D_RPK</b>	<b>27</b>	<b>4.37607</b> <b>12.2157</b>	<b>0.04720</b> <b>0.00186</b>

<sup>6</sup> Cabe lembrar ao leitor que o termo Causalidade remete ao sentido de precedência temporal e não necessariamente causalção. Esse último deve fundamentar-se em algum postulado, não necessariamente matemático.

Quadro 5.2 : *Teste de Causalidade de Granger (cont.)*

<b>Hipótese Nula:</b>	Obs	F-Statistic	Probabilidade
DIF_YIELD não causa DIF_EXPORT	27	1.25643	0.27342
<b>D_EXPORT não causa D_YIELD</b>		<b>6.66263</b>	<b>0.01638</b>
D_RPK não causa D_JUROS	27	0.96015	0.33692
D_JUROS não causa D_RPK		0.14022	0.71135
D_YIELD não causa D_JUROS	27	0.90728	0.35033
D_JUROS não causa D_YIELD		0.48851	0.49131
<b>D_PETROLEO não causa D_RPK</b>	<b>27</b>	<b>4.80418</b>	<b>0.03833</b>
D_RPK não causa D_PETROLEO		1.08670	0.30759
<b>D_PIB não causa D_RPK</b>	<b>27</b>	<b>4.86604</b>	<b>0.03721</b>
D_RPK não causa D_PIB		0.26944	0.60846
D_YIELD não causa D_RPK	27	0.02899	0.86622
D_RPK não causa D_YIELD		1.10715	0.30318
D_YIELD não causa D_PETROLEO	27	1.69965	0.20470
D_PETROLEO não causa D_YIELD		1.13382	0.29756
D_YIELD não causa D_PIB	27	2.80811	0.10677
<b>D_PIB não causa D_YIELD</b>		<b>5.69581</b>	<b>0.02524</b>

Fonte: *Resultado do Estudo.*

Conforme esperado, os resultados apontam que variações na taxa de cambio (CAMBIO) antecedem variações no preço da passagem (YIELD), assim como um aumento no consumo de energia elétrica (ENERGIA) e no Produto Interno Bruto Brasileiro (PIB) são também indicadores de aumento da demanda por transporte aéreo (RPK). Apesar disso, alguns resultados inesperados também foram verificados:

- Não foi observada a existência de um relacionamento direto entre variações no preço passado do barril de petróleo no mercado norte americano (PETRÓLEO) e variações no preço da passagem aérea no Brasil (YIELD), apesar do custo com combustível corresponder à maior parcela do custo total das empresas aéreas. Por outro lado, verifica-se causalidade entre a variação em PETRÓLEO e a demanda por transporte aéreo (RPK).

- Existe uma relação de *bicausalidade* entre o volume de exportações (EXPORT), que influencia e ao mesmo tempo é influenciado – com menor intensidade – pelo RPK.
- Apesar dos resultados significativos observados na Matriz de Correlação, o Teste de Causalidade de Granger não apontou para um relacionamento entre os valores passados do YIELD e os valores presentes do RPK, o que indica que a transferência de impacto é instantânea, ou seja, num período inferior ao qual os dados foram coletados (anualmente).

### 5.3. TESTE DE ESTACIONARIEDADE DE DICKEY E FULLER

O quadro a seguir apresenta os resultados da aplicação do teste ADF para as variáveis iniciais do modelo: (em nível e em primeira diferença, com intercepto e tendência). Foi constatada a presença de raiz unitária na maioria das variáveis. Apesar de algumas destas possuírem raízes unitárias em nível, nenhuma das variáveis demonstrou possuir raízes unitárias em segunda diferença<sup>7</sup>.

Quadro 5.3: *Teste de Estacionariedade de Dickey-Fuller Aumentado.*

Hipótese nula: existe raiz unitária		
Variáveis	Teste ADF	
	Intercepto	Int. e Tendência
RPK	3,17	0,02
D_RPK	-4,28 <sup>***</sup>	-5,10 <sup>***</sup>
PIB	1,18	-2,64
D_PIB	-4,43 <sup>***</sup>	-3,28 <sup>***</sup>
YIELD	-0,95	-2,22
D_YIELD	-4,51 <sup>***</sup>	-4,43 <sup>***</sup>

7 Caso o teste na segunda especificação – intercepto e tendência – também acuse a existência de um processo não-estacionário, tem-se evidência a favor da presença de tendência estocástica. Ainda com esta especificação, se não houver indicação de raiz unitária, dizemos que a variável é estacionária em tendências (evidência a favor da presença de tendência determinística).

Quadro 5.3: *Teste de Estacionariedade de Dickey-Fuller Aumentado.* (cont.)

<b>Hipótese nula: existe raiz unitária</b>		
<b>Variáveis</b>	<b>Teste ADF</b>	
	Intercepto	Int. e Tendência
JUROS	-2,54	-2,85
D_JUROS	-7,27***	-7,20***
ENERGIA	0,17	-4,55***
D_ENERGIA	-4,63***	-4,57***
CAMBIO	-4,58***	-4,62***
D_CAMBIO	-8,02***	-7,87***
EXPORTACAO	3,85	1,68
D_EXPORTACAO	-3,01***	-4,26***
PETROLEO	-1,41	-0,44
D_PETROLEO	-5,20***	-7,62***

Notas:

1. Estatística-t reportada
2. Níveis de significância: \*10% \*\*5% \*\*\*1%
3. Número de *lags* determinado pelo Critério de Informação Schwarz (CIS)

Fonte: *Resultado do Estudo.*

As exceções são referentes às séries do consumo de energia elétrica e da taxa de câmbio. Os testes indicaram que o consumo de energia elétrica é estacionário em tendência, ou seja, evolui de forma constante em torno de uma tendência determinística, enquanto a taxa de câmbio, apesar da volatilidade observada na década de 80, não apresenta qualquer tipo de tendência e foi considerada estacionária em nível pelos resultados do teste.

