

UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Luiz Rodrigo Bonette

**ANÁLISE DO IMPACTO DA VARIABILIDADE DA DEMANDA DE
MOVIMENTAÇÃO DE PASSAGEIROS E DE CARGA DO MODAL
AÉREO PARA O DIMENSIONAMENTO DE *HUBS* REGIONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

Prof. Dr. Walther Azzolini Junior
Orientador
Prof. Dr. Jorge Alberto Achcar
Coorientador

Araraquara, SP – Brasil
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

B695a Bonette, Luiz Rodrigo

Análise do impacto da variabilidade da demanda de movimentação de passageiros e de carga do modal aéreo para o dimensionamento de *hubs* regionais/Luiz Rodrigo Bonette - Araraquara: Universidade de Araraquara, 2017.
146f.

Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara-UNIARA

Orientador: Prof. Dr. Walther Azzolini Junior

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Alberto Achcar

1. Hub and spoke. 2. Aeroportos regionais. 3. Aeroportos secundários.
4. Modelagem estatística. I. Título.

CDU 62-1

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BONETTE, L.R. **Análise do impacto da variabilidade da demanda de movimentação de passageiros e de carga do modal aéreo para o dimensionamento de *hubs* regionais**. 2017. 146f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara, Araraquara-SP.

ATESTADO DE AUTORIA E CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Luiz Rodrigo Bonette

TÍTULO DO TRABALHO: Análise do impacto da variabilidade da demanda de movimentação de passageiros e de carga do modal aéreo para o dimensionamento de *hubs* regionais.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação de Mestrado/2017

Conforme LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998, o autor declara ser integralmente responsável pelo conteúdo desta dissertação e concede ao Centro Universitário de Araraquara permissão para reproduzi-la, bem como emprestá-la ou ainda vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação pode ser reproduzida sem a sua autorização.


Assinatura Aluno(a)

Nome por extenso e assinatura do autor

Universidade de Araraquara – UNIARA

Rua Carlos Gomes, 1217, Centro. CEP: 14801–340, Araraquara-SP

E-mail (do autor): rogobonette@hotmail.com



UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

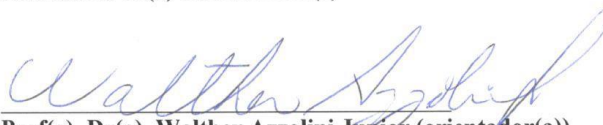
NOME DO AUTOR: **LUIZ RODRIGO BONETTE**

TÍTULO DO TRABALHO:

"ANÁLISE DO IMPACTO DA VARIABILIDADE DA DEMANDA DE MOVIMENTAÇÃO DE PASSAGEIROS E DE CARGA DO MODAL AÉREO PARA O DIMENSIONAMENTO DE HUBS REGIONAIS."

Assinatura do(a) Examinador(a)


Conceito


Prof(a). Dr(a). Walther Azzolini Junior (orientador(a))
Universidade de Araraquara - UNIARA

Aprovado () Reprovado



Prof(a). Dr(a). Jorge Alberto Achcar
Universidade de Araraquara - UNIARA

Aprovado () Reprovado


Prof(a). Dr(a). Marcel Andreotti Musetti
Universidade de São Paulo - USP

Aprovado () Reprovado

Versão definitiva revisada pelo(a) orientador(a) em: 10 / 06 / 2017


Prof(a). Dr(a). Walther Azzolini Junior (orientador(a))

Dedico aos meus queridos Thiago Colatrelli Nunes e Marcelo Gouveia de Araújo.

AGRADECIMENTOS

Ao meu amigo Marcelo, que me proporcionou interações de aprendizagem e trocas de experiência no cotidiano da vida e me ensinou a enxergar o que é possível em momentos difíceis.

Ao meu companheiro Thiago, pelo estímulo à continuidade de todo o processo de desenvolvimento no Programa de Mestrado e no dia a dia.

Aos Professores do Programa de Engenharia de Produção da UNIARA, pelos ensinamentos acadêmicos e de vida, assim como as contribuições durante o Mestrado.

Ao Professor Dr. Walther, por toda disposição e orientação.

Ao Professor Dr. Jorge, pelas contribuições extremamente importantes na evidenciação do método de pesquisa e no tratamento dos dados.

Ao Professor Dr. Marcel Andreotti Musetti (USP), por sua participação e considerações na banca de Qualificação e Defesa da Dissertação.

À secretária Luciana do Programa de Engenharia de Produção da UNIARA, que se ofereceu todo o suporte às atividades do Programa para o alcance dos objetivos propostos em minha formação de Mestre.

Aos companheiros e amigos Germano, Jullian, Bruno, Cleber, Pamela, Pavan, Cleber, Juliana, Wlamir e Luiz, pelas diferentes perspectivas de vida e trocas de experiências dentro da sala de aula.

A todos que diretamente ou indiretamente colaboraram para o projeto de pesquisa e sua concretização na Dissertação de Mestrado.

“O desejo profundo da humanidade pelo conhecimento é justificativa suficiente para nossa busca contínua” (Stephen Hawking).

RESUMO

As redes de transporte aéreo evoluem de forma acelerada e adaptativa às quedas ou altas de demandas locais e/ou regionais, gerando impactos positivos ou negativos, sobretudo nas regiões de maior desenvolvimento. Isso ocorre devido às necessidades constantes e crescentes de escoamento dos fluxos aéreos logísticos de passageiros e cargas espalhados por várias regiões industriais. Esta pesquisa teve por objetivo principal analisar o perfil estratégico do *hub* regional de 32 aeroportos gerenciados pelo Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo (DAESP). Para tanto, foi necessário: (1) comparar a evolução histórica dos relatórios estatísticos; (2) inter-relacionar e compor cenários, utilizando dados econômicos, aeroportuários e aeroviários; (3) classificar os aeroportos; (4) identificar as demandas dos aeroportos; (5) mapear as demandas por sazonalidade dos aeroportos; e (6) determinar a composição da rede *hub-and-spoke*. No estudo de revisão sistemática, abordado de forma quantitativa, foi adotado o método de modelagem estatística com o tratamento descritivo dos dados e de variações das séries temporais, regressão linear e volatilidade estocástica. Os achados principais direcionaram para as flutuações das demandas aeroportuárias e aeroviárias (cargas e passageiros) com a influência de fatores econômicos, como a taxa de desemprego e a cotação do dólar. Em outra perspectiva conclusiva, as contribuições futuras tendem a permitir explorar temas como redes de transportes aéreos na América do Sul, fluxos *hub-and-spoke* em aeroportos regionais ou secundários no Brasil, riscos relacionados na cadeia de suprimentos aeroviária ou aeroportuária (influenciados pelas quedas ou altas das demandas), e contudo, fazer proposições sobre o comportamento das cargas aéreas associadas à movimentação de passageiros e fluxos de voos.

Palavras-chave: *Hub-and-Spoke*. Aeroportos regionais. Aeroportos secundários. Modelagem estatística.

ABSTRACT

Air transport networks evolve rapidly and adaptively to dropping or high local and / or regional needs, with positive or negative impacts, especially in the more developed regions quickly and dynamism, the constant and growing need for flow of air flows logistics of passengers and cargo across several industrial regions, in this case, the interior of the state of São Paulo. This research had the main objective to analyze the strategic profile of the regional hub of 32 airports managed by DAESP. Therefore, it was necessary: (1) to compare the historical evolution of statistical reports; (2) inter-relate and compose scenarios using economic data, airport and airline staff; (3) classify airports; (4) identify the demands of airports; (5) to map the demand for seasonal airports; and (6) determine the composition of the hub-and-spoke network. Regarding methodological aspects study was carried out applied to the quantitative approach, through statistical modeling with the descriptive data processing and variations of time series, linear regression and stochastic volatility. The main findings direct to the fluctuations of airport and aeroviárias demands (cargo and passenger) with the influence of economic factors such as unemployment and the dollar. In another conclusive perspective, future contributions tend to allow explore topics such as air transport networks in South America, hub-and-spoke flows in regional and secondary airports in Brazil, risks in Airway supply chain or airport (influenced by falls or high demands), and yet fazerproposições on the behavior of air cargo associated with the movement of passengers and flights flows.

Key words: *Hub-and-Spoke. Airports Region Lisbon. Secondary Airports. Statistical modeling.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método de Modelagem Estatística.....	18
Figura 2 – Etapas do Método de Revisão Sistemática.....	19
Figura 3 – Estruturas hipotéticas de rotas da companhia aérea pelo sistema <i>hub-and-spoke</i> ...	64
Figura 4 – Representação de uma rede de cinco cidades.....	66
Figura 5 – Comparativo entre o modelo <i>hub-and-spoke</i> e <i>linear network</i>	67
Figura 6 – Modelo de crescimento de uma rede integradora.....	68
Figura 7 – Blocos de construção da abordagem de qualidade por ponderação de conexão.....	69
Figura 8 – A rede <i>hub-and-spoke</i>	71
Figura 9 – Integração do modelo de crescimento da rede.....	72
Figura 10 – Evolução do processo metodológico da pesquisa.....	73
Figura 11 – Caracterização do Método de Modelagem Estatística.....	76
Figura 12 – Séries temporais para contagens passageiros/carga, taxa de câmbio (dólar) e índice de desemprego na escala original e na escala logarítmica.....	79
Figura 13 – Séries temporais para valores observados e valores ajustados-passageiros e cargas totais.....	83
Figura 14 – Séries temporais para contagens passageiros/carga para os aeroportos de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru/Arealva e Presidente Prudente.....	84
Figura 15 – Séries temporais para valores observados e valores ajustados-passageiros e carga Ribeirão Preto.....	88
Figura 16 – Séries temporais para valores observados e valores ajustados-passageiros e carga São José do Rio Preto.....	91
Figura 17 – Séries temporais para valores observados e valores ajustados-passageiros e carga Bauru/Arealva.....	94
Figura 18 – Séries temporais para valores observados e valores ajustados-passageiros e carga Presidente Prudente.....	98
Figura 19 – Séries temporais para a contagem de passageiros/carga para os aeroportos de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru/Arealva e Presidente Prudente.....	99
Figura 20 – Séries temporais para os valores observados e valores ajustados - passageiros e carga Ribeirão Preto.....	108

Figura 21– Séries temporais para os valores observados e valores ajustados - passageiros e cargas São José do Rio Preto.....	109
Figura 22 – Séries temporais para os valores observados e valores ajustados - passageiros e carga Bauru/Arealva.....	110
Figura 23 – Séries temporais para os valores observados e valores ajustados - passageiros e carga Presidente Prudente.....	111
Figura 24 – Raízes quadradas para volatilidades (passageiros / carga) para os aeroportos....	112
Figura 25 – Rede <i>hub-and-spoke</i> interior estado de São Paulo em relação ao <i>hub</i> aeroportuário de Viracopos.....	122
Figura 26 – Rede <i>hub-and-spoke</i> interior estado de São Paulo em relação ao <i>hub</i> aeroportuário de Guarulhos.....	123
Figura 27 – Rede <i>hub-and-spoke</i> interior estado de São Paulo em relação ao <i>hub</i> aeroportuário de Congonhas.....	124
Figura 28 – Configuração e composição geográfica da rede <i>Spoke</i> e comparativo com a rede <i>Hub</i>	125
Figura 29 – Rede <i>hub-and-spoke</i> em relação ao <i>hub</i> aeroportuário regional de Ribeirão Preto.....	126
Figura 30 – Rede <i>hub-and-spoke</i> em relação ao <i>hub</i> aeroportuário regional de São José do Rio Preto.....	127
Figura 31 – Rede <i>hub-and-spoke</i> em relação ao <i>hub</i> aeroportuário regional de Presidente Prudente.....	128
Figura 32 – Rede <i>hub-and-spoke</i> em relação ao <i>hub</i> aeroportuário regional de Bauru/Arealva.....	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Revisão da literatura sobre <i>hub-and-spoke airport</i>	21
Quadro 2 – Cinco categorias de Aeroportos (Agrupamentos).....	24
Quadro 3 – Nível de rotas.....	25
Quadro 4 – Dois principais cenários dos resultados estáveis pelas três estratégias.....	32
Quadro 5 – Autores relacionados pela configuração de rede no sistema de transporte aéreo.....	33
Quadro 6 – Diferenças entre as operações de carga e de passageiros.....	52
Quadro 7 – Estudo das Cargas Aéreas “ <i>Cargo Flight</i> ” sobre Redes <i>Hub-and-Spoke</i>	56
Quadro 8 – Tipo de <i>hub</i> em relação ao número de passageiros em conexões com base no FAA do Estados Unidos.....	61
Quadro 9 – Tipo de <i>hub</i> em relação ao mercado.....	62
Quadro 10 – Tipo de classificação hubs aeroportuária em relação ao embarque e desembarque de passageiros de um país.....	62
Quadro 11 – Índícios de futuras contribuições para estudos de movimentação de cargas aéreas e aeroportos regionais.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimadores para os parâmetros de regressão-passageiros.....	81
Tabela 2 – Estimadores para os parâmetros de regressão-cargas.....	82
Tabela 3 – Estimadores para os parâmetros de regressão-passageiros Ribeirão Preto.....	85
Tabela 4 – Estimadores para os parâmetros de regressão-carga Ribeirão Preto.....	87
Tabela 5 – Estimadores para os parâmetros de regressão-passageiros São José do Rio Preto.....	89
Tabela 6 – Estimadores para os parâmetros de regressão-carga São José do Rio Preto.....	90
Tabela 7 – Estimadores para os parâmetros de regressão-passageiros Bauru/Arealva.....	92
Tabela 8 – Estimadores para os parâmetros de regressão-carga Bauru/Arealva.....	93
Tabela 9 – Estimadores para os parâmetros de regressão-passageiros Presidente Prudente....	95
Tabela 10 – Estimadores para os parâmetros de regressão-carga Presidente Prudente.....	96
Tabela 11 – Sumários a posteriori – passageiros.....	102
Tabela 12 – Sumários a posteriori – carga.....	105
Tabela 13 – Composição do Produto Interno Bruto (PIB) do município de Ribeirão Preto..	116
Tabela 14 – Composição do Produto Interno Bruto (PIB) do município de São José do Rio Preto.....	118
Tabela 15 – Composição do Produto Interno Bruto (PIB) do município de Bauru.....	120
Tabela 16 – Composição do Produto Interno Bruto (PIB) do município de Arealva.....	120
Tabela 17 – Composição do Produto Interno Bruto (PIB) do município de Presidente Prudente.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACESP – Associação Comercial do Estado de São Paulo.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil.

AR – autoregressivo.

ARCH – Autoregressive Conditional Heteroscedastic.

Coef – Coeficiente.

DAC – Departamento de Aviação Civil.

DAESP – Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo

DOT – Department Organization of Transportation.

Dp – Desvio padrão.

EP – Erros Padrões.

FAA – Federal Aviation Administration.

FSC – Full Service Carriers.

FSNC – Full Service Network Carriers.

GARCH – Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedastic.

HCI – Hubbing Concentration Index.

HS – Hub System.

IATA – International Air Transport Association.

Ipeadata – Instituto de Pesquisa Aplicada Data.

JIT – Just in time.

LCC – Low Cost Carriers.

LI – Limite Inferior.

log – logaritmo.

LS – Limite Superior.

MCMC – Markov Chain Monte Carlo.

NLC – No Low Cost.

NPIAS – National Plan for Integrated Airport Systems.

PIB – Produto Interno Bruto.

PP – Point -to-point.

SH – System Hub.

SV – Stochastic Volatility.

TECAS – Terminais de Cargas Aéreas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Apresentação do tema.....	15
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Justificativas	17
1.4 Aspectos Metodológicos e Estrutura do Trabalho.....	17
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Método da Revisão da Literatura	19
2.2 Conceituação e Fundamentação <i>Hub-and-spoke</i>	20
2.3 Composições e Configurações das Redes <i>Hub-and-spoke</i>	63
3 METODOLOGIA	74
3.1 Processo Metodológico.....	74
3.2 Modelagem estatística	76
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.1 Coleta e descrição dos dados	79
4.2 Análise estatística dos dados dos aeroportos no interior do estado de São Paulo considerando modelos de regressão linear múltipla	79
4.2.1 Uso de um modelo de regressão múltipla para a análise dos dados considerando o total de todos os aeroportos	81
4.2.2 Uso de um modelo de regressão múltipla para a análise dos dados considerando os aeroportos de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru/Arealva e Presidente Prudente ..	85
4.2.2.1 Resposta $\log(\text{passageiros/mês})$ e $\log(\text{cargas/mês})$ – aeroporto de Ribeirão Preto	86
4.2.2.2 Resposta $\log(\text{passageiros/mês})$ e $\log(\text{cargas/mês})$ – aeroporto de São José do Rio Preto.....	89
4.2.2.3 Resposta $\log(\text{passageiros/mês})$ e $\log(\text{cargas/mês})$ – aeroporto de Bauru/Arealva	93
4.2.2.4 Resposta $\log(\text{passageiros/mês})$ e $\log(\text{cargas/mês})$ – aeroporto de Presidente Prudente	96
4.3 Análise estatística dos dados dos aeroportos do estado de São Paulo utilizando modelos de volatilidade estocástica.....	99
4.3.1 Utilização de modelos de volatilidade estocástica sob uma abordagem bayesiana	101

4.3.2 Análise bayesiana para o registo de resposta (passageiros)	102
4.3.2.1 Os passageiros - Ribeirão Preto	104
4.3.2.2 Os passageiros - São José do Rio Preto	104
4.3.2.3 Os passageiros - Bauru/Arealva	105
4.3.2.4 Os passageiros - Presidente Prudente	105
4.3.3 Análise bayesiana para o log de resposta (de carga)	105
4.3.3.1 Carga - Ribeirão Preto	107
4.3.3.2 Carga - São José do Rio Preto	107
4.3.3.3 Carga - Bauru/Arealva.....	107
4.3.3.4 Carga - Presidente Prudente	108
4.3.4 Modelo ajustado e as volatilidades estimadas	108
4.3.4.1 Passageiros	113
4.3.4.2 Carga.....	114
4.4 Mapeamento da Rede <i>Hub-and-spoke</i>	114
4.4.1 Descrição do Aeroporto e da Região Econômica de Ribeirão Preto	115
4.4.2 Descrição do Aeroporto e da Região Econômica de São José do Rio Preto	117
4.4.3 Descrição do Aeroporto e da Região Econômica de Bauru/Arealva.....	119
4.4.4 Descrição do Aeroporto e da Região Econômica de Presidente Prudente	121
4.5 Mapeamento dos <i>Hubs</i> Regionais	126
5 CONCLUSÃO	131
REFERÊNCIAS	133

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

Atualmente, devido ao crescimento exponencial do uso do modal aéreo, os aeroportos necessitam mais enfaticamente do levantamento e tratamento de dados para saber quais são as informações que compõem a sua rede de transporte aeroviária, a qual é formada por fluxos aéreos de quantidade de passageiros e volume de cargas, chamados de serviços combinados.

É relevante apontar que a literatura existente passa a abordar o tema *hub-and-spoke* a partir de 1978, consolidando sua conceituação e fundamentação até 2015, e revelando a necessidade contínua de pesquisas exploradas e contribuições sobre a customização de cada rede de transporte aéreo. Assim, o comportamento do *hub* (aeroporto) e seus *spokes* (aerportos secundários) impactam diretamente na logística de transporte e na distribuição aérea no contexto geral.

Este estudo buscou analisar os *spokes* (aerportos secundários) e seu perfil, composto pelas demandas de fluxos aéreos que o caracterizam, sendo a questão de pesquisa: como determinar o perfil estratégico de *hubs* regionais por meio da variabilidade de passageiros e cargas no estado de São Paulo?

Burghouwt e Wit (2005) descrevem que o *hub-and-spoke* é um sistema de transporte utilizado para aumentar a malha de destinos de voos e dar suporte a outros *hubs* maiores para ligação, sendo *hub* (centro) e *spoke* (rotas ou conexões) as operações de descentralização e escoamento em aeroportos médios e menores designados para um destino.

De acordo com os cenários de contextualização demonstrados por pesquisas científicas, há de um lado as vantagens do sistema *hub-and-spoke*, como a estrutura e capilaridade da rotas aéreas, a redução dos custos operacionais aéreos, as melhorias no desempenho do transportador aéreo (companhias aéreas) e a necessidade de simulação dos dados coletados; e por outro lado, as desvantagens também foram evidenciadas ao longo do tempo de pesquisa do sistema *hub-and-spoke*, como os congestionamentos (*hubbings*), a necessidade de determinar modelos de pesquisa em simulações e modelagens estatísticas com maior exatidão, a desregulamentação governamental do setor aéreo em diversas partes do mundo, o monopólio da companhia aérea no *hub* e a concentração de infraestrutura do *hub*.

Nesse sentido, busca-se um alinhamento em explorar os fluxos das rotas pela demanda, impactando na capilaridade da rede. Foram determinados como um conjunto de

hipóteses argumentos empíricos baseados na revisão da literatura: (1) se os aeroportos recebem a influência dos dados econômicos de uma determinada região em sua demanda; (2) se todos os aeroportos regionais são secundários; (3) se as cargas aéreas podem ser analisadas isoladas sem a influência da quantidade de passageiros de voos regulares; (4) se existe a possibilidade da rede ser composta por apenas aeroportos regionais ou secundários; e (5) se a caracterização dos *hubs* é formada pelas demandas aeroviárias.

É importante ressaltar que as hipóteses estão dentro dos cenários propostos com base na análise dos 84 relatórios estatísticos do Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo (DAESP). Fica evidente que o objeto de pesquisa são os aeroportos desta rede de transporte aéreo, conceituada e fundamentada aqui pelos princípios do tema *hub-and-spoke*.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o perfil estratégico do *hub* regional de 32 aeroportos gerenciados pelo DAESP.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar a evolução histórica dos 84 relatórios estatísticos entre os 32 aeroportos analisados;
- Interrelacionar e compor cenários estratégicos por meio da análise das demandas pelas variáveis (passageiros e cargas – DAESP) e covariáveis (taxa de desemprego – Ipeadata e cotação do dólar – Associação Comercial do Estado de São Paulo – ACESP);
- Classificar os aeroportos a partir da quantidade de passageiros e do volume de carga entre os 32 aeroportos no período de 2008 a 2014;
- Identificar os aeroportos por períodos de sazonalidades das demandas históricas (quedas ou altas);
- Mapear quais são os aeroportos com menor variação entre períodos por passageiros e cargas nos relatórios de 2008 a 2014;
- Determinar a composição da rede *hub-and-spoke* por meio da análise dos 32 aeroportos pelos relatórios.

1.3 Justificativas

A realização do estudo foi importante pela necessidade de estudos sobre *hubs* no hemisfério sul, sobre *hubs* regionais, sobre os *hubs* secundários e sobre a escassez de publicações com a temática de cargas aéreas. Além disso, a contribuição deste estudo está no mapeamento da rede de transporte aéreo do interior de São Paulo, analisada pela sua capacidade de demanda de serviços combinados que influenciam no planejamento estratégico e na composição do perfil de seus *hubs*. Assim, sua relevância justifica-se pelo seu impacto sobre a rede de transporte aeroviária, sendo necessário para os aeroportos visualizarem e planejarem seus fluxos de operações do tráfego de serviços combinados.

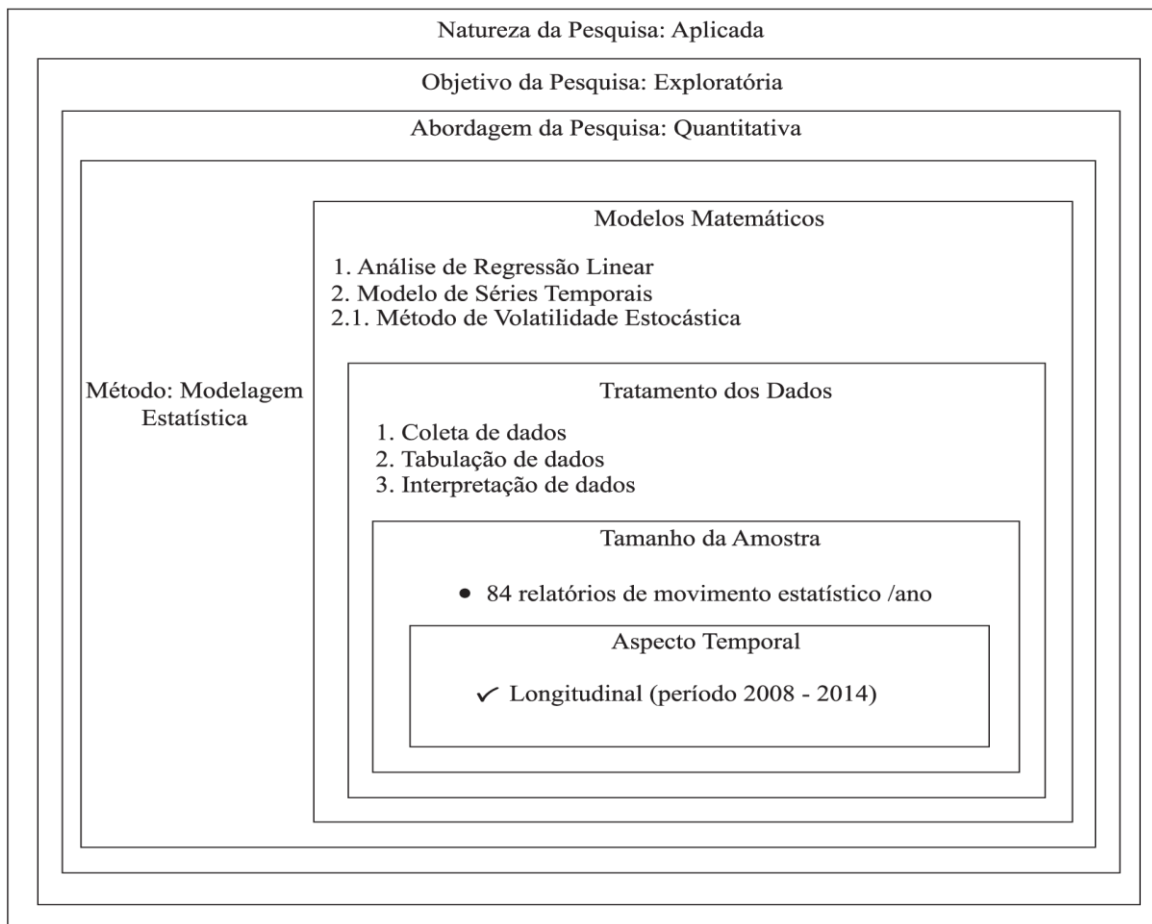
1.4 Aspectos Metodológicos e Estrutura do Trabalho

Esta pesquisa restringiu seus estudos com base no estado da arte levantado pela revisão da literatura entre 2010 a 2015, que apontam as seguintes pesquisas neste período: Maertens (2010) relata a distribuição desigual entre aeroportos secundários e métricas para os fluxos de carga aéreas; Flores-Fillol (2010) explica o congestionamento *hubbing*; Martin (2011) comenta sobre o grau de conectividade *hub*; Redondi, Malighetti e Paleari (2011) descrevem o *de-hubbing* (conexões desmanteladas ou transferidas a outros *hubs*); Matisziw, Lee e Grubestic (2012), Ryerson e Kim (2013) e Suau-Sanchez, Voltes e Rodriguez-Deniz (2015) explicam a classificação *hub* e hierarquia *hub*; Bowen (2012) apresenta o modelo de redes integradoras de cargas; Castillho-Manzano, Lopez-Valpuesta e Pedregal (2012) mencionam a acessibilidade *hub* para centros secundários; Bilotkach, Fageda e Flores-Fillol (2013) expõem a consolidação das companhias em *hubs* e *spokes* (aeroportos secundários); Sabeari e Mahmassi (2013) relatam o *p-hub* e a solução de localização ótima para mercados ideais; Burghouwt (2014) expõe os sistemas *multi-hub* à centros secundários; Allroggen, Wittmans e Malina (2015) descrevem métricas *hubs*; Fageda e Flores-Fillol (2015) mencionam o redimensionamento da rede *hub*; Adibi e Razmi (2015) explicam a incerteza da demanda e custo no *hub*, e Yu, Yu e Bo (2015) comentam a estratégia do *design* da rede *hub-and-spoke*.

A busca dos artigos foi realizada na base de dados *Science Direct*, mantida pela Editora *Elsevier*, o que contribuiu para a caracterização de *hubs* regionais secundários e para os dados econométricos e sua composição de *rede hub-and-spoke*, especificamente pouco explorados no estado de São Paulo.

A metodologia do trabalho, de natureza aplicada e caráter exploratório, apoiou-se no perfil dos estudos em rede de transporte e também na aérea de logística, ambas ligadas à engenharia de transportes ou engenharia de produção. O método de análise adotado foi a modelagem estatística (Figura 1), com as técnicas de séries temporais e de regressão linear especificada pela volatilidade estocástica. Limitou-se o universo da pesquisa pelo tema *hub-and-spoke* relacionado com serviços combinados, analisando a amostra de 84 relatórios estatísticos e extraíndo apenas as colunas destes relatórios em relação à quantidade de passageiros e ao volume de cargas aéreas de 32 aeroportos gerenciados pelo DAESP.

Figura 1 – Método de Modelagem Estatística



Fonte: Próprio autor (2015).

A presente Dissertação está estruturada em 5 seções: Introdução, Revisão de Literatura *Hub-and-spoke*, Metodologia (Modelagem Estatística), Resultados e Discussões, Conclusão, das Referências e do Anexo.

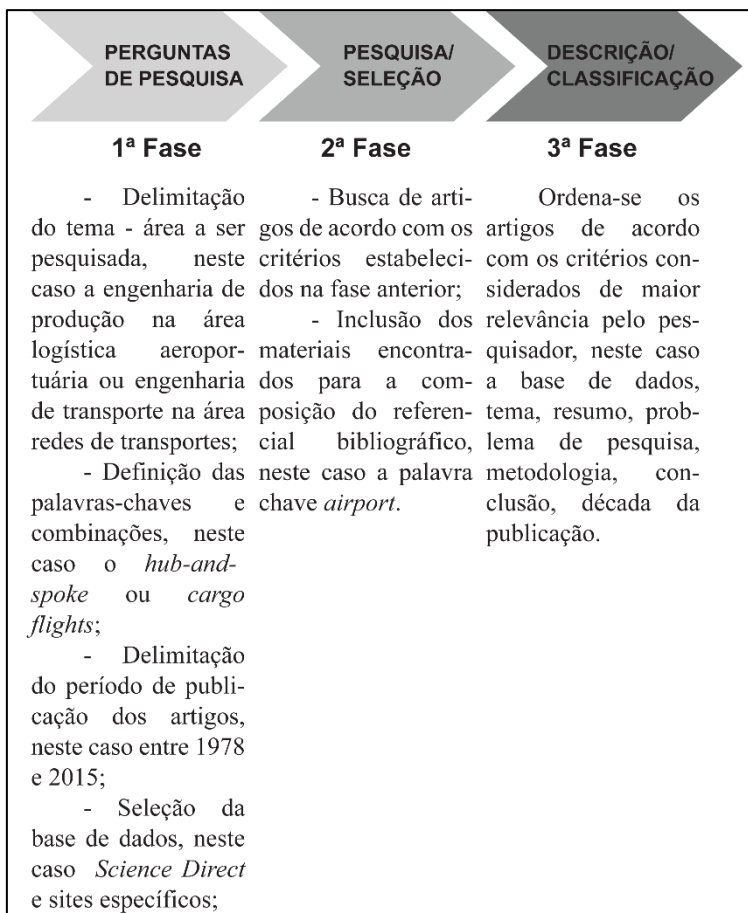
2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Método da Revisão da Literatura

Gohr et al. (2013) relatam que a necessidade de estruturação da Revisão da Literatura por etapas é importante devido ao acesso vasto do conjunto de bases de dados de pesquisas que estão disponíveis, sendo que isto auxilia o pesquisador a manter algumas premissas de coerência e adequação para a proposta do tema e problema de pesquisa junto à fundamentação e conceituação pelo histórico das publicações.

No caso desta pesquisa, o tema são as interações entre uma rede *hub-and-spoke* e a variabilidade de passageiros e cargas aéreas que são exploradas pelas fontes de pesquisa da literatura. Na Figura 2 são expostas as três fases para a Revisão Sistemática da Literatura, proposta por Gohr (2013), aplicada neste estudo.

Figura 2 – Etapas do Método de Revisão Sistemática



Fonte: Adaptado de Gohr et al. (2013).

2.2 Conceituação e Fundamentação *Hub-and-spoke*

Existem dois tipos de sistemas de tráfego para o sistema de transporte aéreo: o *point to point* e o *hub-and-spoke*. Este último é aplicado para aumentar a malha de destinos de voos e dar suporte a outros *hubs* maiores para ligação, sendo *hub* (centro) e *spoke* (rotas ou conexões) as operações de descentralização e escoamento para aeroportos de diferentes tamanhos. Porém, existem critérios para definir o que é um *hub-and-spoke airport* por meio de revisões de literatura e métodos de pesquisa (simulações), sugeridos por Burghouwt e Wit (2005).

O processo de descentralização dos voos em *hubs* de diferentes tamanhos, volumes de conexões e escalas interfere no resultado das companhias áreas e aeroportos pelas operações associadas ao desempenho na estrutura das rotas e custos com o transportador.

É importante observar como a leitura dos autores que compõem o quadro sobre *hub-and-spoke*, de Burghouwt e Wit (2005), contribuem para além de sua conceituação nos dias atuais.

Hipoteticamente, as abordagens aqui citadas no trabalho apresentam a tendência e a interferência relacionada às rotas, ao custo com transportes de passageiros e cargas e diferentes tipos ou perfis de *hubs* em suas interpretações. Identificar novos arranjos sob a interpretação fundamentada em *hub-and-spoke* sobre os autores aqui mencionados é algo importante para introduzir o leitor ao entendimento deste estudo.

As operações aeroportuárias de logística e de sistemas de transportes representam por meio da análise do seu volume, a partir da interpretação dos dados de aumento de conexões de voos (demanda de passageiros) e do seu impacto sobre os custos operacionais (movimentação de cargas) das companhias áreas, em determinadas regiões geográficas e econômicas, para gerar um maior fluxo de expansões de voos aos *hubs*, redução de custos e atratividades de investimento em infraestrutura nos aeroportos.

O quadro originário (*framework*), criado por Burghouwt e Wit (2005) é o ponto inicial das discussões sobre a definição do conceito de *hub-and-spoke airport* nesta revisão de literatura. O Quadro 1 é uma adaptação da análise da conceituação e fundamentação *hub-and-spoke*.

Quadro 1 – Revisão da literatura sobre *hub-and-spoke airport*

<i>Definition of the hub-and-spoke network according to various studies</i>				
	Definições	Nível	Espacial/ Concentração temporal	Tipo de Estudo
Bania, Bauer e Zlatoper (1998, p.53)	[..] Uma rede <i>hub-and-spoke</i> tem a maioria dos vôos que chegam ao aeroporto um 'hub' de aeroportos "ao redor- <i>spoke</i> ", concentrando a atividade aérea em alguns locais. A viagem entre dois aeroportos aro envolve o voo ao primeiro <i>hub</i> e, em seguida, para o aeroporto do destino final chamado <i>spoke</i> .	Nível companhia aérea	Concentração espacial e temporal	Empírica, Estados Unidos
Berry, Carnall e Spiller (1996, p.1)	[Em redes <i>hub-and-spoke</i>], os passageiros mudam de avião em um aeroporto <i>hub</i> no caminho para o seu destino final	Nível companhia aérea	Concentração espacial	-
Bootsma (1997, p.4)	[..] Em caso de <i>hub-and-spoke</i> , a rede é concebida como tal, que as rotas são deliberadamente concentradas em um número limitado de instalações de conexão chamados <i>hubs</i> . Os destinos de cada um desses centros são chamados de raios. [..]. A fim de maximizar essas possibilidades de conexão, o portador <i>hub</i> geralmente tem seus horários seus voos em um número limitado de prazos de janelas.	Nível companhia aérea	Concentração espacial e temporal	Empíricos, Europa principais centros
Burghouwt e Hakfoort (2001, p. 311)	<i>HS</i> -rede implica a combinação de ponto-a-ponto com o tráfego de transferência a um <i>hub</i> central	Nível companhia aérea, mas a análise tem lugar a nível aeroporto	Concentração espacial	Empíricos, todos os aeroportos europeus
Button et al. (1999, p.20)	Nas operações de <i>hub-and-spoke</i> , [..] operadoras geralmente usam um ou mais aeroportos de porte grande [..]. Voos são organizados em bancos que permitem que os passageiros continuarem a ser consolidados em vôos de saída para outros destinos.	Nível companhia aérea	Concentração espacial e temporal	-
Button (2002, p. 177)	Redes aéreas que implica na consolidação do tráfego a partir de uma gama de diversificadas origens e estão direcionadas a uma gama diversificada de destinos finais em grandes aeroportos centrais,	Nível companhia aérea	Concentração espacial	-
Dempsey e Gesell (1997, p. 200)	Consolidação das operações em torno de centros <i>hubs</i> pelas companhias aéreas.	Nível companhia aérea	Concentração espacial	
Dennis (1998, p.2)	[Redes Aéreas] <i>SH</i> visam transportar passageiros e cargas em trânsito com origem e de destino fora do seu país.	A análise do nível companhia aérea	Concentração espacial e temporal	Empíricos, Europa principais centros
Goetz e Sutton (1997)	Grandes e complexos sistemas de ligação para companhias aéreas	Nível companhia	Concentração	Empírica, sistema

		aérea associado a análise do nível dos aeroportos	espacial	aeroportuário EUA
O'Kelly e Bryan (1998)	"Centros [...] são nós especiais que fazem parte de uma rede, localizados de tal maneira a facilitar a ligação entre lugares Inter agindo-os".	Nível companhia aérea	Concentração espacial	Teórico
Oum e Zhang (1995, p. 837)	Redes <i>hub-and-spoke</i> concentram a maior parte das operações de uma companhia aérea em uma ou muito poucas cidades <i>hub</i> . Praticamente todas as outras cidades na rede são servidas por voos <i>non-stop</i> a partir desses centros "	Nível companhia aérea	Concentração espacial	Teórico
Pels (2000, p. 13)	Em uma <i>HS</i> -rede, o aeroporto <i>hub</i> é o único aeroporto com uma conexão direta com todos os outros aeroportos. Todos os passageiros que viajam entre dois 'ditos aeroportos' (em um mercado indireto) são canalizados através do aeroporto <i>hub</i> . O mercado entre <i>hubs and spoke</i> é um mercado <i>spoke</i>	Nível companhia aérea	Concentração espacial	Teórico
Rietveld e Brons (2001)	Redes <i>hub-and-spoke</i> permitir que as transportadoras prestem serviços de transporte para muitas combinações de origens e destinos em altas frequências e baixo custo.	Nível companhia aérea	Concentração espacial e temporal	Empírica, '4 grandes' da Europa
Veldhuis e Kroes (2002)	Aeroportos centrais consideram as conexões indiretas através do seu <i>hub</i> de importância estratégica essencial.	Nível companhia aérea e aeroporto	Concentração espacial e temporal em análise	Empíricos, principais centros da Europa

Fonte: Adaptado de Burghouwt e Wit (2005).

Na interpretação da teoria econômica de custo em *hubbing* (aeroporto primário ou central), conforme Berry, Carnall e Spiller (1996), existe a redução de custos em economias de densidade, em que aplicada ao sistema *hub-and-spoke*, há uma comprovação da redução do custo em rotas mais longas (não há nenhuma evidência de economias de densidade em rotas mais curtas). Por outro lado, são levantados possíveis indícios ou discussões que o sistema em *rede hub-and-spoke* aumenta o número de conexões e de aviões em terra, gerando um congestionamento no aeroporto *hubbing*.

Dentro da análise, os congestionamentos em *hubbings* causam o estrangulamento nas operações com interferências nos *hubs* no processo de escoamento das rotas. Então, é evidenciado que a pesquisa científica com dados secundários para aeroportos regionais se torna uma estratégia na formação deste sistema de transporte.

Em estimativas de pesquisa e aplicabilidade do modelo matemático de simulação para passageiros e cargas, são fornecidas evidências nas quais os *hubs* apresentam duas grandes vantagens competitivas para as empresas: reduzem custos e permitem maior área de abrangência dos raios *hub-and-spoke* pelo aro de origem, de acordo com Berry, Carnall e Spiller (1996). Os autores observam que existe uma tendência de preços altos e exigências de passageiros empresariais na valorização de voos das companhias aéreas originárias por este *hub* ou *hubbing*.

Brueckner e Spiller (1994) sugerem a existência de economias de densidade que implicam que os *hubs* proporcionam economias de custo importantes e fornecem uma primeira tentativa de analisar o papel do *hub-and-spoke* nas operações pelo critério também de quadro diferenciação do produto em sua relação origem/destino/transporte de passageiros para *hubsizes* (grandes *hubs*).

Burghouwt, Hakfoort e Eck (2003) mostram que estudos anteriores têm utilizado uma série de diferentes métodos de classificação de *hubs*, incluindo os métodos propostos pelo *Department Organization of Transportation* (DOT), a *Federal Aviation Administration* (FAA) e Graham (1998). A seguir são apresentados seus critérios:

- A classificação DOT baseia-se no número de passageiros que partem de um determinado aeroporto *hubbing* (origem) comparado com o percentual do número total de passageiros que partem de um aeroporto *hub* (destino);
- O método da FAA baseia-se em regiões do aeroporto em vez de cada aeroporto;
- A classificação utilizada por Graham (1998) considera os voos *non scheduled* (não programados) dos aeroportos menores.

Um quarto método europeu, de acordo com Burghouwt e Hakfoort (2001), analisa o desenvolvimento do *hub-and-spoke* na Europa. Utiliza-se do método de Ward, método de *cluster* que delimita a análise dentro deste *cluster*, somando a relação dentro desta região associada aos *hubs*, sendo um agrupamento relacional entre origem e destino do *hub-and-spoke* e os *clusters* observados através de suas rotas. Foram utilizadas três variáveis na análise de *cluster* para capturar o tamanho do aeroporto:

1. Capacidade média assento (aeronave) entre 1990/1998;
2. O número médio de destinos entre 1990/1998 para capturar sua conectividade *hub*; e
3. O número médio de destinos intercontinentais entre 1990/1998 para capturar a direção da rota intercontinental do aeroporto.

Quadro 2 – Cinco categorias de Aeroportos (Agrupamentos)

Divisão de agrupamento de cinco categorias de Aeroportos		
Grupos	Agrupamento	Localização de Alguns desses Aeroportos
01	4 centros primários (polos principais)	Londres Heathrow, Paris Charles de Gaulle, Frankfurt e Amsterdã, esses aeroportos têm tanto uma extensa intercontinental e interconectividade europeia e uma alta capacidade.
02	11 centros secundários	Bruxelas, Madrid, Roma e Munique, esses grandes aeroportos têm extensa interconectividade europeia, mas um menor nível de intercontinental de conectividade que os <i>hubs</i> primários;
03	12 aeroportos médios	Lisboa, Barcelona, Helsinque são outros aeroportos regionais, nacionais ou grandes com um número limitado de destinos intercontinentais, mas com um nível razoável de intra-europeu conectividade;
04	34 aeroportos pequenos	Colônia, Nápoles e Porto. Aeroportos com um número limitado de principalmente em destinos europeus.
05	485 aeroportos muito pequenos	Roterdã, Antuérpia e Florence.

Fonte: Adaptado de Burghouwt e Hakfoort (2001).

Segundo Burghouwt e Hakfoort (2001), houve um aumento do sistema *hub-and-spoke* na década de 1990 na Europa. Os dados da pesquisa relatam que a maior parte dos voos domésticos era de aeroportos muito pequenos e os voos não domésticos intra-europeus tinham diminuído e mudado o tráfego no período.

Já nos quatro grandes aeroportos (principais polos) aumentaram os voos intercontinentais. Os centros primários têm mostrado abaixo do crescimento médio global no que diz respeito à sua participação dos voos não domésticos, a capacidade intra-europeu, conforme Burghouwt e Hakfoort (2001).

Quadro 3 – Nível de rotas

Análise do nível de quatro rotas		
Rotas	Tipos	Definições
1	Rotas <i>hub-hub</i>	De aeroportos primários ou secundários até <i>hubs</i> primários ou secundários.
2	Rotas <i>hub-spoke</i>	Entre aeroportos primários ou centros secundários e médio, pequeno ou muito pequenos.
3	Raios rotas	Entre médio, pequenos ou muito pequenos aeroportos.
4	Rotas intercontinentais	Rotas entre aeroportos fora da Europa, por ex: Amsterdam-Bangkok.

Fonte: Adaptado de Burghouwt e Hakfoort (2001).

Burghouwt e Hakfoort (2001) mencionam a evolução da capacidade em cada um dos tipos de rota. O crescimento de rotas aro-rotas (*hub-spoke* 66%) é mais elevado do que o crescimento de ambas as vias raio-raios (55%) e as rotas *hub-hub* (26%). Isso é consistente para a formação de uma rede *hub* e raios no período de 1990-1998.

De acordo Burghouwt e Hakfoort (2001), em suas conclusões e resultados é sugerido que tipos de aeroportos menores se tornem mais importantes no lidar com o tráfego [...] e mostrem mais potencial de crescimento.