## 5.4 COINTEGRAÇÃO

Uma vez identificada a não-estacionariedade das variáveis, o interesse da análise é verificar se existe uma combinação linear das séries que é  $I(0)$  - o que é denominado de cointegração. Esta é uma condição suficiente para que as séries, embora sejam isoladamente não estacionárias, possuam um atrator, ou seja, guardem uma relação de longo prazo que os mantém próximos. A hipótese nula a ser testada é a de que existe um determinado número de equações de cointegração, contra a hipótese alternativa de que todas as séries são estacionárias.

Tendo em vista que a série de CAMBIO foi identificada como estacionária em nível,  $I(0)$ , não será contemplada no teste de cointegração. A variável ENERGIA foi identificada como possuindo uma tendência estacionária, ou seja, evolui de forma constante ao longo do tempo, o que indica a inexistência de cointegração com as outras variáveis. Esta propriedade – tendência determinística - é particularmente rara em fenômenos de natureza econômica e faz com que a série de consumo de energia tenha o efeito de uma *variável-calendário* nos modelos de regressão.

O Quadro 5.4 apresenta os resultados do teste proposto por JOHANSEN (1988). Tipicamente, os resultados desse teste são sensíveis a alterações e estimativas conflitantes não são incomuns. Nessa análise, foram testados diferentes especificações e observado o resultado dominante.

Quadro 5.4: Resultados do Teste de Cointegração.

Hipótese de Tendência	Nenhuma	Nenhuma	Linear	Linear	Quadratica
Tipo de Teste	Nenhum intercepto	Intercepto	Intercepto	Intercepto	Intercepto
	Nenhuma Tendência	Nenhuma Tendência	Nenhuma Tendência	Tendência	Tendência
Estatística Traço	2	4	6	3	3
Máximo Autovalor	1	2	2	3	1
*Valores Críticos baseados em MacKinnon-Haug-Michelis (1999)					

Fonte: Resultado do Estudo.

A tabela acima deixa claro que não há um resultado único. Porém, o resultado dominante é a favor da existência de um equilíbrio de longo prazo entre as variáveis. Desta forma, é razoável assumir que existe um vetor de cointegração, o que permite a

construção de um modelo de correção de erro (ECM) com a incorporação dos elementos comuns de longo prazo na análise. De acordo com HAMILTON (1994), de todas as relações de cointegração possíveis, a estimação dos seus parâmetros pelo método do MQO seleciona aquela cujos resíduos são não correlacionados com qualquer outra combinação linear das variáveis  $I(1)$ .

### **5.5. ECM, ANÁLISE DA RESPOSTA AO IMPULSO E DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA.**

A tentativa de estimar o modelo ECM utilizando todas as variáveis analisadas nesta pesquisa se tornaria infrutífera, tendo em vista a restrição de dados disponíveis para dar suporte a um modelo com muitos parâmetros. Desta forma, o sistema ECM foi construído tendo como premissa utilizar o menor número de variáveis possíveis, selecionando aquelas que maximizassem o poder de explicação do modelo.

De acordo com o arcabouço teórico acerca da metodologia de Vetores Autoregressivos, os modelos devem ser o menos restrito possível. Assim, optou-se por não impor qualquer restrição prévia acerca da relação entre as variáveis no modelo a ser construído;

Inicialmente, as variáveis CAMBIO e ENERGIA foram desconsideradas por não apresentarem a mesma ordem de integração do RPK,  $I(1)$ . Da mesma forma, as variáveis YIELD e JUROS inicialmente não apresentaram poder preditivo sobre a variável de interesse, segundo os testes de Causalidade apresentados em 5.2, embora a interação conjunta das variáveis (multivariado) se dê de forma mais complexa do que no teste de causalidade de Granger (bivariado). Desta forma o ECM especificado utiliza somente as variáveis RPK, PIB, PETROLEO e JUROS, todas estas em forma de logaritmo natural<sup>8</sup>, sendo definido pelo seguinte sistema de equações:

---

<sup>8</sup> Muitas das séries macroeconômicas parecem ser melhor caracterizadas por uma tendência exponencial que linear, exibindo um crescimento proporcional constante, ou seja  $Y_t = e^{\lambda t}$ . Assim, ao tomar o logaritmo natural da tendência exponencial, tem-se uma tendência linear. Hamilton (1994) sugere que se tome o logaritmo antes de aplicar a primeira diferença, pois a primeira diferença do logaritmo da variável se torna, aproximadamente, sua própria variação percentual.