Isso é confirmado na teoria de Wit et al. (1999), na qual um tipo de estrutura *hub-and-spoke* se desenvolveu ao longo das pesquisas das décadas de 1980 e 1990. Essas rotas *hub-spoke* têm mostrado um crescimento mais rápido do que a capacidade, tanto *hub-hub* e *spoke* ou mesmo raios rotas. Dentro dessa rede, a média de frequência de voos aumentou, mas esse crescimento é desigualmente distribuído no espaço e maior para o *hub-hub* e rotas *hub-spoke* do que para rotas raio-raios.

As rotas *hub-spoke* mostram um aumento de tamanho das aeronaves, enquanto as rotas *hub-hub* são confrontadas com menor tamanho médio de aeronaves, segundo Burghouwt e Hakfoort (2003). Neste caso, as operações *hub-and-spoke* conseguem escoar os voos de maneira que o sistema é forçado a expandir aos *hubs* menores como forma de absorver o excesso de tráfego aéreo destes *hubs* de origem.

A pesquisa se pautou nas observações da rede *hub-and-spoke* como um sistema de transporte de distribuição de rotas otimizado, porém existe uma segunda aplicação pelo critério de política econômica, como já discutido no método *Ward*.

Dennis (2001) relata que como nenhum aeroporto tem capacidade ilimitada de pico, as companhias aéreas acrescentam voos num *hub* em duas opções principais: primeiro, adicionando os voos para a borda das ondas de voos existentes ou podendo desenvolver novas ondas de voos em novos *hubs*. Assim, para explorar uma nova onda de novos voos em novos

hubs de auxílio é necessária a movimentação diária de no mínimo 50 aeronaves neste *hub* de origem “*hubbing*”.

Embora, em teoria, é mais eficaz concentrar recursos em único hub, hubs podem se separar, considerando se a restrição ou os aeroportos alternativos são suficientemente atraentes do que o de uma companhia aérea rival, sendo susceptível sua configuração hub (DENNIS, 2001, p.52).

Conforme Dennis (2001), o *hubbing* continua a ser uma importante e competitiva tática para as grandes companhias aéreas da Europa, sendo cada vez mais evidente a apresentação de planos de expansão e desenvolvimento regional de custo baixo destas operadoras aéreas.

Por outro lado, suas alianças com outras companhias aéreas podem aumentar suas atividades e ao mesmo tempo reduzir o número de *hubs*, principalmente se a indústria destas regiões se consolidou. O crescimento do tráfego, sua cobertura de rede e a frequência do nível do serviço europeu de aeroportos tem sido intimamente relacionada ao desenvolvimento do *hub*.

A desregulamentação legal de 1978 teve um grande impacto na estrutura industrial do setor aéreo, dos serviços, dos preços e da condição financeira nas companhias aéreas americanas. No entanto, a desregulamentação gerou maiores impactos geográficos, ou seja, as alterações nos níveis desiguais de concentração da indústria, serviço e preços afetaram importantes áreas geográficas de *hubs* aeroportuários, segundo Goetz e Sutton (1997).

Segundo o *Australian Bureau of Transport and Communications Economics* (1994), nas indústrias desregulamentadas aéreas canadenses e australianas, os mercados têm sido dominados por apenas duas transportadoras, após anos de desregulamentação.

Na Europa, a liberalização do transporte aéreo permitiu o maior acesso aos mercados, produzindo o efeito de beneficiar operadoras globais maiores e suas cidades *hubs* à custa de companhias aéreas nacionais e menores em suas capitais, conforme Debbage (1994).

Bowen e Leinbach (1995) descrevem que a liberalização da indústria aérea no Leste Asiático de Países recém-industrializados tem sido guiada pelo pragmatismo mais *laissez-faire* de ideologia, e assim, o estado tem limitado o grau que as transportadoras privadas estão autorizadas a controlar os mercados. Mitchelson e Wheeler (1994) explicam que a desregulamentação também tende a aumentar a concentração de infraestrutura em certos nós em resposta ao potencial de mercado aéreo.

Goetz e Sutton (1997) exemplificam que esses diferentes padrões de serviços, preços, conectividades e acessibilidades apontam para a necessidade de sintetizar resultados recentes dentro de coordenadas aéreas e estrutura espacial coerente. Os autores recomendam que compete aos formuladores de políticas governamentais reconhecerem as tendências espaciais, bem como os agregados e prevenir os efeitos negativos das dificuldades financeiras e do domínio do mercado por meio da promoção sustentável, concorrência em longo prazo que beneficia a indústria, consumidores e o sistema de transporte aéreo de passageiros, cargas e voos.

O'Kelly e Bryan (1998) relatam que pelas redes aéreas *hub-and-spoke*, as reduções dos custos são vistas como taxas decrescentes, acumulando elos que são capazes de aumentar os fluxos de operações de rotas.

Nota-se que os autores que formam o quadro de Burghouwt e Wit (2005), conceituam e fundamentam de forma introdutória o conceito e fundamentação de *hub-and-spoke*, porém, alguns (Bania; Bauer; Zlapoter, 1998; Berry; Carnall; Spiller, 1996; Burgohouwt; Hakfoort, 2001; Button et al., 1999; Goetz; Sutton, 1997; 2002; O'Kelly; Bryan, 1998; Oum; Zhang, 1995) geram indícios que são indispensáveis para as discussões e contribuições contemporâneas e futuras sobre *hubsizes* (grandes aeroportos), *hubbings* (aeroportos de origem), *hub* regionais, transportes ou transportadoras de cargas aéreas, transportes aéreos mistos (logística de passageiros e cargas) e a necessidade da aplicação contínua da simulações por modelos matemáticos para o avanço desta especialidade.

De maneira geral, existem novas temáticas diferentes nas propostas da literatura da década de 1980 e 1990, onde se firmou a conceituação e fundamentação *hub-and-spoke* na especialidade de redes de transporte aéreo, dentro da área logística de transportes.

A revisão da literatura da década de 2000 está baseada na análise e interpretação dos dados secundários do comportamento dos fluxos de passageiros, cargas, voos, rotas e na influência de fenômenos de comparações entre a competitividade das companhias aéreas e dos *hubs* por ganho no desempenho no mercado aéreo (otimização por teoremas, fórmulas e gráficos). É observado que isto gera impactos sobre os aeroportos como *hubs* regionais e internacionais influenciados por estes agentes (operadoras de passageiros ou cargas).

Outras correntes pesquisam o modelo de negócio entre dois tipos de operadoras/transportadoras: a primeira, de baixo custo, conhecidas como Operadoras de Serviço Completo (*Full Service Carriers - FSC*), e a segunda, conhecida como Companhias de Baixo Custo (*Low Cost Companies- LCC*), que mais tarde a aeronave da companhia aérea absorverá

este perfil dentro de uma mesma célula de transporte como prática, não extinguindo os dois tipos de negócios.

O método de pesquisa explorado pelos autores da década de 2000 é o de simulação e o outro método é a modelagem estatística com maior tendência de uso.

Uma questão evidenciada foi: “quais são os temas que formaram as novas correntes de estudos e fundamentaram a conceituação *hub-and-spoke* na década de 2000?”. No geral, é interessante se fazer possíveis conexões com as décadas anteriores e posteriores da década de 2000 para entender a evolução em um recorte de década do conceito *hub-and-spoke*.

Cronologicamente o conceito *hub-and-spoke* ligado ao mercado aéreo predatório e à pesquisa acadêmica sobre modelos de negócios de companhias aéreas e a capacidade e desempenho dos *hubs* compõem a década de 2000, como será abordada neste momento da revisão da literatura.

Graham (1995) e Reynolds-Feighan (2001) colocam que as transportadoras concentram suas redes espacialmente em um pequeno número de *hubs* e operam bancos diários de voos por meio destes centros de conexões de maneira sincronizada, tentando otimizar o potencial número de conexões oferecidas e a qualidade destas conexões.

Bowen (2000) comenta que a avaliação das ramificações da política e as implicações teóricas da indústria das companhias aéreas em regiões emergentes são prioritárias e estratégicas para as do desenvolvimento econômico e das redes de transporte aéreas local.

O autor ainda argumenta em sua pesquisa que o crescimento econômico se intensificou em regiões de economias emergentes entre 1960 e 1980, utilizando como estratégia de articulação das redes aéreas principalmente sobre os fluxos de aumento das exportações comparadas às importações daquele período, sendo que o desenvolvimento de estratégias da indústria da aviação se estreitou com ênfase em economias regionais consolidadas à economia internacional, aumentando as ligações aéreas com o resto do mundo em três setores críticos: produção, *business services* e turismo.

Bowen (2000) esclarece que os *hubs* do Sudeste Asiático foram formados ao longo de sua evolução por fatores como o desenvolvimento econômico com ênfase no turismo, na indústria aeroespacial e nos serviços financeiros e negócios internacionais alocados para uma companhia para suporte ao desenvolvimento do fluxo desta rede aérea e rede de serviços de tecnologias virtuais, como cabeamentos de serviços.

As cidades *hub* têm vantagens de desenvolvimento para certos tipos de atividades econômicas, sendo que esta vantagens refletem dois pontos chaves de distinções que a cidades *hub* compartilham de um perfil similar: concentração de passageiros de grande porte e fluxo

de carga e alto grau de conectividade com outros pontos (doméstica e redes aéreas internacionais (BOWEN, 2000).

Segundo Bowen (2000), o padrão de tráfego e a posição do *hub* não são imutáveis. A liberalização das rotas internacionais em relação a postura cada vez mais receptiva em direção internacional aos serviços por companhias aéreas estrangeiras (transportadoras) expandidas e que foram bem-vindas, aumentam a frequência e capacidade de articulação para a economia internacional, reforçando assim a competitividade da economia nacional.

Bowen (2000) observa que o desenvolvimento de regiões do Sudeste Asiático tem um sentido de formação do fluxo da rede aérea de transporte por um *system multihub*, em que vários grandes *hubs* aeroportuários disputam aéreas intra-regionais e de longo curso de maneira competitiva, sendo que uma rede cada vez mais complexa de alianças de companhias aéreas recobre esta hierarquia de *hubs*. Nestes fenômenos de alianças, tais alianças são susceptíveis a reforçar a posição dos centros dominantes desde as transportadoras que operam a partir destes centros que são mais propensas a serem escolhidas para ligações com outras companhias aéreas fortes e *hubs* fortes no fluxo de sustentação desta rede de transporte aéreo.

Button e Taylor (2000) relatam que às vezes nos aeroportos centrais são encontrados impactos positivos sobre indicadores econômicos, havendo uma relação positiva entre o nível de emprego, elevada tecnologia e a presença de um aeroporto *hub* em uma região. Esta constatação sugere que seria preferível ter um aeroporto *hub* regional.

Lisejen, Rietveld e Nijkamp (2001) colocam que o preço que uma região paga para o possível impacto econômico positivo de um *hub* é que seus habitantes podem ter que pagar tarifas *hub premiums*. Portanto, seria prudente investigar todos os possíveis custos e benefícios de um aeroporto *hub* completamente antes de prosseguir ativamente para uma estratégia de um aeroporto *hub*.

Existe um conceito de *hubpremiums* para classificar transportadoras que tem suas sedes de operações num *hub* específico, assim, suas tarifas tendem a ter o valor mais elevado do que as transportadoras que não tem sede neste mesmo *hub*. O termo *premium hub* foi introduzido pela primeira vez por Berry, Carnall e Spiller (1996), mas o primeiro a introduzir o conceito em geral foi Levine (1987 *apud* LISEJEN; RIETVEL; NIJKAMP, 2001).

Selecionaram dez origens europeias e cinco destinos não europeus com o objetivo de combinar dispersão geográfica com baixo número de valores em falta em método estatístico, sendo que de oito em cada dez dessas origens são também centros intercontinentais para sua transportadora sede. A combinação dos aeroportos, por razões óbvias omitindo rotas

provenientes de seu próprio *hub* sendo que foram feitas 360 observações utilizando as variáveis tarifas, frequência de voos e passageiros (LISEJEN; RIETVELD; NIJKAMP, 2001).

Lisejen, Rietveld e Nijkamp (2001) determinam que o fenômeno do *hubpremiums* acontece apenas em algumas transportadoras da sua pesquisa e que esta caracterização do *hub premium* é condicionada a fatores como diferentes práticas dos *hubs*, como a influência do mercado, a diferenciação do produto e também se este mercado está dentro de uma economia de densidade (relacionado ao volume de operações e custos em escalas de insumos e receitas), capacidade e poder do mercado, possíveis alternativas de *hubs premium*.

Os autores ainda pesquisam quais são as principais questões sobre *hubs premium*. A primeira é “Como proteger os consumidores do *hub premium*, sendo difícil de responder isto?”, tendo em vista que a maioria do *hubs premium* operam sobre a força do mercado. Já a segunda questão é “Como o *hub premium* afeta a economia da região?”. Neste contexto, os pesquisadores revelam que a possível solução seria evitar o abuso de mercado evitando o abuso das comissões de viagens por programas de fidelidade, redução do monopólio das companhias aéreas no aeroporto, impor limite de participação de uma companhia aérea dominante neste mercado. Assim, de acordo com suas análises, a política de concorrência é relacionada à política regional para estes dois contextos, de mercados consumidores de viagens.

Kara e Tansel (2001) observam que o tempo gasto em centros para descarga, carga e operações de classificação (por vezes transitórias) pode constituir numa significativa ação do tempo total de entrega de sistemas de entrega de carga. Eles propuseram novos modelos, sendo chamado o mais recente de problema de localização *hub* de chegada; para sistemas em que os tempos transitórios são incorporados são possíveis várias versões do mais recente problema de localização *hub* chegada: versões chamadas de *minimax*, alocação única ou múltipla, cobrindo as versões *minisum* em suas conceituações.

Lisejen, Nijkamp e Rietveld (2002) apontam a necessidade de indicadores de análise de competição deste mercado *hub-and-spoke* para a redução de riscos nas operações, avaliação em que são caracterizados pelas diferenças do nível de concorrência entre os períodos de tempo e regiões. Sua composição é influenciada pelos mercados domésticos, níveis regionais e escalas geográficas de posicionamento e volume do desempenho dos aeroportos individualmente.

Lisejen, Nijkamp e Rietveld (2002) comentam que esta comparação entre cidades (pares) é um elemento que tem um poder regulador na região sobre um conjunto de rotas onde se acredita que uma determinada operadora para ser dominante ou à região, sendo necessário

a análise deste evento de competição e quais serão seus efeitos. Os autores constataam ainda que o sistema *HS* tem uma desvantagem na concorrência quando as operadoras/agentes (*players*) tendem a tornarem-se muito importantes em seu próprio *hub*, acabam deixando espaço para outras operadoras que dominarem outros pares de cidades que envolvam outros *hubs*.

Lisejen, Rietveld e Nijkamp (2002) consideram em seu modelo básico a análise de uma rede simples com o universo de pesquisa de três aeroportos e duas transportadoras com as variáveis: número de passageiros, voos diretos e voos indiretos e os impactos em relação aos custos, lucros e receitas operando em rotas combinatórias, sendo que o peso da tarifa direta diminui à medida que aumenta a diversidade de produtos.

Campbell et al. (2003) afirmam que os sistemas de transportes modernos aéreos contam com redes de instalações *hubs* para ajudar nos fluxos concentrados de carga ou passageiros para explorar economias de escalas no transporte, sendo um fator determinante do custo e da competitividade de um sistema de transporte e logística.

Os modelos de localização *hub* diferem dos modelos de localização de facilidades clássicas em que a demanda em um modelo local de *hub* é especificado como fluxos (por exemplo, de passageiros ou de carga) entre origens e destinos especificados. Assim, as instalações de *hub* fornecem duas funções principais. Em primeiro lugar, eles fornecem uma função de comutação ou conexão para permitir que passageiros ou de carga a transferir a partir do modo de transporte ou um veículo para outro. Em segundo, eles também podem fornecer uma consolidação, ou fracionadas, funcionam para permitir que os passageiros ou de carga para alternar entre veículos de tamanhos diferentes e diferentes estruturas de custos (CAMPBELL et al., 2003).

Campbell et al. (2003) descrevem que o problema básico localização do *hub* arco é para localizar um determinado número de arcos de *hub* (com reduzido custo de transporte da unidade) para satisfazer uma demanda por viagens entre os pares de origem-destino especificados. Como um problema de localização, as instalações que estão sendo localizados são arcos com custos de desconto, não nós, embora o ponto de extremidade de cada arco *hub* é visto como um hub, como ele deve executar a função de consolidação/fracionadas.

Campbell et al. (2003) determinam a necessidade de se estudar padrões de dois fluxos, neste caso como variáveis de pesquisa científica a redes aéreas *hub-and-spoke*, comentando que assim, existem dois tipos diferentes de padrões de fluxos, neste caso, o transporte de passageiros continental e o transporte de passageiros terrestres por escala metropolitana, porém os resultados de análise podem ser semelhantes entre os padrões.

Levando em consideração as variáveis de pesquisa desta dissertação, como passageiros e cargas, pode-se confirmar que foi de certa forma utilizada os critérios de análise de dois tipos de padrões diferentes: o padrão 1, transporte/fluxo de passageiros e o padrão 2, transporte/fluxo de cargas. Esses dados geram a possibilidade de combinações de arcos aos que são os *hubs*, sendo os objetivos de pesquisa, os aeroportos regionais – *hubs* regionais condicionados às variáveis transporte/fluxo de passageiro e transporte/fluxo de cargas, conforme Campbell et al. (2003).

Bagler (2004) comenta que não se pode proporcionar o mesmo nível de conectividade como de uma rota de alta frequência, sendo que a concentração geográfica dos voos é de suma importância, porém, nesta abordagem não é reconhecida a dimensão temporal como critério. Assim, após a análise entre conectividades e frequências de voos, pode ser corrigido o nível de conectividade com um *ranking* de cada rota de acordo com a sua frequência.

Uma vez que as medidas de comprimento de percurso mais curto, a rapidez e facilmente os passageiros podem viajar de um aeroporto para outro, a conectividade foi empregada para avaliar a eficiência das redes de aeroportos, segundo Li e Cai (2004). A baixa frequência, rota ou uma rota com lugares limitados.

Holmes e Scott (2004) ressaltam que alguns estudos sugerem que o sistema *hub-and-spoke* estão atingindo os limites da sua escalabilidade, sendo que a magnitude e velocidade de suas mudanças recentes fizeram o aéreo europeu e sua rede de transportes serem alvo de interessantes análises de redes *hub-and-spoke*.

Janic (2005) e Ball et al. (2006) comentam que para lidar com a questão da vulnerabilidade do sistema *hub-and-spoke*, utiliza-se de várias estratégias de mitigação que têm sido propostas para adiar, cancelar ou reencaminhar o sistema de transporte aéreo.

Segundo a AirNeth (2005), observa-se que a menor distância entre dois grandes polos em um sistema *dual-hub* sucesso é de 900 km, como no caso da *Northwest Minneapolis-St. Paul* e *Detroit British Airways* que tentaram compartilhar as funções de *hub* do Aeroporto de Heathrow com o Aeroporto de Gatwick, principalmente para aliviar o congestionamento no aeroporto de Heathrow.

Guimera et al. (2005) e Guimera, Sales-Pardo e Amaral (2006) apontam que o número de ligações diretas para um aeroporto nem sempre é um bom indicador por sua importância como fornecedor de conexões indiretas.

Quadro 4 – Dois principais cenários dos resultados estáveis pelas três estratégias

Primeiro resultado estável: quando os	As estratégias da rede <i>Point to Point (PP)</i> são operadas por ambas as companhias, enquanto que para um subconjunto específico de parâmetros de
---------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

mercados internos são pequenos	equilíbrio com uma configuração <i>System Hub (SH)</i> que pode ser derivada de arranjos hubs.
Segundo resultado estável: quando o tamanho dos mercados internos é grande	As configurações são assimétricas, pelo cenário em que uma transportadora escolhe uma estratégia <i>Hub-and-Spoke (HS)</i> e a outra escolhe uma estratégia de <i>PP</i> , sendo o único equilíbrio estável para o sistema de transporte.

Fonte: Adaptado de Alderighi et al. (2005).

É entendido que existe a chamada coexistência ou competição de redes através dos modelos de negócio na indústria da aviação. Conceituando e fundamentando a década em meados de 2000, onde o modelo de serviço completo estabelecido com base no sistema *HS* e o modelo de baixo custo recente baseado no sistema *PP* como alternância e alternativa.

Alderighi et al. (2005) descrevem que existe a viabilidade econômica quando uma cidade se candidata a ser um *hub* e outra a ser um *spoke* para suas relações de modelos de negócios baseado nas movimentação de pouso e decolagens tanto das chamadas Operadoras de Serviço Completo (*FSC*) ou também Companhias de Baixo Custo (*LCC*).

Quadro 5 – Autores relacionados pela configuração de rede no sistema de transporte aéreo

Hansen (1990)	Estuda a competição <i>hub</i> na escolha do nível de frequências de fluxos.
Hong Harker (1992)	Analisam a concorrência para atribuição de faixas horárias de voos.
Oum et al. (1995)	Observa os papéis da concorrência pelo modelo da companhia aérea nas operações de rede, destaca-se a apresentação das operações em rede em que os transportadores investem em <i>hubbings</i> , sendo forte a concorrência de mercados multiprodutos. O uso de redes <i>SH</i> acaba por ser um dispositivo de dissuasão de entrada a região.
Hendricks et al. (1997)	Analisam as assimetrias do equilíbrio do duopólio na competição onde o tempo de saída do <i>hub</i> é usado como um competidor determinante e variável.
Adler (2001)	Contribui com a análise da competição de rede que estuda as transportadoras como uma concorrência de duopólio de duas fases onde primeiro se escolhe seus <i>hubs</i> , as conexões de raios e as frequências e tempo; e na segunda fase eles competem tanto em rotas diretas e indiretas. É constatado que existem equilíbrios múltiplos, bem como desequilíbrios, dependendo dos parâmetros destes fluxos e operações.
Bhaumik (2002)	Investigaram as implicações do bem-estar entre a concorrência das transportadoras e o papel de um regulador.
Franke (2004)	Demonstrou que as <i>LCCs</i> e suas reduções de custos vêm do processo de produção simplificada, o que é fortemente relacionada com a escolha de uma configuração de rede <i>PP</i> . Muitos das diferenças entre as operadoras ou companhias <i>FSC</i> e <i>LCC</i> vem da escolha da rede estrutura.

Fonte: Alderighi et al. (2005).

Alderighi et al. (2005) observam que o preço do transportador por seu serviço só depende da demanda do mercado e a transportadora não tem um poder de monopólio. As operadoras cobram um preço para cada rota separadamente e escolhem suas estruturas de rede para alocar seus aviões na rede. Os centros dos problemas envolvem a questão de como o mercado determina os preços e os fluxos de passageiros.

A regra para a atribuição de fluxos de passageiros na rede é a obtenção de preços, pela hipótese das variáveis de análise tanto de passageiros quanto de transportadoras de menor custo com a combinação de rotas, isto é, sendo rotas diretas pelo sistema *PP* ou rotas indiretas pelos sistemas *HS multi hub*.

Yaman (2005) apresenta um modelo de centro *hub* de chegadas aos destinos que incorporam múltiplas escalas e rotas dos veículos, assim, foi melhorada a formulação utilizando desigualdades válidas e levantamento, e em seguida, testaram a formulação no conjunto de dados e na rede de autoestrada turca.

Starkie (2003) descreve em sua obra que as oportunidades não são apenas possíveis de análises, mas também podem ser economicamente exploráveis. A vantagem que se seguiu a partir de alta densidade de tráfego a nível de rota seria capturada igualmente bem se cada eixo da rede *hub* foi operado por um transportador diferente.

Tan e Kara (2007) relatam que mais recentemente existe uma cobertura dos problemas de *hubs* por um aplicativo para o setor de entrega de carga na Turquia, que apresentaram formulações programadas para um *hub* mais recente, chegando ao problema de cobertura para acomodar diferentes exigências do setor de entrega de carga.

Campbell, Lowe e Zhang (2007) observam que o conceito de *p-hub* como um problema de alocação de centro assume as posições do p centros que são conhecidos, mas não a atribuição de nós não-*hub* para os nós de *hub*. Análise da fase de atribuição é extremamente útil. Em muitas situações do mundo real, especialmente de avião e de carga sistemas de entrega, localização *hub* é uma decisão estratégica de longo prazo.

Campbell, Lowe e Zhang (2007) determinam que existem três componentes separados para cada fluxo *hub-and-spoke*: coleção (nó origem ao nó *hub*), transferência (nó *hub* para o nó *hub*) e de distribuição (*hub* nó a nó de destino).

Os autores classificam os problemas identificados nos *hubs* como problema de alocação única de centro *p-hub* ou problemas de alocação múltiplas de centro *p-hub*, onde os não-*hubs* estão atribuídos exatamente a um *hub*, sendo que este “problemas de alocação única em centro *p-hub*” ou “problemas de alocação múltipla do centro *p-hub*” são divididos em dois casos de análises formulados pelo sua localização. No primeiro caso, os incapacitados de operações *hubs* e o segundo em casos capacitados de operações *hub*. É relevante mencionar que tanto os casos incapacitados quanto os casos capacitados sofrem limitações de operações nos fluxos *hub* ou não-*hubs*, sendo que todos os casos são passíveis de melhorias chamadas de “otimizações nos fluxos *hubs*”, por resultados aplicados para métodos de pesquisa científica

determinados por modelos (teoremas, fórmulas, gráficos, análises estatísticas ou de pesquisa operacional).

Gorin e Belobaba (2008) descobrem que a análise de tradicionais medidas agregadas de desempenho da companhia aérea (como total das receitas do mercado local, a tarifa média no local, mercado e ao tráfego de cada companhia aérea individualmente) tem sido tipicamente o fundamento de tais comparações. Contudo, estes testes têm ignorado os efeitos do tráfego de passageiros da rede e gestão de receitas relativa ao operador incumbente pelas transportadoras.

Gorin e Belobaba (2008) descrevem que os esforços anteriores para investigar o comportamento competitivo nos mercados aéreos foram desconectados da prática de gestão de receitas e envolveram quase exclusivamente a análise de medidas de mercado agregadas da tarifa média e ao tráfego. No geral, nenhum destes estudos proporcionaram um método satisfatório para avaliar a possibilidade de predação, dado a dinâmica das redes aéreas e gestão de receitas. Sendo importante observar que nenhum dos estudos anteriores tentaram estimar o impacto desses fatores sobre a aparente competição e o desempenho após a entrada de novas companhias aéreas ou *hub* no mercado que será avaliado.

Segundo Gorin e Belobaba (2008), o comportamento pesquisado por vários estudos de autores como Perry (1995), Oster e Strong (2001) e Gorin (2004), sobre a competição associando a gestão de receitas e a entrada de novos agentes neste mercado concorrente de tarifas baixas comumente levam a companhia a gerar:

- Um aumento no tráfego mercado local total e tráfego local histórico;
- Uma diminuição na tarifa média, tanto em nível do mercado e das transportadoras já estabelecidas;
- Um aumento no total das saídas de aeronaves no mercado;
- Um aumento na receita total do mercado.

Gorin e Belobaba (2008) alegam claramente que o comportamento predatório do mercado aéreo não pode ser avaliado apenas por abordagens tradicionais como receitas e custos. A gestão de receitas e os fluxos de passageiros aumentam a complexidade da concorrência na análise da rede. A gestão da receita traz em sua estrutura o desempenho da aeronave ou a natureza da resposta de entrada da companhia de *low-fare* (companhia de baixo custo ou tarifas baixas).

Segundo Gorin e Belobaba (2008), é fundamental que a avaliação de respostas competitivas pela entrada *low-fare* nos mercados aéreos leve em conta a nova capacidade

deste operador, as ações de tarifas específicas e a estratégia de preços por participante, bem como a utilização das receitas gestão (ou falta dela) por alguns ou todos os concorrentes.

Entende-se que a Gestão de Receitas está fundamentada nas mudanças contínuas da estrutura das tarifas e redução delas, no planejamento antecipado e posterior, na entrada da companhia aérea com perfil *low-fare* (de baixo custo ou de tarifas baixas) dentro do mercado aéreo, analisando suas características de predatório ou não pelo composição dos *hubs* instalados.

Tsoukalas, Belobaba e Swelbar (2008) relatam que as companhias aéreas tradicionais estão enquadradas em dois contextos diferentes. O primeiro, como companhias *No Low Cost* (NLC) num abrangente sistema de transporte *hub-and-spoke*, composto de redes regionais domésticas com uma linha principal interna e serviços internacionais. Em contraste, num segundo contexto se enquadram as LCCs, que são as companhias aéreas que têm redes menores com um híbrido sistema *hub-and-spoke* que aponta atributos da rede mais simples, como os níveis de serviço e uma menor estrutura global de custos que lhes permitem oferecer significativamente menores tarifas. Embora essas definições parecem ser relativamente simples, na prática, nem todas as companhias aéreas podem ser facilmente classificado como um NLC ou LCC.

Entende-se que os fluxos tanto de rotas como de voos e companhias transportadoras se conectam para melhor visualização da rede e mapeamento dos seus custos unitários.

Tsoukalas, Belobaba e Swelbar (2008) observam que em sua literatura um exemplo de uma companhia que sempre foi considerada uma LCC é por uma boa razão, sendo a pioneira no conceito de manutenção de baixos custos operacionais para entregar um conceito de produto *low-fare* (tarifa baixa). Ainda em sua estrutura original da transportadora analisada era ponto-a-ponto, porém sua rede evoluiu de um complexo híbrido de operações de ponto-a-ponto e *multi-hub*.

Segundo Tsoukalas, Belobaba e Swelbar (2008), as despesas relacionadas com transporte representam a maior parte dos pagamentos feitos pelas companhias aéreas para operadoras regionais de prestação de serviços para cidades menores em seu nome, proporcionando um incremento de ligação tráfego e receita para a operadora de linha principal. Estes pagamentos claramente não representam as reais " despesas operacionais " relacionando isto com a disposição da capacidade de saída da transportadora dentro da linha principal.

Observado que o custo unitário sofre impacto e influência de custo como o de combustível, mão de obra e terceirização de prestação de serviços a operadoras regionais (TSOUKALAS; BELOBABA; SWELBAR, 2008, p.180).

Malighetti, Palearia e Redondi (2008) apontam que uma rede aérea de transporte vista pela sua evolução contínua em dez anos, passa por uma transformação de conectividade onde existe uma relação entre o potencial de um aeroporto para suas conexões indiretas e sua atratividade para os passageiros.

Conforme Malighetti, Palearia e Redondi (2008), a conectividade indireta é frequentemente associada ao conceito de *hubs*, portanto, *hubs* agem como pontos de transferência e desempenham o importante papel de ampliação da rede em sua potencialidade e variedade de possíveis destinos, mesmo quando não há conexões diretas disponíveis.

Malighetti, Palearia e Redondi (2008) constatam que as transportadoras em redes *hub-and-spoke* se estruturaram e consolidaram rotas conforme sua estratégia de configuração de aliança com outras operadoras e companhias na Europa.

Malighetti, Paleari e Redondi (2008) apontam possíveis deficiências entre medidas de conectividade e centralidade nas rotas entre aeroportos intermediários (*hubs* intermediários). Entre seus apontamentos, uma conexão aérea com apenas um voo de passageiros por ano não pode ser usado para justificar um caminho a menos que o mínimo de passageiros, passando a viajar naquele dia em particular, e em segundo lugar, as abordagens tradicionais de caminho mais curto não levam em conta os tempos de viagem, as frequências da viagens ou as preocupações de agendamento para analisar a viabilidade destas conexões entre *hubs* centrais e *hubs* intermediários.

Alumur e Kara (2008) comentam que sua pesquisa de estado da arte sobre a localização *hub* começou com o trabalho pioneiro de O'Kelly (1986; 1987) e que houve um aumento acentuado no número de publicações após o ano de 2000.

É importante ressaltar que estes pesquisadores utilizaram mais de 100 artigos relacionados ao problema de localização de modo geral à redes de transporte aéreo para elaboração de seu artigo, que é acrescentado sobre análise desta revisão de literatura da década de 2000 como alinhamento à pesquisa proposta.

Alumur e Kara (2008) e Campbell, Lowe e Zhange (2007) afirmam em seus estudos que a “localização *hub*” tem várias áreas de aplicação em transporte (aéreo de passageiros e carga) e também em projetos de redes de telecomunicações.

Powel e Sheffi (1983 *apud* ALUMUR; KARA, 2008) apresentaram recortes e limitações de pesquisa sobre conteúdos de cargas aéreas, sobretudo em problemas de

planejamento de carga fracionada, planos especificações de carga em transferências do terminal de origem em uma sequência de um ou mais terminais de consolidação antes de atingir o terminal de destino. Considerando que os modelos de localização *hub* padrão foram desenvolvidos, principalmente para aplicações de transporte aéreo, com alguns modelos de carga específica desenvolvidos recentemente na década de 2000.

Bettini e Oliveira (2008) analisaram um extenso painel de rotas para identificar elementos que influenciaram nas decisões das companhias aéreas regulares de passageiros domésticos brasileiros feitos em relação à capacidade, o fator mais afetado pela “nova regulação”.

Segundo Bettini e Oliveira (2008), alguns dos fatores que influenciam a tomada de decisão das empresas brasileiras em relação à sua oferta de capacidade na rede mercado doméstico, sendo que, em 2003 houve uma nova regulamentação e um acordo de *code-share* entre as maiores companhias aéreas da rede no Brasil. Embora o quadro econométrico necessite de dados de demanda mais adequado, a forma reduzida simples de análise é suficiente para ilustrar as forças básicas por trás da configuração de capacidade aérea no Brasil, como os assentos disponíveis eram significativamente reduzidos durante o período da nova regulação e do acordo de *code-share*, mas não há provas claras de que a presença de uma transportadora de baixo custo impõe restrições relevantes para o potencial do comportamento anti-concorrencial das grandes companhias aéreas no mercado.

Martín e Voltes-Dorta (2009) observam que o comportamento dos passageiros é avaliar os custos de viagem generalizada para o voo de uma cidade A até a cidade B, comparando alternativas de rotas indiretas versus as rotas diretas, de modo que a estrutura da rede das companhias aéreas tenham um impacto importante sobre as escolhas destas demandas aéreas pelas rotas ou trechos.

Segundo Martín e Voltes- Dorta (2009), é comum observar a coexistência de diferentes estruturas de rede no setor aéreo, variando a partir de redes puramente ponto-a-ponto (P-P) de companhias de baixo custo para redes *hub-and-spoke* de transportadoras de serviço completo ou tradicionais em custos.

Martín e Voltes-Dorta (2009) apontam por um índice de desempenho de *hubs* específico (Índice HCI) que leva em consideração o comportamento da conexão de passageiros, desde que as condições de custo imponham alguma concentração geográfica. Assim, ponderando o comportamento *hub-bing* de companhias aéreas pela sua própria concentração. Por esta razão, foi medido a qualidade de companhia aérea *hubbing* considera-se também o grau de concentração dos passageiros de uma conexão.

Campbell (2009) menciona que os objetivos de análises de redes *hubs* se concentram nas combinações de modelos associando *hubs* centrais e objetivos econômicos, *hubs* centrais e níveis de serviços ou mesmo ambas aos modelos comentados para o fornecimento de informações valiosas para a concepção de redes de transporte *hub-and-spoke*.

Campbell (2009) analisa que os modelos clássicos de pesquisa sobre *hubs* têm assumido que os nós de *hub* estão totalmente ligados por arcos de *hub* com redução de custo do transporte. Estes arcos de *hub* refletem que as economias de escala no transporte prestam um importante incentivo para as redes *hubs*.

Segundo Campbell (2009), pelo seu modelo de pesquisa em *hub-and-spoke*, a comparação entre redes de transportes *hub-and-spoke* eficientes ajuda avaliar a capacidade das empresas transportadoras de cargas para melhorar seu nível de serviços sem mudanças significativas em sua própria rede, porém, se acontecer o aumento do nível de serviço poderá exigir a modificação de uma determinada rede *hub* realocando os *hubs* (arcos *hubs*) ou adicionando *hubs* ou arcos de *hubs*.

Campbell, Lowe e Zhang (2007) relatam que existem muitas variantes diferentes do problema centro *p-hub* e o problema mediano *p-hub*, que refletem as restrições operacionais. Por exemplo, um nó não-*hub* pode ser qualquer um atribuído a um único *hub* ou para vários *hubs*, e os *hubs* (ou *links* de *hub*) pode ter um limite de capacidade ou ser incapacitado.

Entende-se que a década de 2000 (para o tema/especialidade *hub-and-spoke*) foi marcada pelos estudos de comparações entre desempenho de companhias aéreas e *hubs*, gerando assim, um comportamento competitivo (predatório duopolista ou monopolista no mercado aéreo), seja ele em países desenvolvidos ou emergentes pelas pesquisas.

Assim, esta competitividade das companhias aéreas e dos *hubs* ficarem submetidas às análises de modelos de redes de transporte aéreo, se *PP* ou *hub-and-spoke*, por tipos de modelos de negócios da companhias aéreas, se *FSC* ou *LCC*. Esta competitividade determinou os preços e os fluxos de passageiros ou cargas. Com estas análises houve também a junção de um novo tipo de modelos de negócios que são as *LCC*, que uniram suas classes em um mesmo voo de uma mesma aeronave, promovendo redução do *overbooking* e do custo em geral.

É evidenciado que se comparado com as literaturas de outras décadas diferentes da década de 2000, seria um grupo de autores que isolam o constructor “passageiros e cargas aéreas”, que são os autores Bowen (2000), Alumur; Kara (2008), Campbell; Lowe; Zhange (2007) e pelo constructo “cargas aéreas” são o grupo de autores Powel e Sheffi (1983), Kara;

Tansel (2001), Tan; Kara (2007), Campbell et al. (2003), Campbell (1994) e Campbell; Lowe e Zanghe (2007).

Por outro lado, dentro destas simulações ou modelagens (metodologia de pesquisa) é retratado o início de alguns autores dando ênfase para correlações das variáveis ou covariáveis entre tarifas, voos, rotas, operadoras/ transportadoras, *hubs*, passageiros e cargas em diversas combinações de pesquisas por diversos autores na teoria *hub-and-spoke*.

Dois pontos fundamentais para esta dissertação são abordados nesta revisão da literatura: o primeiro revela que o estudo da revisão da década de 2000 (período de 2000-2010) auxilia ao fazer uma conexão com o atual cenário do estado da arte da década de 2010 (período de 2010-2015); já o segundo demonstra um grau evolutivo de análise, conceituação e fundamentação *hub-and-spoke*, onde se começa o volume de produções acadêmicas, associando mercado e desempenho de companhias áreas e *hubs* a um enorme universo de variáveis e covariáveis estudadas neste período de 2000.

Com o avanço e consolidação dos estudos sobre a especialidade *hub-and-spoke* dentro do sistema de transportes aéreos, cresce a relevância e percepção no período de 2010 a 2015 dos aeroportos secundários dentro da logística de distribuição aérea, sendo percebido inicialmente que, o processo de distribuição entre os aeroportos secundários são desiguais e que o fluxo *hub* depende das variáveis econômicas (MAERTENS, 2010). Assim, como existe a necessidade de discussão de métricas *hubs* para aeroportos, do grau de especialização dos aeroportos secundários se comparado ao *hubs* primários, do fenômeno *de-hubbing* (desmantelamento ou transferências de fluxos *hubs* a outros *hubs*) e do grau de conectividade dos aeroportos secundários.

Os congestionamentos *hubs* voltam a serem mencionados na revisão da literatura sobre a década de 2010, porém relacionados agora à questão de estimular a interação entre o congestionamento *hub* e a cooperação pelas companhias aéreas. Por outro lado existe a necessidade de entendimento da relação entre as localizações *hubs* e os problemas dos mercados ideais para aeroportos, sejam eles *hubs* primários ou secundários em todo o mundo dentro da hierarquia de rede *hub-and-spoke*.

A questão proposta nesta revisão da literatura sobre o recorte da década de 2010 tem como base contextualizar qual é a atual função de aeroportos secundários e como analisar o seu desenvolvimento e desempenho regional dentro das redes *hub-and-spoke*.

Os temas pertinentes para a discussão do estado da arte *hub-and-spoke* trazem a reflexão do que está acontecendo no exato momento entre toda a consolidação da literatura levantada com as conceituações e fundamentações da pesquisa até a fase transitória, que a

análise e tratamento dos dados, sendo um elo de pesquisa que alinha o objeto de pesquisa, neste caso, os aeroportos e suas redes de transporte aéreo.

Maertens (2010) analisa que o tráfego intercontinental aéreo é um fenômeno desigual em distribuição entre os aeroportos europeus secundários, sendo que, enquanto alguns aeroportos oferecem uma série notável de serviços de longo curso, a maioria não disponibiliza de *hubs* para atrair tais voos, discutindo assim, os fatores de teste e a influência da escolha do aeroporto secundário e transportadores de longo curso.

Segundo Maertens (2010), em seus resultados, o número de voos de longo curso em aeroportos secundários é altamente dependente do poder econômico e da estrutura da indústria na região adjacente. Surpreendentemente, acaba por ser altamente significante estes voos com altos números de passageiros que estão localizados nestas áreas economicamente viáveis.

Conforme Maertens (2010), quando se trata do tráfego de cargas aéreas, é difícil empregar uma variável métrica como, por exemplo, os horários completos das cargas, onde não estão disponíveis, sendo que, os resultados indicam que o comprimento da pista, o capital empregado e o Produto Interno Bruto (PIB) dentro de uma área de influência têm impactos significativos no fornecimento destas cargas aéreas no longo prazo.

Flores-Fillol (2010) lança uma perspectiva mais ampla que elucida o papel dos congestionamentos em aeroportos chamados *hubbing*, concluindo que:

- (i) A divergência entre o equilíbrio e a otimização das frequências aumenta com o tamanho da rede;
- (ii) Se o planejador tem o poder de determinar a capacidade dos aeroportos, as receitas de congestionamento, processos aeroportuários aquém dos custos;
- (iii) A formação de alianças aéreas produz um resultado mais eficiente quando estas operadoras se aliam internamente;
- (iv) O congestionamento impõe às companhias aéreas parcerias;
- (v) Tanto a sub-provisão e excesso de provisão das frequências dos voos são possíveis quando as companhias aéreas competem em tempos de parada no *hub*.

Segundo Flores-Fillol (2010), outros fatores afetam o congestionamento *hub* como o tamanho da rede, a capacidade aeroportuária, as alianças e o tempo de parada.

É percebido que os fluxos das aeronaves de pequeno porte agravam o congestionamento *hub* devido ao excesso de pousos de decolagens, sendo que é necessário o investimento na capacidade aeroportuária, tendo em vista esta operação como uma possível medida para superar o problema do congestionamento. Por outro lado, as expansões da pista

de decolagem são caras e lentas. Então, para a melhoria da consolidação dos aeroportos *hubs* e redes *hubs* e evitando a ineficiência associada ao congestionamento, torna-se necessário estimular a interação entre congestionamento *hub* e cooperação pelas companhias aéreas, mostrando que as alianças levam transportadores a internalizar seu congestionamento em parceira (FLORES-FILLOL, 2010).

Martin (2011) analisa que o *hub* e o comportamento das companhias aéreas entre as falências e fusões influenciam na demanda de passageiros, tendo como base os estudos das tarifas, da população, da distância e das propriedades distintas das cidades de origem e de destino entre os *hubs* e regiões metropolitanas.

Segundo Martin (2011), a relação entre o grau de conectividade *hub* e suas variáveis, por exemplo, a tarifa tem forte influência na queda ou alta dos seus preços, assim como o volume transportado nas companhias aéreas por critérios de aumento ou diminuição das variáveis de consumo nos fluxos *hub* como os voos, sendo isto desenvolvido pela concorrência dos mercados aéreos *hubs*.

Fu, Homsombat e Oum (2011) pontuam que as mudanças significativas que ocorreram na indústria do transporte aéreo nas últimas duas décadas colocam os aeroportos sob pressão crescente para aumentar a receita e reduzir os custos. Desta maneira, introduzem incentivos para os gestores do aeroporto para explorar novas estratégias de negócios.

Uma das estratégias de negócios são as formas de relações verticais que foram formadas entre aeroportos e companhias aéreas, permitindo-lhes alcançar uma série de objetivos, como a obtenção de apoio financeiro e o volume de negócios seguros para o aeroporto, sendo que, ambos são importantes para suas operações diárias e expansões de longo prazo da capacidade aeroportuária. Já as companhias aéreas desfrutam dos benefícios dos efeitos do *hub premium*. Tais relações verticais podem ser uma resposta competitiva para outras alianças de companhias aéreas de aeroportos que podem trazer benefícios à economia e aos consumidores locais (FU; HOMSOMBAT; OUM, 2011).

Segundo Fu, Homsobat e Oum (2011), a maioria das companhias aéreas de rede serviço completo FSC criam redes de múltiplos *hubs*, porém, em sua literatura não é recomendável economicamente que uma companhia aérea tenha mais de um *hub* em uma determinada região.