$$\begin{aligned}
DRPK_t &= \alpha_1 + \sum_i \alpha_{11}(i) \cdot DRPK_{t-i} + \sum_i \alpha_{12}(i) \cdot DPIB_{t-i} + \dots + \sum_i \alpha_{14}(i) \cdot DJUROS_{t-i} + \beta_1 \cdot Z_{t-1} \\
DPIB_t &= \alpha_2 + \sum_i \alpha_{21}(i) \cdot DRPK_{t-i} + \sum_i \alpha_{22}(i) \cdot DPIB_{t-i} + \dots + \sum_i \alpha_{24}(i) \cdot DJUROS_{t-i} + \beta_2 \cdot Z_{t-1} \\
DPETRO_t &= \alpha_3 + \sum_i \alpha_{31}(i) \cdot DRPK_{t-i} + \sum_i \alpha_{32}(i) \cdot DPIB_{t-i} + \dots + \sum_i \alpha_{34}(i) \cdot DJUROS_{t-i} + \beta_3 \cdot Z_{t-1} \\
DJUROS_t &= \alpha_4 + \sum_i \alpha_{41}(i) \cdot DRPK_{t-i} + \sum_i \alpha_{42}(i) \cdot DPIB_{t-i} + \dots + \sum_i \alpha_{44}(i) \cdot DJUROS_{t-i} + \beta_4 \cdot Z_{t-1}
\end{aligned}$$

onde  $DY_{i,t}$  são as diferenças nestas variáveis, que capturam suas perturbações de curto prazo e  $Z_{t-1}$  é o termo de correção do erro, que é derivado da relação de cointegração e mede a magnitude do desequilíbrio passado.

Com o objetivo de avaliar a qualidade do ECM estimado, e levando em consideração a existência de defasagens em cada equação, não é fácil interpretar cada coeficiente, em especial quando os sinais dos coeficientes se alternam ao longo do tempo. Por esta razão, é necessário examinar (i) os indicadores de ajustamento do modelo; (ii) a Função de Resposta ao Impulso na modelagem VAR para verificar como a variável de interesse responde a um choque administrado a uma ou mais equações do sistema; (iii) a Função de Decomposição da Variância, que decompõe a variância do erro da previsão para cada variável em componentes que podem ser atribuídos a cada uma das variáveis do sistema.

i. *indicadores de ajustamento do modelo:*

A qualidade do ajustamento pode ser medida pelo  $R^2$ , que representa a proporção da variável de interesse que é explicada pelos regressores, e tem valor entre 0 e 1. É possível notar que, uma vez que o ECM trabalha com as séries em primeira diferença, algumas das variáveis apresentaram valor expressivo desta medida, especialmente o RPK.

Quadro 5.5 : *Qualidade do ECM ajustado*

Error Correction:	D(LN RPK)	D(LN PIB)	D(LN PETROLEO)	D(LN JUROS)
R <sup>2</sup>	0.91	0.74	0.31	0.52
Adj. R <sup>2</sup>	0.80	0.43	-0.51	-0.03
SQR	0.03	0.01	1.00	5.17
S.E. equation	0.05	0.02	0.30	0.68
F-statistic	8.41	2.41	0.37	0.94
Log likelihood	46.7	70.63	4.64	-15.77
Schwarz SC	-1.93	-3.84	1.43	3.06

Fonte: *Resultado do Estudo*.

Com relação à estatística F<sup>9</sup>, os valores acima de 4 podem ser considerados bons indicadores de ajuste, como no caso da variável RPK. A Soma do Quadrado dos Resíduos mostrou ainda que a variável JUROS apresenta o pior valor, corroborando a constatação feita na análise gráfica de que, dentre as variáveis utilizadas no ECM, essa é a que apresenta um comportamento diferente das demais.

O quadro apresentado em anexo traz os coeficientes estimados pelo Modelo de Correção de Erros. A partir deste, se depreende que a relação entre as variáveis não é homogênea no tempo, tendo em vista que os coeficientes não têm o mesmo sinal, quando considerados em diferentes períodos. Entretanto, a interação dinâmica entre as variáveis exige que a análise das relações temporais seja feita através da Função de Resposta ao Impulso.

ii. *Função de Resposta ao Impulso:*

Além da relação de causalidade, no sentido de Granger, é interessante também saber a intensidade com que as variáveis respondem a impulsos entre si *ceteris paribus* (um exercício de estática comparativa). Essa avaliação é denominada Análise de Resposta ao Impulso (IRF).