Redondi, Malighetti e Paleari (2011) mostram que existe um elevado nível de concorrência entre os mais importantes aeroportos do mundo, mas os principais aeroportos da Europa têm uma vantagem geográfica em relação aos mercados mundiais se comparado aos principais aeroportos americanos e asiáticos. Mostram também que os aeroportos localizados

em diferentes continentes muitas vezes competem pelos mesmos mercados de origem e destino, sendo que sua posição geográfica parece ser a mais importante variável *hub* de desempenho explicada, porém os centros secundários mostram um maior grau de especialização para os mercados locais e regionais.

Segundo Redondi, Malighetti e Paleari (2011), um elevado nível de concorrência entre os principais *hubs*, onde todos os que têm pelo menos três outros aeroportos concorrentes dentro do seu mercado, utilizam na análise de desempenho os critérios de tempo médio de viagem para estes *hubs* e os seus principais concorrentes, sendo que nesta análise, a localização geográfica expressa os termos dos fatores de roteamento médios.

Redondi, Malighetti e Paleari (2012) analisam os casos de *de-hubbing*, onde o conceito aborda aeroportos com concentração de tráfego que promovem destinos de rotas intercontinentais e conexões desmanteladas por abandono ou transferência a outro *hub* no transporte aéreo. Os dados desta pesquisa mostram o período entre 1997 a 2009, inicialmente, abordando as condições cumpridas para os aeroportos identificados com este fenômeno.

De acordo com Redondi, Malighetti e Paleari (2012), foi constatado que existiam onze casos de *de-hubbing* na Europa, onze na América do Norte, oito na América Central e do Sul e sete na região Ásia e Pacífico. Em média, estes aeroportos não recuperaram o seu tráfego original após cinco anos. Outro ponto foi que não encontraram nenhum aeroporto que recuperou suas atividades de *hub* por outras operadoras.

Em relação às transportadoras de baixo custo que são introduzidas em um aeroporto, o tráfego se recuperou mais rápido do que a tendência. Pressupõe-se que se as transportadoras de baixo custo não se tornarem significativamente envolvidas, alguns aeroportos não recuperam seu tráfego. A partir desta perspectiva de passageiros e regiões, o número de destinos e os destinos intercontinentais diminuiram menos do que o número de lugares oferecidos (REDONDI; MALIGHETTI; PALEARI, 2012).

Matisziw, Lee e Grubestic (2012) relatam que as descobertas indicam que quando vistos em conjunto, poucas rotas do programa de *Essential Air Service (EAS)* são observadas e estão em correspondência completa com todas as três categorias objetivas: (1) o custo de minimização *hub*; (2) o *hub* intermediário; e (3) a acessibilidade de maximização *hub*, sendo, difícil atingir a distribuição espacial das instalações de transporte aéreo, pelo fato destas estruturas *hubs* estarem sobrepostas na rede *hub-and-spoke*.

Outro ponto são os resultados que a FAA classifica um aeroporto *hub* podendo variar ano a ano, devido às variações no volume de passageiros. Este dinamismo na estrutura do mercado de transporte aéreo americano, bem como o programa de EAS, sugere que os níveis

globais de acessibilidade (por exemplo, assentos por semana) em cada *hub* também são relativamente variáveis (MATISZIW; LEE; GRUBESIC, 2012).

Segundo Matisziw, Lee e Grubestic (2012), conectado ao sistema de transporte aéreo, como aeroportos médios ou grandes, a inclusão de conexões no programa EAS podem estimular a oferta de serviços adicionais como por exemplo, um adicional de fluxos de passageiros em uma base semanal.

Castilho-Manzano, Lopez-Valpuesta e Pedregal (2012) comprovam que os *hubs* espanhóis reforçam a sua posição de domínio, porém, houve um fenômeno de impacto com consequências do efeito de substituição para as *LCCs*, chamadas Companhias Aéreas de Baixo Custo das *Full Service Network Carriers (FSNCs)*, chamadas de Rede de Companhias Aéreas de Serviço nos *hubs* das políticas internacionais. Principalmente nos voos intraeuropeus, este mercado internacional em si não sofreu quaisquer alterações significativas, como este novo desenvolvimento das *LCCs*, conforme foi fundamentalmente baseado na nova demanda de ambos os perfis das companhias aéreas *LCCs* e *FSNCs*, com os novos passageiros e maior frequência de viagens de passageiros. Outro espaço para este mercado aéreo é a complementariedade entre os dois modelos, como conexões nacionais com os centros *LCCs*, alimentando destinos de longa distância explorados unicamente pelas *FSNCs*.

Castilho-Manzano, Lopez-Valpuesta e Pedregal (2012) discutem que os três tipos de efeitos precisamente foram: primeiro, os efeitos de substituição entre LCC e FSNC sobre o tráfego de passageiros dentro do *hub* no mercado interno; segundo, do fluxo externo com relação aos aeroportos secundários regionais; e terceiro, o efeito de complementariedade entre os dois tipos de companhia aérea.

Redondi, Malighetti e Paleari (2013) abordam o critério da acessibilidade ao *hub* para explorar a posição das redes simuladas sem incluir aeroportos pequenos ou regionais e seus impactos em termos de atividade econômica e pressão da concorrência na rede *hub-and-spoke* neste necessário para analisar o comportamento *hub*.

Redondi, Malighetti e Paleari (2013) declaram que a perda de conectividade para a população causada pelo fechamento de aeroportos com tráfegos anuais menores que 1 a 2 milhões de passageiros impacta no custo-benefício econômico destas regiões analisadas. Por outro lado, o aumento do tempo de acesso aos aeroportos de origem é parcialmente compensado pelo tempo de viagem diminuído aos aeroportos intermediários resultando então, na importância marginal deste grupo de aeroportos pequenos ou muito pequenos.

Bilotkach, Fageda e Flores-Fillol (2013) propõem que o processo analisado entre duas companhias aéreas (transportadoras) acentuou a consolidação com o aumento de número de

voos sendo canalizados por meio do seu *hub* principal, no entanto, o congestionamento pode agir como um retardatário da concentração de frequência.

O modelo desenvolvido considera duas companhias aéreas que oferecem redes *hub-and-spoke*, utilizando diferentes *hubs* para conectar os aeroportos “*spokes*” (secundários), assumindo assim, perspectivas de análise verticalmente diferenciadas sobre companhias aéreas, o que permite distinguir entre centros primários e secundários, outra evidência é que a transportadora escolhe como estratégia desviar o tráfego longe de aeroportos centrais onde eram mais propensas a atrasos antes da fusão (BILOTKACH; FAGEDA; FLORES-FILLOL, 2013).

Segundo Bilotkach, Fageda e Flores-Fillol (2013), existem provas consistentes sobre o aumento de fluxo no *hub* primário composto pela primeira empresa do processo de fusão entre as duas companhias aéreas analisadas em detrimento do fluxo de seus aeroportos secundários.

Saberi e Mahmassi (2013) abordam a localização *hub* aérea e os problemas dos mercados ideais, propondo modificações contínuas às formulações de aproximação para o local do terminal sobre o problema em sistemas de distribuição, propondo assim, modelos de aproximação contínua para operações de aéreas restritas e sistemas de único *hub* sem restrições com uma transferência.

Segundo Saberi e Mahmassi (2013), fornecem informações fundamentais e orientações sobre resultados que confirmam a literatura em que a localização ótima de um *hub* depende mais de sua posição geográfica do que sua demanda por viagens aéreas a partir do *hub*, assim, confirmando que o local do problema *hub* da companhia aérea não é sensível para a localização específica do ideal, abordando uma lacuna no planejamento de serviço da linha aérea sobre a modelagem do mercado ideal para *hubs* já localizados em uma estrutura competitiva com várias companhias aéreas.

Ryerson e Kim (2013) colocam que a hierarquia *hub* deve ser analisada pelas variáveis de frequência de voos, de acessibilidade ao *hub* e de passageiros para ajudar e definir a camadas desta hierarquia *hub*, influenciando no índice de conectividade de toda a rede *hub-and-spoke*, assim, esperando uma hierarquia bem formada *hub* com um nível de alta conectividade, frequência de cargas e passageiros. Já em um *hub* de nível inferior, haverá menor conectividade, frequência e movimentação de passageiros.

Segundo Ryerson e Kim (2013), a correlação entre passageiros por mês e a frequência por dia entre o período de 2004 a 2012, extraídos por dados de companhias aéreas americanas, tem o seu tratamento estatístico por regressão simples.

Zhang, Derudder e Witlox (2013) indicam que a capacidade variante de *hubs* das FSCs para reencaminhar passageiros leva em consideração a heterogeneidade entre as rotas *hub-to-hub*, impulsionando ainda mais a variação de preços nestes mercados *hub-to-hub*, sugerindo ainda, que as rotas heterógenas inter *hub-to-hub* também devem ser incorporadas ao estudo do *hub premium*; recomenda-se que o seu modelo proposto controle outros fatores cruciais sobre os preços das tarifas, tais como a concorrência das companhias de baixo custo e a estrutura de mercado.

Ming (2013) investiga que a questão de privatização de aeroportos é concebida por dois cenários: o primeiro, por um *hub* congestionado e o segundo, em dois aeroportos locais ligados a uma rede *hub-and-spoke* para servir às mesmas transportadoras. Neste contexto, as distorções de perdas do bem estar de passageiros nos processos de voos dos fluxos *hub-to-hub* são menores, enquanto que para os dois aeroportos locais a privatização pode ser estratégica ou complementar à rede *hub-and-spoke* dentro deste mercado.

Rodríguez-Deniz, Suau-Sanchez e Voltes-Dorta (2013) discutem sobre a classificação de aeroportos e a relação de seu grau de conectividade por indicadores de centralidade *hub*. Esta classificação gera grandes benefícios aos aeroportos de acordo com suas dimensões fornecidas, das quais, o uso da técnica de agrupamento hierárquico auxilia o contexto *hubbing* de cada fluxo entre os aeroportos.

Fageda (2014) descobre que quando as companhias aéreas em rede reduzem suas frequências, as quotas das companhias aéreas de baixo custo aumentam suas rotas e conexões em aeroportos *hubs*, sendo que, ao contrário do que se pressupunha, as possibilidades das escolhas das companhias aéreas de rede e da sua frequência não são afetadas pela concorrência de companhias aéreas de baixo custo que operam em aeroportos secundários nestas proximidades. Outro ponto determinante evidenciado é que as fusões na Europa resultaram na reorganização da estrutura de rotas em favor dos *hubs* e da sua companhia aérea maior.

Baumgarten, Malina e Lange (2014) aplicam um processo de seleção e descrição das variáveis dependentes através do qual testam a influência da concentração *hubbing* em diferentes medidas de atrasos em *hubs*.

Baumgarten, Malina e Lange (2014) exploram a relação entre o *hubbing* das companhias aéreas e os atrasos dos voos aplicando a *Hubbing Concentration Index* (HCI) como métrica para medir a concentração da rede aérea, concluindo que a alta concentração de HCI implica num alto grau de conexões de passageiros em conjunto com as altas demandas

temporais durante horários de pico, voos operados, crescente complexidade dos processos aeroportuários e companhias aéreas variando ao longo do tempo.

Burghouwt (2014) estrutura dentro da rede aérea três tipos de sistemas *multihub* que podem ser distinguidos como:

1. Complementar: neste “sistema *multihub* complementar” os *hubs* servem algumas rotas de longo curso em conjunto. Isto permite beneficiar o maior rendimento do mercado local de origem-destino em torno de ambos os *hubs* e competir com frequência neste cenário. Os *hubs* são complementares sobre destinos menores: ambos têm rotas de longo curso onde eles possuem uma clara vantagem sobre o outro *hub* ou no mercado de origem-destino.
2. De transbordo: no “sistema de transbordo” os centros secundários exercem as funções como um *hub* de transbordo para o *hub* principal. Grandes destinos são servidos de ambos os *hubs*, mas o *hub* secundário carece de quaisquer vantagens no mercado de origem-destino. Por conseguinte, menores destinos intercontinentais são servidos a partir do *hub* principal.
3. Sistema regional: o centro regional desempenha um papel bastante independente aos hubs primário / secundário cobrindo um mercado geográfico que não pode ser coberto pelos centros primário / secundário.

Burghouwt (2014) descreve que uma série de casos *multihub* fornecem reflexões sobre vulnerabilidade e oportunidades para os centros secundários, sendo que, dentro deste contexto, o tamanho do sistema de alimentação provavelmente define o limiar de serviço comum por ambos os *hubs* considerando o tamanho do mercado local.

Fageda e Flores-Fillol (2015) ressaltam a importância para diminuir os congestionamentos nas redes *hubs* através de investimentos em capacidade no *hub* e a melhoria da comercialização das cidades que sediam os aeroportos *non-hub*, como também redimensionar as faixas de horários dos voos de modo a criar incentivos para as companhias aéreas para aumentar do tamanho da aeronave e redução de sua frequência.

Suau-Sanchez, Voltes e Rodríguez-Déniz (2015) descrevem que a finalidade da ideia de classificar os aeroportos de acordo com o “papel” que desempenham dentro de sua região em rede está sempre presente e a relevância da conectividade nesse aspecto fica clara quando os conceitos de “*hub*” e “conexões” são para nomear suas categorias de aeroportos. Apesar disso, o total de tráfego de passageiros é o critério mais popular para o aeroporto classificação, que sem dúvida, causa a transparência e a simplicidade nas categorizações.

De acordo com Suau-Sanchez, Voltes e Rodríguez-Déniz (2015), o potencial de

conectividade dos aeroportos analisados por índices de conectividade em suas regiões influenciados pela demanda tem um papel fundamental na determinação do papel dos aeroportos nas redes *hub-and-spoke*.

Suau-Sanchez, Voltes e Rodríguez-Déniz (2015) propõem que mercados domésticos e internacionais são combinados, sendo isto, de duas dimensões de atividade "*hubbings*" conceituadas, fornecendo uma perspectiva do método FAA, que impacta na conectividade internacional em caracterizar o perfil *hubbing* dos aeroportos. Já por outro lado, os autores especificam alternativas por um conjunto de critérios para classificação *hub* onde ao invés de utilizar o método da FAA, se formam técnicas utilizadas de agrupamento hierárquico.

Ming e Benny (2015) informam que em suas pesquisas a real necessidade de privatização de *hubs* locais, centrais, nacionais ou internacionais tem o objetivo da análise a demanda de passageiros e cargas, sendo que a privatização gera o aumento dos processos de otimização de infraestrutura e serviços se comparados com a rede *hub-and-spoke* pública.

Segundo Ming e Benny (2015), existe uma tendência e pressão por parte dos mercados internacionais *hub-hub* e do mercado interno *hub* local para melhorias da gestão pública e do custo pelo aumento de taxas para os passageiros nacionais e internacionais para promoção do bem-estar.

Adibi e Razmi (2015) consideram que as demandas e os custos do transporte sugerem o tema "incerteza" como alguns pesquisadores mencionam na literatura, sendo que existem fontes de incerteza, tais como o custo fixo ou tempo de viagem. Segundo os autores, tendo em conta a incerteza na modelagem, geram soluções diferentes, porém, a partir de resultados obtidos, pode ser compreendido que o custo total é mais sensível ao custo do transporte incerto em comparação com exigências da rede.

Yu, Yu e Bo (2015) propõem que a estratégia de design de rede *hub-and-spoke* pelo critério de confiança considera explicitamente a indisponibilidade *hub*, ou seja, a disponibilidade de um *hub* central "substituto" ou "reserva" chamados de *center backup*. Com isto, as decisões de rotas alternativas serão consideradas na fase de projeto e custo relacionando e incluindo a função objetivo deste problema do projeto analisado.

Com esta estratégia pretende-se desenvolver um novo tipo de modelo de otimização para minimizar o custo operacional, considerando tanto a situação normal, que é a interrupção livre, e também situações que existem *hubs* para servir centros *hubs* de apoio para o reencaminhamento, não rompendo com o fluxo dos voos devido aos hubs indisponíveis. Com este estudo computacional, é demonstrado a eficácia desses algoritmos que aplicaram ao modelo, bem como a superioridade dos modelos proposto se comparado aos modelos

clássicos em termos de serviço dos passageiros determinando este modelo como sendo robusto sujeito às variações de taxas de falha do *hub* analisado.

Segundo Yu, Yu e Bo (2015), na rede *hub-and-spoke* utiliza-se o conceito inserido de “*hub* substituto” ou “*hub* reserva” (*backup hub*) dentro do design da rede *hub-and-spoke* para os fluxos de ida e volta paralelo ao fluxo do *hub* central.

Esta revisão da literatura do estado da arte trouxe em si temas importantes relacionados aos fluxos das redes *hub-and-spoke*, que foram colocados em dois cenários de interação: o primeiro, sobre a hierarquia dos aeroportos analisando o comportamento entre *hubs* primários e *hubs* secundários, e no segundo cenário, a relação de verticalização entre aeroportos e companhias aéreas. Independentemente de quais foram os cenários abordados sobre reflexão e análise, os dois trazem em comum a necessidade contínua nas pesquisa dos autores de ações estratégias propostas por temas como o congestionamento *hub* e cooperação das transportadoras, o grau de conectividade *hub* e suas variáveis, a posição da variável geográfica estratégica *hub*, complementariedade entre os dois tipos de companhia aérea (sejam elas FSNCs ou LCCs), a perda de conectividade *hub*, na importância marginal deste grupo de aeroportos pequenos ou muito pequenos, distinguir centro primários de secundários, explorar a relação entre o *hubbing* das companhias aéreas e os atrasos dos voos, aplicando a HCI como métrica para medir a concentração da rede aérea, a conectividade e centralidade de toda a rede.

Ficou expressamente claro que estes grupos de autores procuraram desenvolver pesquisas que apresentam as práticas de análise, mapeamento e melhoria do desempenho das redes *hub-and-spoke* através dos fluxos entre *hubs* primários, *hubs* secundários e companhias aéreas em conjunto com dados econométricos e de operações aeroportuárias de logística de transporte e distribuição.

A pesquisa sobre a especialidade *hub-and-spoke* sempre foi vasta na literatura entre 1978-2015, porém, se comparada e relacionada às publicações científicas do mesmo período ao tema carga aérea “*cargo flights*”, esta última sempre foi menor. Portanto, buscar extrair por meio da literatura um conjunto de autores e pesquisas sobre cargas aéreas “*cargo flights*” e com isto, associar ao contexto internacional, e conseqüentemente, ao brasileiro, no período entre 1999 a 2015, foi o interesse desta abordagem final desta seção.

Nota-se que grande parte desta literatura *hub-and-spoke* para passageiros primordialmente analisa os temas com o tratamento de dados econométricos e de operações aeroportuárias como as variáveis companhias aéreas, fluxos de rotas em aeroportos, volumes de passageiros, valor das tarifas; porém o tema cargas aéreas “*cargo flights*” em redes *hub-*

and-spoke se comparado a esta análise geral foi pouco pesquisado e ainda não se chegou a um volume histórico (décadas) de publicações científicas que o consolide e gere um panorama vasto na engenharia de produção (logística aérea) ou transportes como a literatura *hub-and-spoke* de cargas aéreas para os outros temas já citados.

Morrel e Pillon (1999) comentam que a tendência de que a indústria da aviação se transformou em um negócio de rede com concorrência cada vez maior entre as alianças aéreas. Neste mercado aéreo de carga aérea existem acordos que só surgiram recentemente. Por outro lado, da mesma forma, é incerto analisar como visto nas alianças de passageiros se as alianças de cargas aéreas utilizarãoos mesmos processos.

Em muitos casos, as companhias parceiras não conseguem consolidar suas alianças de relacionamento a longo prazo, e muitas vezes rompem estas alianças antes de uma cooperação mais estreita que poderia oferecer "benefícios maiores" se consolidadas. Isso pode atrair um agrupamento de outras alianças potencialmente mais fortes neste caso dentro do contexto de cargas.

Segundo Morrel e Pilon (1999), a aliança de companhias aéreas aumenta a eficiência de conexão de passageiros e cargas aéreas, gerando serviços combinados (centros de serviços), sendo que, isto provoca o aumento da atividade *hubbing* pelo aumento dramático dos raios e rotas na formação de novas conexões de *hubs* beneficiando a frequência dos serviços de cargas.

Kara e Tansel (2001) mencionam que o modelo de localização de padronização *hub* não é apropriado para sistemas de distribuição de carga, porque não calcula os tempos totais de viagem corretamente. Os tempos transitórios permanecem esperando nos *hubs* e não são incorporados. Os autores observam esta ineficiência e propõem modelos matemáticos para o problema de localização de *hub* em que os tempos transitórios (*hubs* transitórios) são considerados.

Gardiner, Ison e Humphreys (2005), Gardiner, Humphreys e Ison (2005), Gardiner e Ison (2008) enfatizam que é necessário examinar as companhias aéreas não integradas de carga como um grupo homogêneo de atores e por outro lado mencionam outra necessidade que seria avaliar a configuração da rede das companhias aéreas de carga e quantificar a importância dos aeroportos individuais para a companhia aérea sendo este processo chamado de "hierarquia aeroporto".

Yaman, Kara e Tansel (2007) comentam as características do sistema *hub* como as ressaltadas em estudos na década de 2000 sobre *hubs* terrestres em comparativo com hubs aéreos:

- 1) Um sistema baseado em *hubs* tem seus fluxos formados de origens para destinos seguindo uma rota de transporte que consiste em três pilares: a) desde a origem até o seu *hub* servindo; b) a partir do *hub* servindo ao *hub* que serve o destino; e finalmente c) a partir do segundo *hub* para o destino;
- 2) A análise de modelos abrangentes para sistemas de entrega de encomendas são baseadas em *hubs* que além da localização do padrão, utilizam também de decisões de alocação para tratar de questões relativas a várias ligações, como o design de rotas de veículos e os tempos de espera inevitáveis em *hubs*.

Segundo Yaman, Kara e Tansel (2007), a mais recente introdução sobre “Problemas de *Design* em Redes *Hubs*” é o problema de determinar os locais dos *hubs*, a alocação de *non hubs* para *hubs*, e a estrutura de roteamento associado entre *non hubs* e *hubs* com várias ligações de modo a minimizar o tempo de chegada da última carga para chegar aos destinos, sendo que o seu modelo proposto dá uma resolução completa do problema.

Yaman, Kara e Tansel (2007) observam que a seleção de um *hub* baseia-se na localização e demanda de mercado suficiente alta para um par de "origem-destino" a favor das operações de voo. Por conseguinte, um método detalhado de otimização e de planejamento de rota é usado para obter uma base precisa para planejar o sistema de transporte.

Existe dentro do fluxo da rede *hub-and-spoke* fenômenos de “hierarquia de aeroportos” que são aeroportos dentro desta estrutura classificados como *hub* primário, *hub* secundário, *hub* terciário e um aeroporto, chamado *spoke* de ligação entre toda a rede *hub* em um ponto estratégico geográfico para dar suporte ao escoamento dos voos destes três primeiros comentados (YAMAN; KARA; TANSEL, 2007).