---

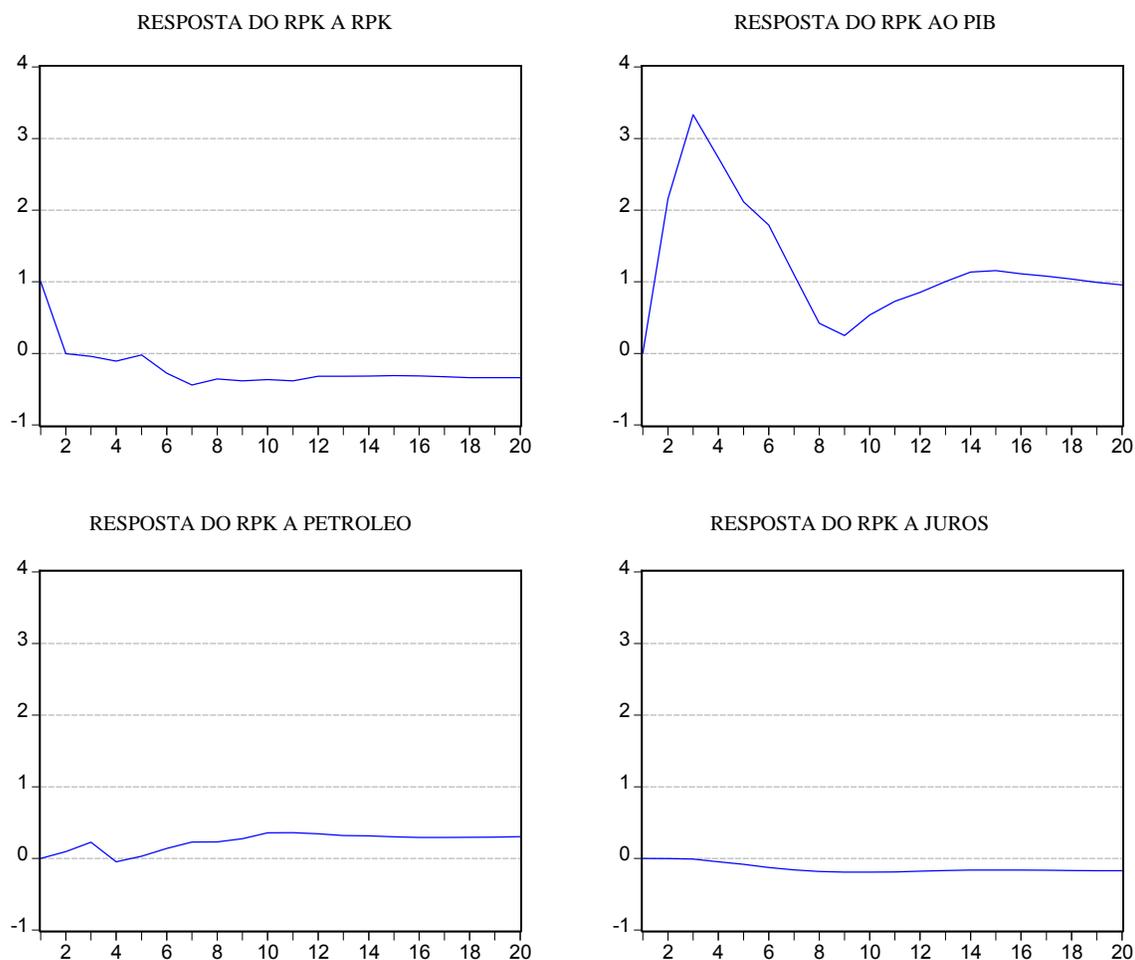
<sup>9</sup> A estatística F é dada por:  $F = (N - k) \frac{(SQR_R - SQR_{IR})}{q(SQR_{IR})}$ , em que  $SQR_R$  e  $SQR_{IR}$  são a soma dos

quadrados dos resíduos nas equações restrita e irrestrita, respectivamente.  $N$  é o número de observações;  $k$  é o número de parâmetros estimados na equação irrestrita;  $q$  é o número de restrição de parâmetros. Essa estatística tem distribuição  $F = (q, N - k)$

Uma vez que as séries defasadas são tratadas como variáveis explicativas do modelo, um choque em uma das variáveis não afeta diretamente apenas a si mesma. O efeito é também transmitido a todas as outras variáveis endógenas através da estrutura dinâmica do sistema. A IRF traça o efeito de um impacto no termo do erro (inovação) de uma das variáveis sobre o valor atual e futuro das variáveis endógenas.

Se as inovações  $\varepsilon_t$  são simultaneamente não-correlacionadas, a interpretação da função impulso-resposta é direta. A  $i$ -ésima inovação  $\varepsilon_t$  é simplesmente um choque na  $i$ -ésima variável endógena  $Y_{i,t}$ . As inovações, entretanto, são geralmente correlacionadas e podem ser vistas como tendo uma componente comum que não pode ser associada com uma variável específica. Assim, pela análise da IRF do RPK em relação às outras variáveis testou-se as seguintes hipóteses: (i) O RPK responde positivamente a uma inovação nas demais variáveis; (ii) A resposta do RPK a qualquer inovação tende a reduzir-se com o tempo, indicando que estes choques são transitórios.

A Figura 5.1 apresenta a análise da IRF para um horizonte de 20 períodos. Constata-se que RPK reage fortemente a um choque em PIB de forma defasada, ou seja, não há indícios de que um impacto no PIB cause efeito instantâneo sobre a demanda por transporte aéreo, mas sim nos períodos subsequentes. O ápice desse impacto, no curto prazo, é registrado em 2 anos ( $t+2$ ). A partir desse ponto, a influência deste choque perde significância e se mantém constante a partir do 10º período, indicando que variações no PIB efetivamente deslocam a trajetória da demanda de forma permanente.



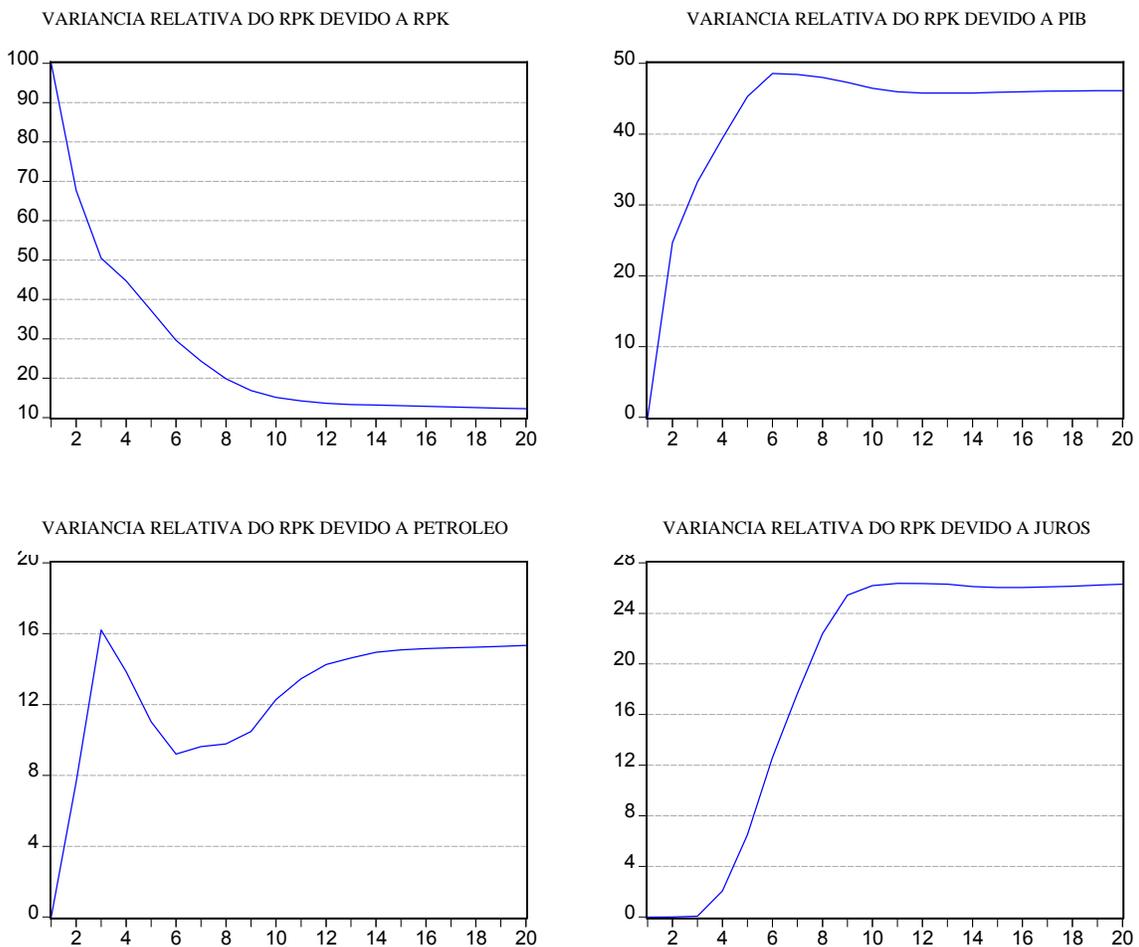
Fonte: Resultado do Estudo.

Figura 5.1– Função de Resposta ao Impulso.

As demais variáveis influenciam o RPK de forma menos significativa. Um choque na taxa de juros produz uma redução permanente na demanda por transporte, enquanto uma variação positiva no preço do petróleo se relaciona de forma permanente na demanda, provavelmente por ser essa variável (PETROLEO) associada ao crescimento da economia mundial. A conclusão mais importante extraída da análise da Função de Resposta ao Impulso é a contribuição do PIB no comportamento da demanda por transporte aéreo, sendo verificado empiricamente a magnitude e o tempo de resposta de choques nesta variável, dado que sistema esteja em equilíbrio.

### iii. Análise da Decomposição da Variância

Se as inovações ocorridas no sistema podem ser identificadas, uma outra ferramenta pode ser utilizada para interpretar modelos VAR. É possível, nesse caso, aplicar a Decomposição da Variância do Erro de Previsão. Essa ferramenta fornece a proporção da variância de uma série que é devida a choques nela mesma contra choques de outras variáveis.



Fonte: Resultado do Estudo.

Figura 5.2– Análise da Decomposição da Variância.

A Figura 5.2 traz os gráficos da decomposição da variância do erro de previsão. Os resultados são coerentes com a análise da IRF, pois indicam que o PIB é responsável pela maior parcela do erro de previsão (50%) que ocorre na estimativa do RPK, com uma contribuição crescente ao longo do tempo.

## **6. CONCLUSÕES**

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e testar empiricamente um modelo de Vetores Auto-regressivos (VAR), baseado em variáveis de transporte aéreo e variáveis macroeconômicas, que explicasse o comportamento da demanda por transporte aéreo no Brasil. Este tipo de modelagem permite uma abordagem econométrica apropriada ao estudo de séries não-estacionárias, tendo em vista que a visão tradicional de modelos de regressão para esse tipo de série, pode conduzir ao problema que se convencionou chamar de regressão espúria. Os resultados se mostraram promissores, tendo em vista a robustez e qualidade de ajustamento do modelo, mesmo estando o escopo do estudo limitado ao período compreendido entre 1979 e 2007.

Inicialmente, a pesquisa buscou utilizar variáveis previamente identificadas em estudos anteriores como sendo influentes na demanda por transporte aéreo, estabelecendo, com base na teoria do consumo neoclássica, algumas hipóteses pertinentes à interação entre as variáveis analisadas, de forma dar suporte às propriedades ateóricas do modelo VAR.

Ao analisar a matriz de correlação das variáveis em primeira diferença verificou-se a existência de uma relação contemporânea entre o Yield e o RPK, na qual variações no preço da passagem se relacionam, no sentido inverso, com a utilização do transporte aéreo no Brasil. Essa observação contraria a argumentação corrente de que o cliente do transporte aéreo é insensível a preço, tendo em vista a maior participação do *business traveler* entre os viajantes. Os dados analisados indicaram também a existência de uma relação simultânea entre a atividade econômica (PIB) e o transporte aéreo, embora em uma medida mais moderada do que a observada com o Yield doméstico.