Segundo Yaman, Kara e Tansel (2007), a *FAA* classifica os aeroportos anualmente com base na percentagem de embarque de passageiros e o volume de carga ranqueando nos aeroportos pelos critérios de percentagem de produção de carga, sendo esta analisada pelo volume de carga (kg) associado à quantidade de voos domésticos e internacionais. Estes critérios classificam os aeroportos em *hubs* de pequeno porte, médio porte ou grande porte.

Smilowitz e Daganzo (2007) apontam que, ao contrário dos passageiros das companhias aéreas, os transportes de cargas aéreas podem ser encaminhados através de mais *hubs* se os resultados do fluxo e movimentação das economias de escala e poupanças de custos forem atrativos.

Tan e Kara (2007), Yaman, Karasan e Kara (2012), Alumur, Yaman e Kara (2012) comentam em seus estudos de problemas de localização *hub*, que a rede é assumida por

completa em apenas único meio de transporte, neste caso, o aéreo sendo centrado nas análises de operações de horários de partida, tempos de entrega e custo na operações de cargas.

Alumur, Yaman e Kara (2012) determinam que a potencialidade dos fluxos *hubs* é feita em aeroportos pelo critério de análise do volume de operações de cargas aéreas em uma rede multimodal e hierárquica.

Segundo Alumur, Yaman e Kara (2012), com os diferentes níveis de serviço, as localizações dos aeroportos centrais tendem a permanecer o mesmo, embora o número total de centros a serem localizados seja aumentado. Outro ponto é que testando e comparando diferentes localizações para o aeroporto *hub* central, os resultados foram diferentes em relação aos aeroportos centrais, sendo vantajoso sob diferentes promessas de tempo de serviço, portanto, a localização do centro de aeroporto central também pode ser determinada de forma ótima uma vez que o nível de serviço é definido.

Tan e Kara (2007) reconhecem que no problema de localização *hub* os fluxos com a mesma origem e diferentes destinos são consolidados em sua rota em um nó *hub*, e eles então são combinados com os fluxos de diferentes origens indo para os mesmos destinos. Esta "consolidação do fluxo e difusão" é chamado *hubbing*.

A vantagem do *hubbing* é que, ao consolidar os fluxos as economias de escala podem ser alcançadas devido ao transporte a granel. O *Hubbing* é encontrado em sistemas de linha aérea, sistemas de entrega de carga e telecomunicação com projetos de rede, porém, os autores se concentraram na pesquisa em sistemas de entrega de carga.

A rede de conexão *hub* é chamada de “*networkconnecting*”, incluindo assim, todos os *hubs* e seus aeroportos “concentradores” que influenciam no poder de decisão de quais serão os *hubs* concentradores de cargas aéreas (TAN; KARA, 2007).

Petersen (2007), Bartodziej et al. (2009), Leung et al. (2009), Li, Tal e Wang (2009), Wang e Kao (2008), Amaruchkul e Lorchirachoonkul (2011) propõem uma reflexão sobre as diferenças entre as operações de carga e de passageiros. O Quadro 6 identifica estas diferenças.

Quadro 6 – Diferenças entre as operações de carga e de passageiros

Critérios	Diferenças
(1) Incerteza	O transporte aéreo de carga tem maior incerteza do que o transporte de passageiros em termos de disponibilidade de capacidade. No transporte de passageiros, os passageiros podem cancelar as reservas, e um pequeno número de passageiros pode não aparecer. No entanto, na reserva de capacidade para cargas aéreas, é necessário a promessa da utilização da capacidade de carga em especificações de voos antecipadamente (a reserva está sujeita a uma volatilidade).

(2) Complexidade	A previsão da capacidade de carga é significativamente mais complexa do que a previsão da capacidade dos aviões de passageiros. Enquanto a capacidade de um avião de passageiros é fixada pelo seu número de assentos, a capacidade de carga depende dos tipos de contentores utilizados, chamados de unidades de carregamento, que são ainda mais específicas por múltiplas dimensões, como o peso, o volume, tipo, e centro de gravidade.
(3) Flexibilidade	Os itinerários das companhias de transbordo entre uma origem e destino para o transporte de cargas o beneficia mais, do que o transporte de passageiros. Em geral, todas as principais companhias aéreas operam chamadas redes <i>hub-and-spoke</i> . Passageiros e carga são transportados a partir de muitas origens diferentes para um pequeno número de centros aéreos, onde os passageiros e a carga estão consolidados e, em seguida, transportados para outros centros com o uso de aeronaves <i>wide-body</i> (fuselagens largas). Para o transporte de passageiros, muitos trânsitos são inaceitáveis, enquanto a carga aérea pode ser transportada através de vários aeroportos intermédios desde a origem até o destino para cumprir o prazo de entrega.

Fonte: Próprio autor (2015).

Gardiner e Ison (2008) detectam a existência de três classes de decisões importantes para o operador de carga aérea optar sobre em qual aeroporto vai operar conforme: (1) geografia de localização do aeroporto; (2) retorno financeiro (incluindo as taxas aeroportuárias, etc.); e (3) as operações de segurança do aeroporto.

Wu, Han e Hayashi (2011) demonstram que o crescimento das redes *hub-and-spoke* tem permitido os grandes aeroportos que limitavam o tamanho da demanda de passageiros na área de captação se tornarem os principais *hubs* de cargas em suas respectivas regiões.

Scholz e Cossel (2011) relatam que o forte crescimento das toneladas de frete aéreo que até mesmo ultrapassam as taxas de crescimento de passageiros mudaram o relacionamento entre aeroporto e companhia aérea, sendo que, a carga tornou-se uma fonte de receita significativa para as companhias aéreas, bem como para os aeroportos.

Scholz e Cossel (2011), Onghena (2011), Heinicke (2006; 2007) descrevem que a literatura sobre a relação entre os aeroportos e as companhias aéreas de carga é escassa e este tipo de pesquisa até agora tem sido focado em suportes integrados, embora 25 das maiores companhias aéreas de carga em parte do total de 30 destas, são portadores não integradas de cargas em redes *hub-and-spoke*. Isto implica que a interpretação da não consolidação da rede por estas 25 companhias aéreas, segundo os autores mencionados.

Os transportadores integrados oferecem serviços *door-to-door*, considerando que a relação de pares (aeroporto a aeroporto) para os prestadores concentram-se no negócio do transporte aéreo pelo transporte de carga da origem ao destino. Assim, estes prestadores na relação de pares (aeroporto a aeroporto) combinam sua capacidade de aeronaves de passageiros com capacidade de cargas com perfil de aviões cargueiros, chamadas de companhias aéreas combinadas (SCHOLZ; COSSEL, 2011).

Segundo Scholz e Cossel (2011) complementam que a importância dos aeroportos individuais em uma rede geralmente é avaliada por medidas baseadas em localização como, por exemplo: passageiros, carga ou números de operações, porém estas abordagem sendo analisadas isoladamente em suas medidas negligência a importância do aeroporto para toda configuração de rede (estrutura da rede *hub-and-spoke*), sendo necessária a abordagem temporal e espacial para garantir a otimização da rede e sua caracterização.

Scholz e Cossel (2011) sugerem que as implicações para a gestão de aeroportos têm relação com a atividade econômica geograficamente concentrada, analisando como é a demanda de carga aérea, sendo que 80% de carga aérea em todo o mundo sejam transferidos entre os principais mercados da Ásia, América do Norte e Europa.

De acordo com Scholz e Cossel (2011), a concentração da demanda de frete aéreo limita o número de alternativas para o aeroporto e para as companhias aéreas, mas a concorrência para o aeroporto pode ser observado em muitas regiões do mundo. Na maioria dos principais aeroportos dificilmente estão disponíveis para os novos fluxos de carga aérea, mas bem perto destes aeroportos, outros secundários oferecem capacidades abrangentes para as companhias aéreas e não estão trabalhando em sua capacidade máxima. Economistas definem o mercado como um comprador onde a oferta (capacidade aeroportuária) é abundante e a procura é limitada (demanda das companhias aéreas), onde os compradores têm uma grande variedade de escolha.

Conforme Scholz e Cossel (2011), a análise contínua por meio das estruturas de rede das companhias aéreas de carga é financeiramente essencial para os aeroportos verificarem o seu estado dentro da rede da companhia aérea que opera, principalmente relacionado às receitas de carga gerando um aumento absoluto para estes aeroportos.

De acordo com Scholz e Cossel (2011), os transportadores (companhias aéreas) “combinados” de passageiros e de carga aérea operam com as maiores companhias aéreas da América do Norte, Europa e Sudeste Asiático, transportando a carga com base em critérios relacionais que são as receitas, as toneladas e as milhas transportadas em um ranking pesquisado por organismos oficiais. Tornou-se evidente nos valores de concentração que as companhias aéreas combinadas analisadas tendem a operar redes mais concentradas, estas análise servem como ponto de partida sobre a estrutura da rede de companhias aéreas de carga que mostrou que as metodologias de investigação das companhias aéreas de passageiros também são operáveis para operações de cargas.

É importante ressaltar que, diante das colocações dos autores supracitados, a concentração geográfica de carga aérea se concentra no hemisfério norte por questões de

proximidade geográfica, perfil dos países e tipo de carga aérea. Dentro desta análise é evidenciada a necessidade de estudos no hemisfério sul sobre as interações dos *hubs* regionais para movimentação de passageiros e cargas em suas redes de transporte aéreo.

Conforme Scholz e Cossel (2011), a identificação de aeroportos em posição estratégica dentro da configuração de rede relaciona a sua principal empresa de carga aérea. Sendo assim, os aeroportos podem originar a sua posição competitiva em relação aos concorrentes sugerindo que os aeroportos centrais continuem a ser bem sucedidos em manter suas companhias aéreas, enquanto que os aeroportos secundários necessitem definir suas estratégias de incentivos (por exemplo, taxas, horas de funcionamento, períodos de operação noturna, voos, etc.) para um compromisso de longo prazo da empresa de carga aérea operacional.

No entanto, a alta flexibilidade das companhias aéreas de carga oferecem perspectivas com a dinâmica da indústria que permite aos aeroportos secundários, chamados *non hub*, atraírem futuros serviços, sendo que eles podem oferecer instalações de primeira classe a preços competitivos que atraiam demandas adicionais ou transitórias para transporte de mercadorias.

Grosso e Shepherd (2011) relatam que por meio de análises de relatórios da *International Air Transport Association* (IATA), em 2006, que a velocidade e a maior confiabilidade da carga aérea desempenham um papel essencial na implementação de redes de produção internacionais e *just-in-time* (JIT) de gerenciamento da cadeia de suprimentos, onde a carga aérea é atualmente responsável por 35% do valor do comércio mundial e a maior incidência deste crescimento e desenvolvimento está na região da Ásia-Pacífico.

Segundo Grosso e Shepherd (2011), as firmas avançadas de fabricação também estão cada vez mais próximas dos centros de carga aérea para otimizar suas estratégias de localização. Além disso, a natureza desequilibrada dos fluxos de carga exige muitas vezes uma segunda ou terceira paragem, a fim de fazer rotas lucrativas. A flexibilidade na prestação de serviços de carga aérea tornou-se cada vez mais necessária, como parte das cadeias de abastecimento internacionalmente fragmentadas de hoje e com práticas de *JIT* de fabricação. Outras restrições que afetam as operações das transportadoras, como a diversificação em serviços auxiliares que restringe a prestação de serviços integrados de carga aérea.

Alumur, Yaman e Karan (2012) relatam que as instalações *hub* estão presentes em várias redes de distribuição, sendo que essas redes são formadas pela demanda e são encaminhadas através da facilidade do próprio sistema de rede de transporte. Mesmo que o movimento do tráfego seja o mesmo, cada área de aplicação tem seus requisitos adicionais,

suas especificações concentradas e características operacionais de redes de distribuição e entrega da carga aérea. Sua análise principal é sobre as atribuições de nós de demanda para *hubs* terrestres e aeroportuários.

Oktal e Ozger (2013) em seus testes de modelos de redes *hub-and-spoke* para cargas aéreas utilizaram dados secundários do mercado de carga aérea da Turquia, especialmente em relação aos custos e tráfego dos fluxos por razões comerciais como as despesas de viagem, às despesas de *hub* fixas e ao tráfego de cargas, analisando estatísticas entre aeroportos que não poderiam ser obtidas a partir de uma transportadora. Este modelo testa a estatística da variável cargas de uma grande companhia aérea turca.

Segundo Oktal e Ozger (2013), o aeroporto mais movimentado em análise da Turquia lida com a metade do tráfego da carga aérea doméstica. Uma das razões é por que o hub tem a carga bidirecional de tráfego de fluxos com todos os aeroportos da rede.

Quadro 7 – Estudo das Cargas Aéreas “*Cargo Flight*” sobre Redes *Hub-and-Spoke*

Objetivos da Pesquisa	Autores
Determinar os tamanhos das frotas e horários, garantindo simultaneamente um determinado nível de serviço.	Lin, Lin e Lin (2003)
Projeto de redes de distribuição com pacote integrado hierárquico (matriz/filial ou <i>hub center/hub</i>) com vários níveis de serviços utilizando transporte aéreo e terrestre.	Smilowitz e Daganzo (2007)
Rede estruturada de árvore onde eles procuram minimizar a soma das violações das garantias de entrega das cargas.	Chen et al. (2008)
Minimizar o custo total do transporte, assegurando o transporte definindo o tempo de entrega considerando apenas as atribuições viáveis.	Campbell (2009)
Consideração dos tempos de viagem estocásticos.	Sim, Lowe e Thomas (2009)
Projeção e localização de rede <i>hub</i> hierárquica	Yaman (2009)
Utilização de redes de <i>hub</i> incompletas.	Alumur e Kara (2008).
Efeito de estratégias de alocação em diferentes <i>hubs</i> .	Yaman (2011)
Problema de minimização de custos para o setor de carga em que os tempos de liberação são determinados além dos locais de <i>hubs</i> .	Yaman, Karasan e Kara (2012)
Determinar o tempo de viagem de caminhões e aviões dentro da rede hub por volume de carga, tempo de carga e descarga, tempo de carga ao seu destino <i>hub</i> (utilização de dois conjuntos de variáveis: (1) fluxos de origem/destino de <i>hub</i> terrestres (caminhões) e (2) fluxos de <i>hubs</i> aéreos (aeroportos), já a restrição é a demanda de tráfego por ligações <i>hubs</i> .	Alumur, Yaman e Kara (2012)
Sistemas de entrega de carga (por vários ramos de entrega da carga que operam na Turquia que permitiu determinar as restrições, exigências, e critérios do <i>hub</i> , como o problema de localização específica para o setor de entrega de carga).	Tan e Kara (2007)
Analisar primeiro um sistema de entrega de carga em firma típico operando na Turquia e observar que componentes são essenciais	Yaman, Kara e Tansel (2007)

para conexões de um sistema de entrega de carga em terra.	
Teste de modelos de papéis restritos para as escolhas estabelecendo redes <i>hub-and-spoke</i> de cargas.	Oktal e Ozger (2013)

Fonte: Próprio autor (2015).

Laew e Tok (2015) descrevem que as cidades com uma elevada concentração de empresas que fabricam bens, provavelmente favorecem a utilização de serviços aéreos de carga mais do que as cidades que não são movidas por atividades de produção.

Segundo Laew e Tok (2015) o transporte aéreo geralmente facilita a movimentação de produtos acabados sensíveis ao tempo para atacados, vendedores de varejo e os usuários finais. No entanto, os fabricantes também podem utilizar os serviços de carga aérea em sua cadeia de fornecimento para o transporte de insumos para produtos que estão em desenvolvimento. Do lado do consumo, são esperados indústrias (financeiras e firmas legais, os estabelecimentos médicos, a tecnologia da informação e as empresas farmacêuticas, etc.), prestadores de serviços que dependem fortemente dos serviços de entrega acelerada e também porta-a-porta garantidos pelos despachos expressos e integradores para mantendo sua competitividade.

De acordo com Laew e Tok (2015), as relações entre as economias regionais e o tráfego de cargas aéreas têm utilizado dados em método de painel sobre o aeroportos, empregos, salários e a composição demográfica das áreas urbanas na Califórnia com variáveis socioeconômicas indicando o aumento dos volumes de carga aérea em cidades de toda esta região.

Laew e Tok (2015) mostram que o crescimento econômico urbano afeta positivamente no tráfego de carga aérea, sendo que o seu respectivo trabalho demonstra que um modelo econométrico simples baseado em dados publicamente disponíveis podem ser utilizados para caracterizar os determinantes do tráfego de carga aérea.

Feng, Li e Shen (2015) descrevem que o transporte de carga é mais complexo do que o transporte de passageiros porque o primeiro envolve mais atores com processos, portanto, é mais sofisticado combinando volumes, serviços prioritários variados, estratégias de integração e de consolidação de vários itinerários em uma rede de transporte.

Huang e Lu (2015) formulam que o modelo de programação dinâmica multidimensional apresenta um problema de rede em Gestão de Receitas (*Management Returns*) para carga aérea relacionando a incerteza da demanda com a composição do tráfego aéreo em *hubs* para reduzir o custo e otimizar a Gestão das Receitas em carga aéreas.

Zhang e Zhang (2002) observam que dentro do setor da carga aérea, houve

historicamente dois tipos principais de carga, ou seja, a carga expressa e a geral (*heavy-lift*). Este último ainda está em posição dominante, por exemplo, é responsável por cerca de 95% em peso e 85% em valor do frete aéreo tratadas por Hong Kong. Em todo o mundo, a quota de mercado foi de cargas expressas em valor de 9,2% em 1999 no total de cargas.

No entanto, nas últimas duas décadas este perfil tem testemunhado um crescimento muito mais rápido de carga aérea expressa do que no negócio global do mercado de cargas aéreas.

De acordo com Zhang e Zhang (2002), os integrados que são as empresas aéreas e a estrutura industrial sofrem influência da competitividade pela expansão dos serviços de cargas aéreas baseados em critérios, como o valor agregado, as estratégias de expansão e o rápido crescimento de aplicações da internet impactando na gama de produtores e fornecedores.

O desenvolvimento desta subseção traz o panorama sobre o tema cargas aéreas “*cargo flights*” em redes *hub-and-spoke*, levando em consideração a necessidade de contextualização histórica de publicações em periódicos sobre esta temática de pesquisa no Brasil.

Alamo e Brinati (2006) propõem a configuração para projetar uma rede de distribuição de encomendas expressas, visando minimizar custo e garantir um bom nível de serviço, através da instalação de um único *hub* maior (*Hub* Principal), que serve de transbordo para os fluxos de carga entre as distintas regiões de um território, e um conjunto de terminais regionais (*mini-hubs*), servindo como ponto de conexão unicamente, para os fluxos de carga existentes em um determinado raio de cobertura. Os autores pretendem resolver o problema de localização-alocação de *hubs* para um sistema de transporte de encomendas expressas, envolvendo as seguintes decisões:

1. A partir de um conjunto de locais candidatos, determinar quantas e quais dessas instalações logísticas deverão assumir o papel *hub*;
2. Quais das instalações físicas restantes serão alocadas em cada *hub* com o objetivo de obter uma rede de distribuição de mínimo custo e um bom nível de serviços?;
3. Qual será o roteiro utilizado para movimentar as encomendas expressas entre cada par origem-destino? Isto é, por quais e quantos *hubs* deve passar a demanda de carga para chegar a seu destino?;
4. Examinar a possibilidade de projetar uma rede de distribuição física com um número de paradas nos terminais de consolidação.

Segundo Alamo e Brinati (2006), a maioria das pesquisas realizadas até o momento sobre localização de *hubs* foi proposta para projetar redes de transporte aéreo de passageiro visando unicamente à minimização dos custos variáveis do transporte.

Silva Junior e Galvão (2008) questionam que a maioria da literatura *hub-and-spoke* se concentrou no transporte de passageiros e aplicações relacionadas à projetos de redes, porém, enfatizam que a maioria dos artigos sobre as redes *hub-and-spoke* para sistemas de entrega expressas tratam de questões táticas como o projeto de rotas de entrega e a coleta e a composição da frota. Estes autores dão prioridade à outra vertente sobre questões de estratégias relacionadas à localização de facilidades *hubs*.

Fraga (2011) propõe que a análise econométrica simplificada do setor doméstico de carga aérea brasileiro no aspecto temporal de 1997 e 2001, caracterizando o setor e o seu comportamento de nicho, onde era de 32% de concentração da movimentação de cargas domésticas que se localizavam nos aeroportos do estado de São Paulo (Guarulhos-20%, Campinas-8% e Congonhas-4%), utilizando o método de estatística de modelagem com as técnicas de regressão linear para comparar resultados, tendências e contribuições futuras no setor de cargas aérea.

Costa, Lohmann e Oliveira (2011) utilizam para o cálculo de aplicação indicadores de concentração dados obtidos da Hotran, publicação do antigo Departamento de Aviação Civil (DAC) e atual Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), que registra os voos comerciais regulares (domésticos e internacionais) de transporte de passageiros e/ou carga das empresas de transporte aéreo regular que estão autorizadas a executar estes horários, itinerários, frequências e equipamentos pré-estabelecidos e dados da Infraero disponíveis em seu site sobre o movimento nos 67 aeroportos dentro de um aspecto temporal de 1998 a 2007.

Oliveira e Correia (2011) utilizam fatores de comparação de aeroportos brasileiros relacionados à cargas, áreas do aeroporto, processos, frequências de voos, companhias aéreas, agentes de cargas, aspectos do mercado, faturamento e volume anual de carga (ton/ano), por meio de consulta ao *website* da Infraero no período de 2006 a 2007, possibilitando o entendimento daquele momento da infraestrutura de carga aérea no Brasil.

Junior e Torquato (2012) observam que a análise empírica referente ao setor de transporte aéreo regional no interior do estado de São Paulo tem sua evolução na quantidade de passageiros transportados, na movimentação de cargas e de aeronaves em função de seu forte crescimento econômico.

Segundo Raia Junior e Torquato (2012), a relação do crescimento do setor de transportes associado à desconcentração das atividades industriais resulta no crescimento no transporte de passageiros e de cargas, além da maior movimentação de aeronaves (pousos e decolagens) no período analisado de 2006 a 2011.

De acordo com Raia Junior e Torquato (2012), com base no DAESP, dentre os 30 aeroportos por ele gerenciados, no período de 2006 a 2011, apenas 6 cidades dispunham de serviços regulares de transporte aéreo, ao final do período que são os aeroportos de Araçatuba, Bauru, Marília, Presidente Prudente, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto.

O aumento da demanda e de movimentação de cargas nos terminais é gerado pelo crescimento econômico do período analisado de 2006 à 2011, justificando os aportes de investimentos em três aeroportos dos trinta analisados que são Ribeirão Preto, São José do Rio Preto e Presidente Prudente, sendo que este último está em um patamar de volume de operações intermediário se comparado aos outros dois pelos relatórios do DAESP e pelas variáveis de passageiros e cargas (RAIA JUNIOR; TORQUATO, 2012).