Conforme esperado, os resultados do teste de causalidade apontam que variações na taxa de cambio antecedem variações no preço da passagem, assim como um aumento no Produto Interno Bruto Brasileiro é também um indicador de aumento da demanda por transporte aéreo. Por outro lado, não foi observada a existência de um relacionamento direto entre variações no preço passado do barril de petróleo e variações no preço da passagem aérea no Brasil, apesar do custo com combustível corresponder à maior parcela do custo total das empresas aéreas. Além disso, o Teste de Causalidade de

Granger não apontou para um relacionamento entre os valores passados do YIELD e os valores presentes do RPK, o que indica que a transferência de impacto pode ser instantânea, ou seja, num período inferior a um ano.

Para verificar se as séries consideradas explicativas da demanda por transporte aéreo guardam entre si uma relação de equilíbrio de longo-prazo, foram realizados os testes de Cointegração, apenas com as variáveis identificadas como não-estacionárias, desconsiderando-se, desta forma, as séries de Taxa de Cambio e Consumo de Energia Elétrica, que não apresentavam tal propriedade.

A constatação de que a série de consumo de energia elétrica tem uma tendência determinística é particularmente interessante, porque indica que seu uso como variável explicativa se restringe aos mesmos efeitos causados por uma *variável-calendário* nos modelos de regressão.

Os resultados sugerem que as séries de demanda por transporte aéreo, crescimento econômico, taxa de juros, preço do petróleo e yield são estacionárias em primeira diferença e cointegram, ou seja, existe um equilíbrio de longo prazo entre as variáveis. Isso permitiu a construção de um Modelo de Correção de Erros que incorporasse não apenas a dinâmica de curto prazo, mas também os elementos comuns de longo prazo entre as variáveis selecionadas. A análise da IRF indica que um choque no PIB demora 2 anos para atingir seu impacto máximo sobre RPK, observação corroborada também pela análise da Decomposição da Variância, que descreveu a variação no PIB como a maior responsável pelo erro de previsão no RPK.

Em particular, seria interessante reproduzir algumas estimativas com dados em frequência mais alta, preferencialmente trimestrais ou mensais. É provável que a defasagem entre o YIELD e RPK seja inferior a 12 meses, o que não pode ser captado com dados anuais. A inclusão da variável preço (YIELD) no modelo ECM potencializaria seu poder explicativo, caso essa relação fosse confirmada.

No atual cenário de forte crescimento da aviação civil no Brasil e no mundo, torna-se cada vez mais importante a elaboração de planejamento de longo prazo que viabilize a expansão do setor. No entendimento deste autor, esforços na área de previsão de

demanda são essenciais por servirem de base para qualquer decisão de investimento. Espera-se que os resultados encontrados contribuam nessa direção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABED, S. Y.; BA-FAIL, A. O. and JASIMUDDIN, S. M., 2001. "An Econometric Analysis of International Air Travel Demand in Saudi Arabia". *Journal of Air Transport Management*.
- ALAM, M. J. B. and KARIM D. M., 1998 "Air Travel Demand Model for Domestic Air Transportattion in Bangladesh". *Journal of Civil Engineering*, v. 26, no. 1, pp. 1-16
- ALVES, L. R. A., 2002. *Transmissão de Preços entre Produtos do Setor Sucro-Alcooleiro de Estado de SP*. Dissertação de M.Sc. Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba, SP, Brasil.
- ANAC, 2007. *Anuário do Transporte Aéreo – 2007, vol 1*. Agência Nacional de Aviação Civil, Ministério da Defesa, Brasília, DF, Brasil.
- ANAC, 2007. *Anuário Estatístico do Transporte Aéreo – 2007, vol 2*. Agência Nacional de Aviação Civil, Ministério da Defesa, Brasília, DF, Brasil.
- ANAC, 2008. *Diagnóstico do Transporte Aéreo*, Agência Nacional de Aviação Civil, Ministério da Defesa, Brasília, DF, Brasil.
- ARAÚJO, A. H. JR., 2007. *Análise da Produtividade do Transporte Aéreo*. Tese de D.Sc., Politécnica/USP, São Paulo, SP, Brasil.
- BATTERSBY, B. and OCZOWSKI, E., 2001. "An econometric analysis of the demand for domestic air travel in Australia". *International Journal of Transport Economics*, v. 28, no. 2, p. 193-204.
- BHADRA, D. 2003; "Demand for Air Travel in the United States: Bottom-up Econometric Estimation and Implications for Forecasts by Origin and Destination Pairs". *Journal of Air Transportation*, v. 8, no. 2, p. 20-56.

- CÂNDIDO, J. O. JR. 2006. *Efeitos do investimento público sobre o produto e a produtividade: uma análise empírica*. Texto para discussão n. 1024. IPEA. Brasília, 41 p.
- CUNHA, M. S. (2001) *Raiz unitária e cointegração: três aplicações*. Disponível on-line em [http:// www.unb.br/face/eco/textos/cointegracao.pdf](http://www.unb.br/face/eco/textos/cointegracao.pdf),
- DAVIDSON, R. e MACKINON, J. G., 2004 *Econometric Theory and Methods*, Oxford University Press.
- DICKEY, D.A. and FULLER, W.A. (1981). "Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root". *Econometrica*, 49. pp 1057-1072
- DRESNER, M.; LIN, J. C. and WINDLE R. (1996) "The Impact of Low Cost Carriers on Airport and Route Competition". *Journal of Transport Economics and Policy*, Maryland, v. 30, no. 3, p. 309-328.
- ENDERS, W., 1995. *Applied Econometric Time Series*, New York. John Wiley and Sons, Inc.
- ENGLE, R. F. and GRANGER, C.J. (1982). "Cointegration and Error Correction: Presentation, Estimation and Testing". *Econometrica*, 50, pp. 987-1007.
- FREGNANI, J. A. T. G. ; MULLER, C. ; CORREIA, A. R. . 2008; "Um Modelo para a Minimização dos Custos Totais de Abastecimento Considerando as Múltiplas Escalas das Aeronaves nas Rotas de uma Empresa Aérea Doméstica Brasileira". In: Confederação Nacional do Transporte. (Org.). *Transporte em Transformação XII*. 1 ed. Brasília: Positiva, v. 1, p. 83-104.
- GREENE, W., 2003. *Econometric Analysis*, 5<sup>th</sup> Edition, Prentice Hall.
- GUJARATI, D. N., 2008. *Econometria Básica*. 4 ed. São Paulo. Makron Books
- HAMILTON, J.D. *Time Series Analysis*, 2 ed, Princeton University Press, 1994

- HARRIS, R.I.D., 1995. *Using Cointegration Analysis in Econometric Modelling.* London.
- IATA, 2006; *Corporate Air Travel Survey*; International Air Transport Association; Montreal; Canadá.
- INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL (1998); *Demanda Global*. 1ª ed. Rio de Janeiro.
- INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL (2002); *Fluxo de Passageiros nas Ligações Aéreas Nacionais*. 1ª ed. Rio de Janeiro.
- INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL (2003); *Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros*. 1ª ed. Rio de Janeiro.
- INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. *Corporate Air Travel Survey* (full report). Montreal. 2006.
- JOHANSEN, S. e JOSELIUS, K. (1990). *Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration with Application to the Demand for Money*. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 52, pp. 169-209.
- KARIM, D. M., IEDA, H., ALAM, J. B., “Macroscopic Modeling for Regional Air Travel Demand to Analyze the Potential of Hub-Spoke Air Transport System in South Asia”. *World Conference on Transport Research (WCTR)*, 1245, Seoul, South Korea, July 2001.
- KENDALL, M. G., STUART, A., 1977; *The advanced theory of statistics*. 3 ed.; Charles Griffin & Company Limited; Londres, Inglaterra.
- KENNEDY, P. 1992. *A Guide to Econometrics*. Oxford: Blackwell.
- NJEGOVAN, N. (2004). *Are Shocks to Air Passenger Traffic Permanent or Transitory? Evidence from UK Data* 7<sup>th</sup> Hamburg Aviation Conference. Hamburgo, Alemanha.
- MADDALA, G.S. 1992; *Introduction to econometrics*. 2 ed, USA: Prentice Hall.

- MARAZZO, M.; LEAL, L. H. C. e PESSANHA, J. F. M.; 2005. “Uma Aplicação de Modelos de Séries Temporais na Previsão da Demanda Por Transporte Aéreo de Passageiros”. *Anais do XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Recife, v. 1, p. 475–484.
- MARAZZO, M. A. S.. SCHERRE, R. P., FERNANDES, E., et. al.; “Air Transportation Demand and Economic Growth in Brazil: A Time Series Analysis”. *Air Transport Research Society Conference*; 166, Athens, Greece, 6-10 July 2008.
- MC GILL, J., e VAN RYZIN, G. J. 1999. “Revenue management: research overview and prospects”. *Transportation Science*, 33, pp.233-356
- O’CONNOR, W. E., 1985. *An Introduction to Airline Economics*. 5ª ed. Londres, Editora Praeger.
- OMS; 2007; *World Report on Road Traffic Injury Prevention*; World Healthy Organization; Genebra; Suíça.
- OLIVEIRA, A. V. M. (2005) *Performance dos Regulados e Eficácia do Regulador: Uma Avaliação das Políticas Regulatórias do Transporte Aéreo e dos Desafios para o Futuro*. Documento de Trabalho N. 007 – Acervo Científico do Núcleo de Estudos em Competição e Regulação do Transporte Aéreo (NECTAR). São José dos Campos, SP
- OLIVEIRA, A. V. M. e TUROLLA, F. A. (2005) *Competição, Colusão e Antitruste: Estimação da Conduta Competitiva de Companhias Aéreas*. Documento de Trabalho N. 003 – Acervo Científico do Núcleo de Estudos em Competição e Regulação do Transporte Aéreo (NECTAR). São José dos Campos, SP.
- PALHARES, G. L., ESPÍRITO SANTO JR., R. A., 1999, *Impactos Econômicos e os Efeitos Multiplicadores dos Aeroportos*. In: Transporte em Transformação IV - Trabalhos Vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica 1999, Capítulo 7. ed. São Paulo : Makron Books Ltda, 2001: 101-116.