Silveira e Quintilhano (2015) relatam que no Brasil a movimentação de cargas domésticas (nacionais) teve um crescimento médio anual de 50% entre os anos de 2004 e 2013 e as empresas aéreas TAM (atualmente LATAM), Gol e ABSA lideraram a movimentação de cargas domésticas no Brasil.

Segundo Silveira e Quintilhano (2015), as condições da economia brasileira (para novos investimentos no setor aéreo), sobre os ganhos de produtividade das companhias aéreas de cargas estão ligadas também às estratégias competitivas e logísticas, em especial, na busca pela ampliação de mercados e inserção internacional.

De acordo os autores, no Brasil não existe um único aeroporto próprio para cargas, ou seja, que atenda somente aviões cargueiros, só existe para a movimentação de cargas aéreas nos aeroportos que são os chamados de Terminais de Cargas Aéreas (TECAS) e um terminal denominado aeroporto industrial, assim, estes recintos estão inseridos dentro do fluxo de um aeroporto tanto de passageiros quanto de cargas.

Conforme Silveira e Quintilhano (2015), a localização geográfica das infraestruturas aeroportuárias em regiões onde se concentram polos geradores de capital intensivo de conhecimento (parques tecnológicos, indústrias automobilísticas, indústria de informática), fazem com que as companhias aéreas direcionem suas estratégias competitivas para estas regiões. Porém, o transporte de cargas aéreas no Brasil não é exclusividade das atividades de capital intensivo ou de alta tecnologia, é utilizado sobre os critérios de urgência, natureza do produto e suas perenidades e velocidade do transporte.

Silveira e Quintilhano (2015) relacionam que o transporte de cargas nacionais, em termos de volume, é a segunda fonte de receitas das companhias aéreas, pois a primeira é a de passageiros.

Nesta abordagem, o tema cargas aéreas dentro do contexto internacional explorou aspectos comparativos entre as alianças para o mercado aéreo de cargas e seu comportamento diferenciado se comparado às alianças de companhias aéreas de passageiros; também trouxe outros estudos e perspectivas sobre alianças que geram serviços combinados simultaneamente de passageiros e cargas, e por outro lado, que existe o aumento da frequência dos serviços aéreos de cargas através do aumento da atividade *hubbing*.

Fatores como a influência dos tempos transitórios nos *hubs*, o uso múltiplo das aeronaves, a economia na utilização dos *hubs* intermediários em consolidação para a redução dos custos com as operações de cargas aéreas fracionadas, a otimização do nível de serviço, as diferenças entre operações de carga e de passageiros e a relação entre a configuração da rede *hub-and-spoke* e os aeroportos individuais quantificados também foram observados e tratados pelos dados levantados cientificamente.

Foram propostos dois quadros para o entendimento do fluxo *hub* de cargas aéreas compostos pelas (1) diferenças entre as operações de carga e passageiros e pelo (2) estudo das cargas aéreas “*cargo flights*”. Já sobre o fluxo de rede e suas implicações para o termo cargas aéreas “*cargo flights*” foram expostas duas figuras para o entendimento do leitor, compostas pela (1) estrutura da rede *hub-and-spoke* e terminando com a (2) integração do modelo de crescimento da rede.

É importante ressaltar que, diante das colocações dos autores, a localização geográfica de carga aérea se concentra no hemisfério norte por questões de proximidade geográfica, perfil dos países e tipo de carga aérea. Dentro desta análise, é evidenciada a necessidade de estudos no hemisfério sul sobre as interações dos *hubs* regionais para movimentação de passageiros e cargas em suas redes de transporte aéreo.

Nos aspectos do contexto brasileiro sobre cargas aéreas, existem proposições sobre a configuração do projeto de rede de distribuição de cargas, a escassez da literatura sobre cargas aéreas em redes *hub-and-spoke* se comparado à literatura sobre passageiros em redes *hub-and-spoke*, a concentração da movimentação das cargas aéreas em alguns *hubs* primários paulistas, a aplicação de indicadores de concentração em voos domésticos e internacionais nos *hubs* brasileiros e finalizando a influência dos dados da economia no setor de cargas aéreas e *hubs* de maneira em geral e a localização geográfica das infraestruturas aeroportuárias.

2.2.1 Classificação *Hub* para Aeroportos

As classificações dos aeroportos pela literatura mundial é amparada em instituições como a FAA, o DOT nos Estados Unidos, que apontam aplicações mencionadas por diversos

autores brasileiros. Siqueira (2008) aponta que a FAA traz esta orientações para classificações entre *hubs* aeroportuários grandes, médios, pequenos ou *non-hub* sobre o critério de volumes de passageiros em conexões (Quadro 8).

Quadro 8 – Tipo de *hub* em relação ao número de passageiros em conexões com base no FAA do Estados Unidos

Grande	acima de 7.102.993. passageiros por ano
Médio	de 1.775.748 a 7.102.992 passageiros por ano
Pequeno	de 355.150 a 1.774.747 passageiros por ano
<i>Non-Hub</i>	abaixo de 355.149 passageiros por ano

Fonte: Adaptado de Siqueira (2008).

Torres e Portugal (2013) expõem outro tipo de orientação para a classificação de *hubs*, também estimado em pesquisa da FAA e DOT, que usa como critério os cenários prospectivos em níveis de mercado nacional-global, mercado regional-nacional, mercado local-regional e mercado críticos locais e regionais para determinação da capacidade de abrangência do *hub* aeroportuário.

Quadro 9 – Tipo de *hub* em relação ao mercado

Categoria	Descrição	Função
Nacional	Mercados nacional-global. Muito alto nível de atividade, aeronaves a jato e turboélices, média de 200 aeronaves baseadas, incluindo 30 jatos.	Emergência e resposta, acesso crítico às comunidades, destinos e funções específicas, atividades comerciais, industriais e econômicas.
Regional	Mercados regional-nacional. Alto nível de atividade, alguns jatos e turboélices, média de 90 aeronaves baseadas, incluindo 3 jatos.	
Local	Mercados local-regional. Moderado nível de atividade, algumas turboélices, média de 33 aeronaves baseadas, sem jatos.	
Básico	Mercado críticos locais e regionais. Moderado à baixo nível de atividade, poucas aeronaves turboélices baseadas, sem jatos.	

Fonte: Adaptado de Torres e Portugal (2013).

O *National Plan fo Integrated Airport Systems (NPIAS)* da FAA apresenta dados classificatórios que apontam outros tipos de *hubs* em relação ao percentual dos embarques ou desembarques no país analisado (Quadro 10).

Quadro 10 - Tipo de classificação *hubs* aeroportuária em relação ao embarque e desembarque de passageiros de um país

Classificação		Tipos de <i>Hub</i>	
Comerciais (Aeroportos, com voos regulares que tiveram ao	Primários (ao menos 10.000 embarques de passageiros ao ano)	Hub Grande	Movimentam mais que 1% dos embarques e desembarques de passageiros de um país.
		<i>Hub</i> Médio	Movimentam entre 0,25% e 1% dos embarques e desembarques de passageiros de um país.
		<i>Hub</i> Pequeno	Movimentam entre 0,05% e 0,25% dos embarques e

mesmo 2.500 embarques durante o ano fiscal)			desembarques de passageiros de um país.
		“Não-hubs”	Abaixo de 0,05, mas mais do que 10.000 passageiros.
	Não Primários	“Não-Hub”	Entre 2.500 e 10.000 embarques de passageiros ao ano.
	Não Primários	“Reliever Airports”	Aeroportos Públicos ou Privados destinados a aliviar o congestionamento dos Aeroportos Comerciais e estimular a aviação geral.

Fonte: NPIAS (2017).

No Brasil, não existem critérios claros para a determinação de *hubs* aeroportuários, porém, tanto a ANAC quanto o DAESP disponibilizam banco de dados de movimentação estatística onde pesquisadores organizam por diversos critérios a classificação dos aeroportos, seja por mercado, companhias, lucro, ou mesmo demanda de passageiros, cargas aéreas, pousos ou decolagens, assim como quantidade de voos ou rotas.

A ANAC (2017) expõe e oferece acessibilidade aos dados estatísticos com elevado grau de detalhamento, a fim de ampliação e subsídio a realização de pesquisa através de divisões por assunto como: Aeronaves, Aeroportos, Mercado do Transporte Aéreo, Pessoal da Aviação Civil e Segurança, abrangendo séries históricas.

O DAESP (2016) disponibiliza com o mesmo intuito de acessibilidade as demandas de passageiros, cargas, voos, pousos e decolagens num universo de 32 aeroportos regionais que gerencia dentro do estado de São Paulo. São séries históricas que abrangem as divisões por assuntos como principais aeroportos, estatísticas e histórico que abrangem o período de 2008 a 2016.

2.3 Composições e Configurações das Redes *Hub-and-spoke*

As contribuições dadas pela revisão da literatura apontam modelos propostos por métodos de modelagem estatística ou simulações que permitem ser configurados por representações de imagens ou figuras, demonstrando a interação da rede *hub-and-spoke* baseada nas conexões entre seu *hubs* centrais e seus *spokes*.

Geralmente, a localização geográfica e as demandas dos voos, passageiros e cargas compõem dos dados que geram indícios desta rede *hub-and-spoke*.

Bania, Bauer e Zlatoper (1998) analisam e classificam os sistemas de rotas pela sua natureza e com escopo geográfico baseado em dados do nível de rotas, relacionando as companhias áreas e estes aeroportos entre a estrutura das rotas, os custos e desempenho do transportador. Segundo os autores, das 13 transportadoras aéreas analisadas em sua pesquisa,

6 são de pequeno e médio porte, contendo rotas *hub-and-spoke*, e 2 destes *hubs* aeroportuários eram regionais em seus estudos.

Nesta perspectiva, existem indícios da necessidade de futuras contribuições para estudos mais específicos sobre a movimentação de cargas aéreas em aeroportos regionais. Propõe-se então a análise dos dados mencionados por Bania, Bauer e Zlatoper (1998), como apresenta o Quadro 11.

Quadro 11 – Indícios de futuras contribuições para estudos de movimentação de cargas aéreas e aeroportos regionais

Relação das Transportadoras Aéreas e Aeroportos			
Dados	Perfil	Quantidade	%
Transportadoras	Aéreas	13	100
Porte das Transportadoras	Médio e Pequeno Porte	6	46,15385
Aeroportos	Regionais	2	15,38462

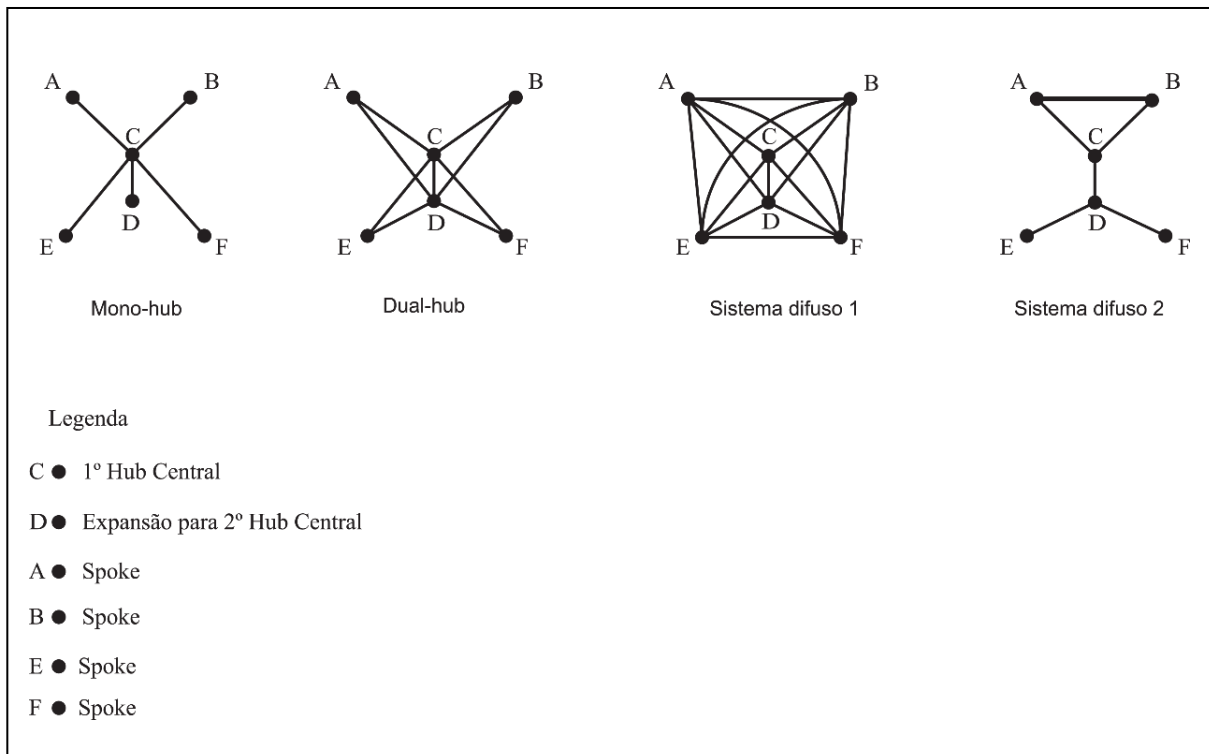
Fonte: Adaptado de Bania, Bauer e Zlatoper (1998).

A contribuição estratégica dos *hubs* de pequeno e médio porte se dá pela sua importância na análise do desempenho do transportador, sendo em sua maioria, rotas aéreas regionais. Este fenômeno é contínuo dentro da literatura revisada de 1980-1990.

Relatórios da década de 2000 e 2010 confirmam que estes fenômenos de natureza de crescimento da demanda das operações aeroportuárias continuam a acontecer no mundo. Um exemplo geográfico são os Aeroportos das Cidades de Ribeirão Preto, Marília e Bauru, delimitando a discussão sobre os aeroportos regionais do Estado de São Paulo, que será abordada nesta pesquisa conforme dados dos relatórios do DAESP (2015).

Segundo Bania, Bauer e Zlatoper (1998), entende-se que é necessária a análise por simulação de dados em modelos matemáticos para determinar uma conceituação das estruturas hipotéticas de rotas da companhia aérea pelo sistema *hub-and-spoke*, seja ele formado por uma das quatro configurações (*Mono-hub*, *Dual-hub*, *Difuse system-1* e *Difuse system-2*), conforme destacado na Figura 3.

Figura 3 – Estruturas hipotéticas de rotas da companhia aérea pelo sistema *hub-and-spoke*



Fonte: Bania, Bauer e Zlatoper (1998).

Pesquisar cientificamente através dos relatórios secundários de órgãos oficiais, levantam-se possíveis proposições sobre o perfil deste *hub* regional para estas quatro configurações, se utilizado uma, duas, três ou quatro alternadas, concomitantes ou isoladas em suas operações de passageiros ou cargas.

De acordo com Button (2002), para minimizar os custos e com isso manter as tarifas baixas, as companhias aéreas precisam manter aeronaves no ar durante o maior tempo possível, a fim de obter o mais alto fator de carga, e para coordenar as suas aeronaves, tripulação e manutenção de horários. Alcançado isso, muitas companhias aéreas operam as redes *hub-and-spoke* que implicará no tráfego de consolidação de uma gama diversificada de origens e destinos.

Os autores ainda colocam que a questão não é tanto o *hub-and-spoke*, o conceito em si que parece ser que represente a maior preocupação, mas sim o fato de muitos dos principais centros desfrutarem da presença significativa de uma grande transportadora, às vezes também ligado com filiais das operadoras regionais.

Segundo Button (2002), para fins gerais de análise política econômica, numa segunda perspectiva, quando observado a concentração das atividades aéreas, os *hubs* são normalmente tratados como aeroportos que têm uma grande preponderância de voos operados

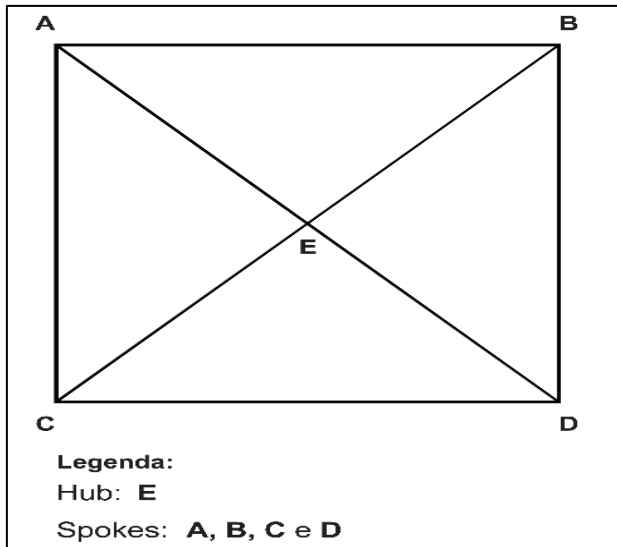
como parte de uma rede essencialmente radial por um transportador. Em casos raros, há um reconhecimento geral de que um *hub* tem duas principais transportadoras, mas isso só se aplica a alguns aeroportos.

Existem várias definições de métodos quantitativos envolvendo análises econométricas. Uma delas é analisar o comportamento de um *hub* com os transportadores em seus bancos de tráfego diário, através de rotas de um aeroporto num raio de atuação de 40 cidades ou mais pelo sistema *hub-and-spoke*. Outras definições têm sido implantadas, tais como, se a maior transportadora de um aeroporto representa mais que 50% de todo o tráfego local, ou, se as duas transportadoras deste aeroporto que não representam mais que 75% deste tráfego local (BUTTON, 2002).

Em outros casos existem definições baseadas em métodos estatísticos favorecendo a aplicação de simulações *hub-and-spoke*, como os índices *Herfindal*, utilizado por *Mc Shan* em 1986, ou *Gini Theil*, aplicado por Reynolds-Feighan em 1998, de acordo (BUTTON, 2002).

Para Button (2002), justificam-se as operações *hub-and-spoke* tanto do lado do custo quanto da demanda ou sobre o custo marginal (custos indiretos e custos retardatários como congestionamentos), quando a economia de escopo identificada pela oferta de um ou dois serviços em única operação, como rotas para passageiros e cargas no mesmo voo aumenta o volume de negócios impactado na economia da companhia aérea respectivamente. A Figura 4 apresenta o exemplo de uma rede *hub-and-spoke* que recebe a influência sobre esta perspectiva.

Figura 4 – Representação de uma rede de cinco cidades



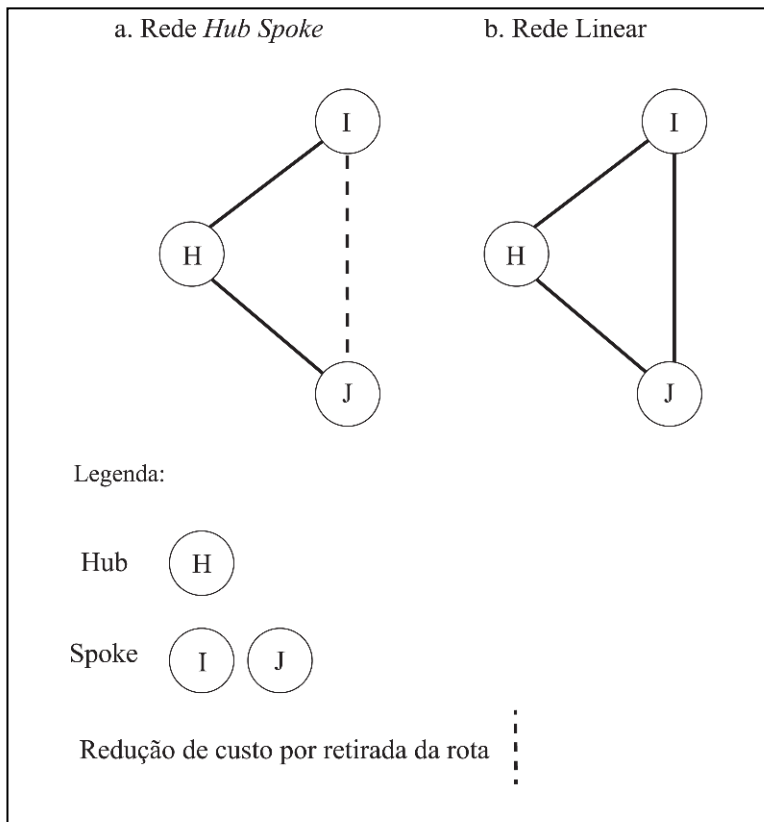
Fonte: Adaptado de Button (2002).

Essa representação forma uma rede de cinco cidades, ligando todas por serviços diretos exigidos por combinações de resultados que diminuem o custo e aumentam a demanda com transporte aéreo pelos itinerários, conforme Button (2002).

O papel e o desenvolvimento dos centros das redes *multihub* são importantes do ponto de vista econômico regional. O funcionamento destes concentradores permite que as regiões se beneficiem de um número maior de destinos servidos diretamente do que nas regiões comparadas sem uma operação *hub* em maior frequência e com mais oportunidades de retorno no mesmo dia e com mais ligações de longa distância (BUTTON et al., 1999).

Oum e Zhang (1995) examinam que a mudança da rede linear *hub-and-spoke* confere uma vantagem estratégica, pois reduz os custos e melhora o serviço em qualidade. A Figura 5 representa a análise desta proposta.