- PINHEIRO, A. e AMIN, M. 2005; “Fluxo de Capitais e Componentes Macroeconômicos: Análise das Inter-relações Através da aplicação de um Modelo de Vetores Auto-regressivos (VAR)” In: XXXIII Encontro Nacional de Economia - ANPEC, 2005, Natal, R.N..
- RAMANATHAN, R. 2001; “The long-run behaviour of transport performance in India: a cointegration approach”, *Transportation Research*, 35, pp. 309-312.
- TREATHEWAY (2004); “Distortions of Airline Revenues: Why the Network Airline Business model is broken”. *Journal of Air Transport Management*.
- SIMÕES, A. F. (2003) *O Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais: Emissões de CO2 e Alternativas de Mitigação*. Tese de D.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SIMS, C.A. 1980; “Macroeconomics and Reality”, *Econometrica*, 48.
- SUBRAMANIAN, J., STIDHAM, S., Jr., & LAUTEMBACHER, C. J. 1999. “Airline yield management with overbooking, cancellations e no-shows”. *Transportation Science*, 33, pp. 147-167.
- YUAN, Jiahai; ZHAO, Changhong; YU, Shunkun; HU Zhaoguang (2007). “Electricity consumption and economic growth in China: Cointegration and co-feature analysis”. *Energy Economics*, 29, pp. 1179-1191.
- VAN DOORNIK, B. F. N., 2007, “Modelagem Econométrico-Financeira de uma empresa baseada em Vetores Auto-Regressivos: Uma aplicação à Petrobrás S.A”. Dissertação de M.Sc.,FACE/UNB, Brasília, DF, Brasil.
- ZOGRAFOS, K.G. and MADAS, M.A (2003) “Critical assessment of Airport Demand: Management Strategies in Europe and the United States”. *Transportation Research*,1850, pp. 41-48.

**ANEXO**

## ANEXO. Estimativas dos Parâmetros do ECM

Vector Error Correction Estimates				
Date: 09/27/08 Time: 01:19				
Sample (adjusted): 1983 2007				
Included observations: 25 after adjustments				
Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]				
Cointegrating Eq:	CointEq1			
RPK(-1)	1.000000			
PIB(-1)	-2.149224 (0.19616) [-10.9564]			
PETROLEO(-1)	-0.263371 (0.04956) [-5.31435]			
JUROS(-1)	0.122749 (0.02060) [ 5.95846]			
C	-0.176222			
Error Correction:	D(RPK)	D(PIB)	D(PETROLEO)	D(JUROS)
CointEq1	-0.610328 (0.11913) [-5.12318]	-0.069070 (0.04567) [-1.51252]	-0.024993 (0.63968) [-0.03907]	0.763738 (1.44784) [ 0.52750]
D(RPK(-1))	-0.393334 (0.16645) [-2.36306]	-0.080703 (0.06380) [-1.26484]	0.904377 (0.89378) [ 1.01186]	-0.672772 (2.02294) [-0.33257]
D(RPK(-2))	-0.195053 (0.19171) [-1.01743]	0.124657 (0.07349) [ 1.69631]	-0.161184 (1.02942) [-0.15658]	4.076121 (2.32995) [ 1.74945]
D(RPK(-3))	-0.341000 (0.17585) [-1.93912]	-0.043491 (0.06741) [-0.64519]	0.409010 (0.94426) [ 0.43315]	1.331593 (2.13721) [ 0.62305]
D(PIB(-1))	0.847537 (0.64993)	0.432655 (0.24913)	-2.895173 (3.48985)	2.851397 (7.89883)

	[ 1.30405]	[ 1.73665]	[-0.82960]	[ 0.36099]
D(PIB(-2))	1.048688 (0.67213) [ 1.56025]	-0.103773 (0.25764) [-0.40278]	-0.421176 (3.60906) [-0.11670]	-1.136310 (8.16865) [-0.13911]
D(PIB(-3))	0.169529 (0.50218) [ 0.33759]	-0.513832 (0.19250) [-2.66932]	1.785216 (2.69649) [ 0.66205]	-0.269454 (6.10315) [-0.04415]
D(PETROLEO(-1))	-0.064526 (0.06988) [-0.92342]	-0.060736 (0.02679) [-2.26750]	0.210133 (0.37521) [ 0.56004]	-0.555914 (0.84925) [-0.65460]
D(PETROLEO(-2))	0.136929 (0.06845) [ 2.00048]	0.027852 (0.02624) [ 1.06151]	-0.355603 (0.36754) [-0.96753]	0.892896 (0.83188) [ 1.07335]
D(PETROLEO(-3))	-0.180691 (0.08122) [-2.22470]	-0.061017 (0.03113) [-1.95983]	0.079878 (0.43612) [ 0.18316]	-0.738283 (0.98711) [-0.74793]
D(JUROS(-1))	0.074230 (0.02657) [ 2.79337]	0.009075 (0.01019) [ 0.89096]	-0.122521 (0.14269) [-0.85866]	-0.146529 (0.32296) [-0.45371]
D(JUROS(-2))	0.077807 (0.01998) [ 3.89361]	0.005501 (0.00766) [ 0.71812]	0.036776 (0.10730) [ 0.34273]	0.048639 (0.24286) [ 0.20027]
D(JUROS(-3))	0.057709 (0.02427) [ 2.37740]	0.001753 (0.00930) [ 0.18838]	0.017829 (0.13034) [ 0.13678]	-0.217423 (0.29501) [-0.73700]
C	0.066721 (0.02262) [ 2.94927]	0.029481 (0.00867) [ 3.39964]	-0.036094 (0.12148) [-0.29713]	-0.389014 (0.27495) [-1.41487]
Determinant resid covariance (dof adj.)		1.42E-08		
Determinant resid covariance		5.31E-10		
Log likelihood		125.0696		
Akaike information criterion		-5.205571		
Schwarz criterion		-2.280269		