Figura 5 – Comparativo entre o modelo *hub-and-spoke* e *linear network*



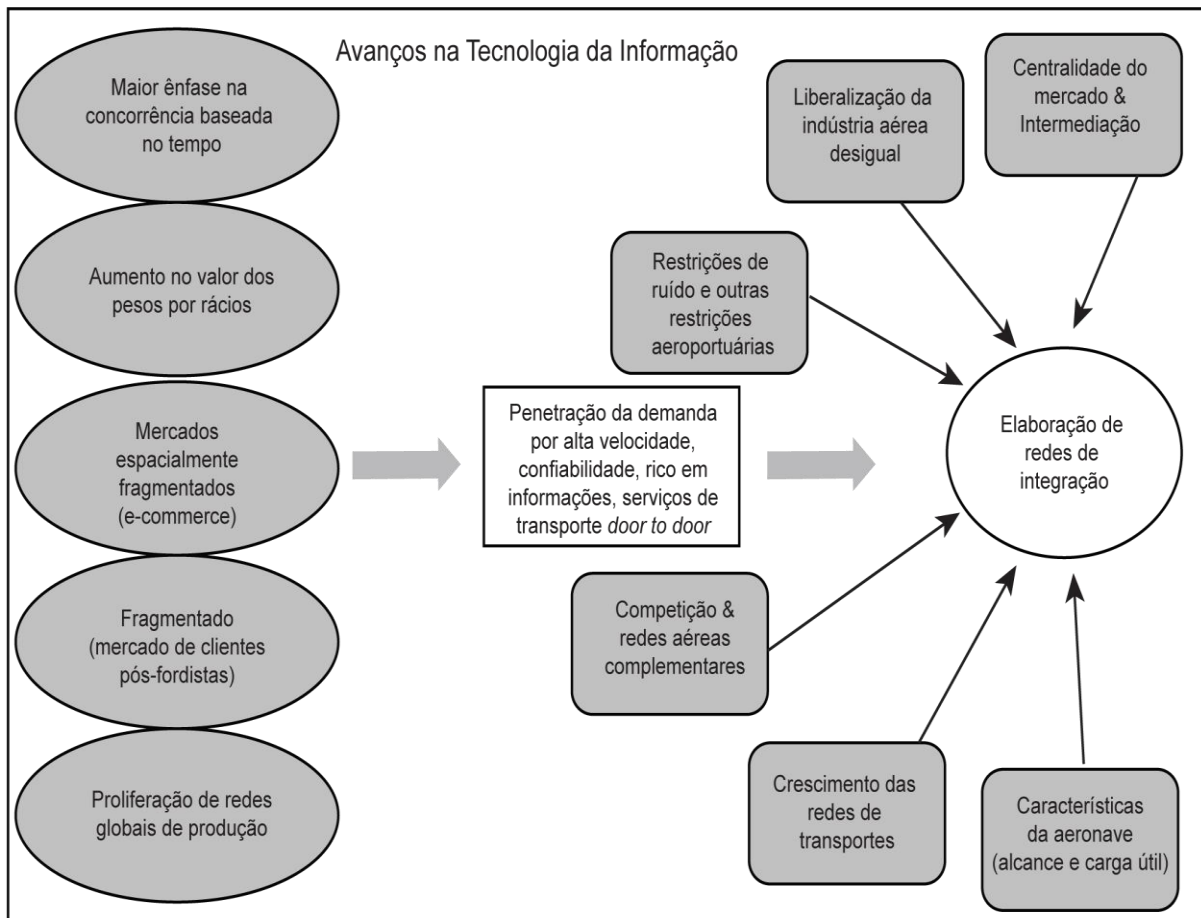
Fonte: Adaptado de Oum e Zhang (1995).

Segundo Oum e Zhang (1995), existem duas estruturas de rotas que são consideradas: um sistema linear, em que os mercados da cidade pares são servidos através de voos *non stop*; e um sistema *hub-spoke*, em que passageiros entre cidades nos raios devem tomar voos de conexão no *hub*. Independentemente da escolha de redes, cada transportador em questão pode ser visto como uma empresa multiprodutos (três-produto geralmente).

Em vista dos argumentos apresentados nesta subseção da Revisão de Literatura, os achados são as tendências de recortes estratégicos da pesquisa. No primeiro recorte, o desenvolvimento da pesquisa *hub-and-spoke* está ligado à sua aplicabilidade no ramo de logística de distribuição aérea como parte do sistema de transporte. No segundo recorte, está associada aos dados econômicos (econometria), *clusters* e custos. No terceiro recorte, há discussão das interferências do processo de desregulamentação aérea pelo critério espacial/geográfico e seus impactos na política econômica da região aeroportuária e seu mercado de abrangência e atuação.

Bowen (2012) aplica um quadro explicativo através do comparativo entre duas empresas de carga postal aérea e seus componentes de integração (Figura 6).

Figura 6 – Modelo de crescimento de uma rede integradora



Fonte: Adaptado de Bowen (2012).

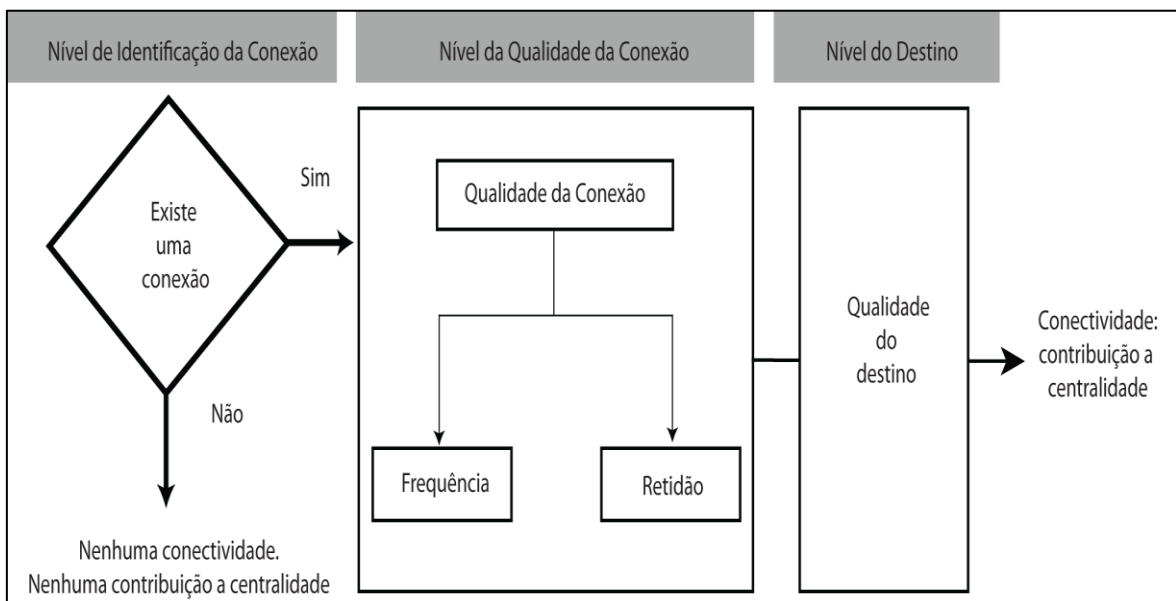
Segundo Bowen (2012), a concepção de redes integradoras é moldada por seis principais fatores, dos quais quatro são os mais importantes como analisado:

1. Desigual liberalização da indústria aérea: a desregulamentação foi uma lista catalítica para a emergência de integradores e o subsequente crescimento tende a ser mais rápido em mercados menos regulamentados;
2. Centralidade do mercado e da intermediação: centros integradores foram estabelecidos em cidades centralmente localizadas em importantes regiões de tráfego e em cidades com posições intermediárias das rotas que ligam os principais mercados;
3. Redes de transporte terrestre: o desenvolvimento de produtos associados ao transporte e, portanto, a acessibilidade do transporte terrestre crítico como integrador; e
4. Características da aeronave: o aumento da capacidade e alcance dos cargueiros utilizados pelos integradores têm afetado a estrutura das suas redes, incluindo a extensão de lacunas chaves da rede e o número e distribuição de *hubs*.

Allroggen, Wittman e Malina (2015) mostram em suas explicações sobre métricas *hub*, as regiões geográficas que possuem mercados *hubs* que desenvolvem sua conectividade e também métricas de centralidade *hub* para medir a qualidade os serviços aéreos regulares em termos de frequências, de desvios a outros *hubs*, de tempo de parada e da qualidade do destino observado ao comportamento dos passageiros afirmando que existe um significativo crescimento global as tendências de centralidade *hub* que são heterogêneas ao tipo desta conectividade, bem como o tempo e a localização.

A Figura 7 mostra a chamada 'ligação de qualidade por ponderação', já abordada por Bugrhout e Wit, em 2005, e Veldhuis, em 1997 (ALLROGGEN; WITTMAN; MALINA, 2015). Foi calculada por critérios de conectividade e centralidade, avaliando a qualidade de cada viagem aérea. Para este efeito, os autores avaliam em três níveis diferentes.

Figura 7 – Blocos de construção da abordagem de qualidade por ponderação de conexão



Fonte: Adaptado de Allroggen; Wittman; Malina (2015).

De acordo com Allroggen, Wittman e Malina (2015), em primeiro lugar, o "Nível de Identificação da Conexão" são conexões disponíveis em cada aeroporto, dado que o transporte aéreo é mais regular e as ligações são feitas através de uma série de voos programados, os autores não seguiram os caminhos mais curtos e mais rápidos de aproximação, mas com isto, identificaram todas as ligações, que estão disponíveis para os passageiros em cada aeroporto, fazendo eles seguirem a sua proposição com o objetivo avaliar a conectividade e a centralidade de toda a rede.

Em segundo lugar, a “Nível de Qualidade da Conexão” avalia o “valor da conectividade” de cada conexão. As autoras demonstram com base na literatura de escolha do itinerário de Coldren e Koppelman, em 2005, e Hsiao e Hansen, em 2011, que a qualidade de uma conexão é impulsionada pela sua frequência e pela sua franqueza. Enquanto o valor de resultados mais elevados de frequências tem uma redução no atraso no cronograma, isto é, determinam que a franqueza de um voo de ligação é uma função de desvios e camadas que causa falta de funcionalidade ao passageiro (ALLROGGEN; WITTMAN; MALINA, 2015).

Conforme Allroggen, Wittman e Malina (2015), em terceiro lugar, o “Nível do Destino” é usado para contabilizar o valor econômico de uma conexão em termos da interação potencial, para o qual uma conexão fornece o acesso. A maioria das análises de redes de transporte aéreo não considera esta dimensão, uma vez que é necessário avaliar os padrões de tráfego e o desempenho geral da rede.

Allgorren, Wittman e Malina (2015) trazem a composição de um cenário pesquisado entre 1990 a 2012, onde o primeiro se estende aos modelos de conectividade existentes na literatura em que nos permite calcular a qualidade da ligação, como gerado de todos os serviços aéreos regulares. Já o segundo utiliza de maneira pioneira um modelo de conectividade para descrever os impactos destes período analisado entre 1990 a 2012 para a evolução do mercado de aviação global em conectividade aos *hubs* e o terceiro aplica a métrica conectividade podendo avançar a investigação relacionada com o transporte aéreo.

Lin, Lin e Lin (2003) afirmam que a rede *hub-and-spoke* e suas variações consolidam cargas parciais criando uma estrutura de rede eficiente que é amplamente utilizada, portanto comparam os efeitos econômicos das redes *hub-and-spoke* com o *center-to-center* dirigido às operações das transportadoras. Estas transportadoras são autorizadas a carregar simultaneamente e transportar cargas incompletas em cada *hub center* intermediário permitindo o uso múltiplo da capacidade de carga da aeronave.

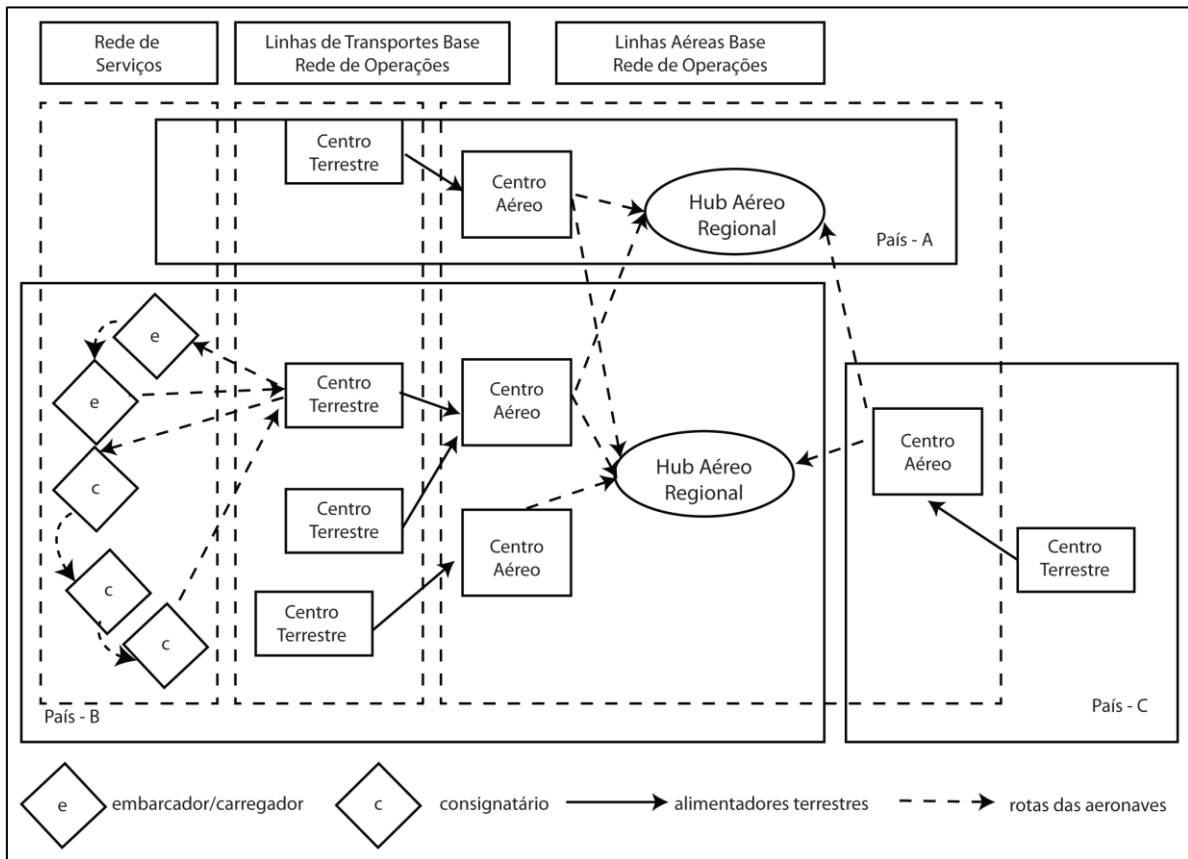
A carga aérea expressa e geral de um país para ou outro em volume projetado nas análises de anos específicos nas décadas de 1990 e 2000 crescem em percentuais elevados como parte do volume global deste mercado. Este crescimento se resume pela estratégia da não utilização de *hubs* centrais em conexões diretas quando a carga aérea tem um volume baixo apontando para outra estratégia que é a fragmentação e a utilização de *hubs* intermediários com a necessidade de conexões indiretas, porém quanto maior a demanda de voos e cargas, maior serão as economias de custos (LIN; LIN; LIN, 2003).

Segundo Lin, Lin e Lin (2003), o problema de projeto de redes aéreas de centros *hubs* a centros *hubs* envolvem a determinação de aspectos como o tamanho das aeronaves, das

frotas, das rotas e do percurso da carga, de modo que os custos totais operacionais fixos são mínimos, sendo que alguns dos centros *hubs* aéreos localizam-se na região da Ásia-Pacífico em distâncias curtas, assim esta proximidade fornece às operadoras uma grande oportunidade para executar operações diretas.

A Figura 8 demonstra a estrutura proposta pelos autores citados acima sobre o fluxo das redes *hub-and-spoke*.

Figura 8 – A rede *hub-and-spoke*



Fonte: Adaptado de Lin, Lin e Lin (2003).

Como é observado acima, o fluxo começa da esquerda para a direita com o agrupamento dos embarcadores/carregadores (*shippers*), consignatários (*consignees*) formando a rede de serviços (*service network*).

No segundo agrupamento têm-se os chamados centros terrestres (*ground centers*), que por sua vez seguem o fluxo dos alimentadores base e o terceiro agrupamento é composto pelos centros aéreos (*air centers*) e os *hubs* aéreos regionais (*regional air hub*) como conectores da rede aérea de transporte.

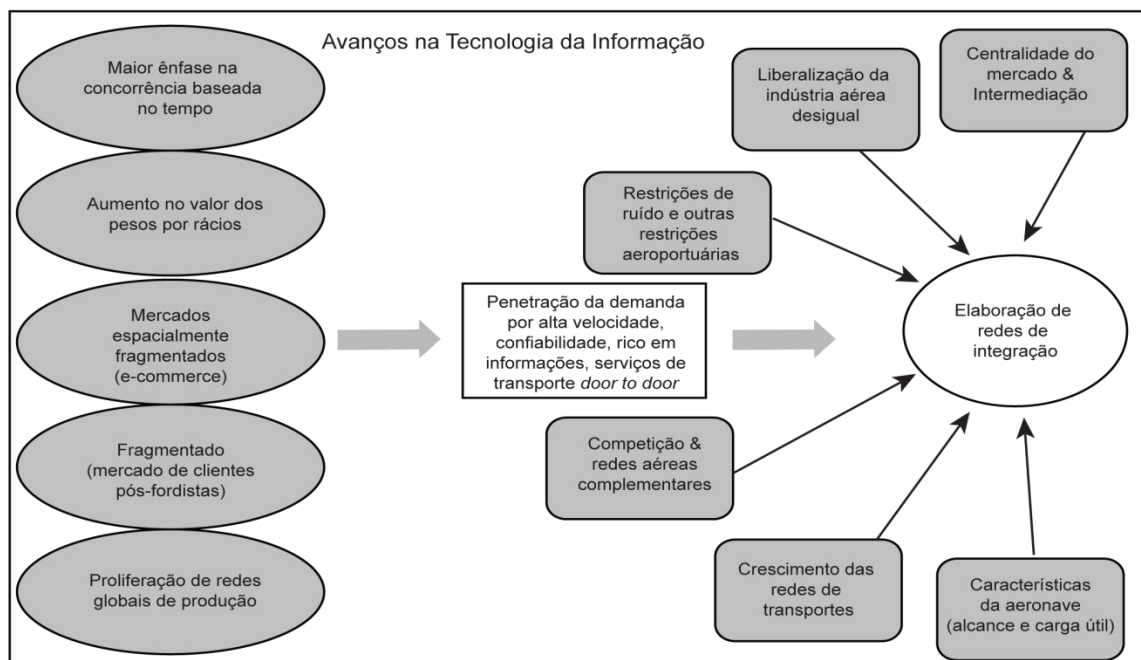
Vale ressaltar que este fluxo de rede aérea *hub-and-spoke* é formado por três grandes conexões geográficas que são o País-A (*Country-A*), o País-B (*Country-B*) e o País-C (*Country-C*) como localização espacial e geográfica.

Para determinação dos fluxos em símbolos, a primeira seta de classificação dos fluxos é composta por alimentadores terrestres (*ground feeders*) e a segunda seta tracejada classifica os fluxos de rotas das aeronaves (*aircraft routes*). Portanto, é considerável que a visualização da figura da rede exponha seus fluxos e componentes que a formam para melhoria do mapeamento estratégico das cargas aéreas.

Bowen (2012) investigou que o sistema contínuo de *hubs* totalmente ordenado e sobrepostos para sistemas de entrega de cargas, gerou o crescimento da rede *multi-hub* e a sua utilização mais eficaz de aeronaves e *hubs* aumentando a capacidade, a velocidade das operações de carga e passageiros e a redução do tempo das entregas. As redes *hub-and-spoke* é um conjunto de vértices (cidades) e arestas (rotas) que, em seguida derivam de várias medidas teóricas e gráficas.

Bowen (2012) propõe em sua pesquisa a “Integração do modelo de crescimento da rede”, separado por dois grupos (Figura 9): o primeiro, “do lado esquerdo que são os fatores que impulsionam o crescimento de rede *hub*, enquanto que o “segundo” são os fatores de articulação específicos de redes *hub-and-spoke*, chamado de *Integrator network growth model*, *factors driving the growth of the integrators are shown at the left and those that shape the specific articulation of integration hub-and-spoke networks are shown at the right*.

Figura 9 – Integração do modelo de crescimento da rede



Fonte: Adaptado de Bowen (2012).

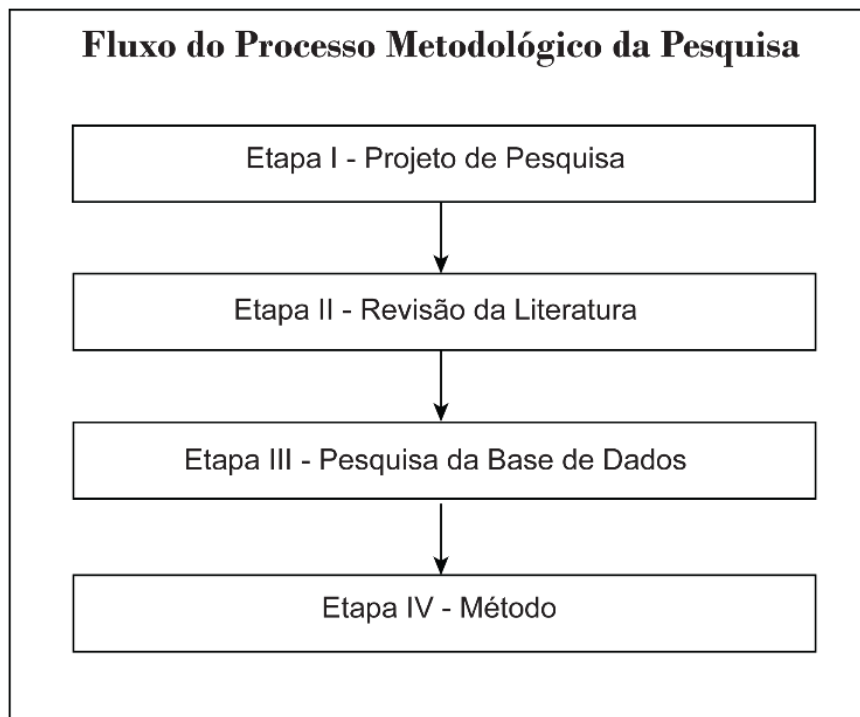
Fica evidenciado que a localização estratégica e os dados econométricos impulsionam a expansão ou retração destas redes *hub-and-spoke* pela revisão da literatura e como ela se formou ao longo dos recorte temporais longitudinais dos banco de dados analisados. Os quadros (*frameworks*) propostos em toda esta seção auxiliaram na identificação da necessidade de mapeamento das redes *hub-and-spoke*, seja de composição geográfica ou por suas demandas aeroviárias ou econométricas.

3 METODOLOGIA

3.1 Processo Metodológico

A Figura 10 mostra toda a evolução do processo metodológico da pesquisa.

Figura 10 – Evolução do processo metodológico da pesquisa



Fonte: Próprio autor (2015).

Assim, para melhores esclarecimentos, as etapas se destacam:

- Etapa I – Projeto de Pesquisa: O projeto foi gerado através da necessidade de pressupostos do pesquisador como ouvinte em feiras, palestras e exposições na aérea

de logística e comércio exterior, onde várias autoridades governamentais, gerentes executivos de multinacionais e palestrantes questionavam a necessidade de internacionalização de aeroportos regionais ou secundários para escoamento de produção e a evidente carência de estudos sobre cargas aéreas e destes aeroportos no Brasil, visto que estes profissionais não tinham base acadêmica consolidada ou aderente em sua maioria sobre estes temas para utilizarem novas pesquisas como argumentos e se limitavam apenas a análise de relatórios secundários de órgãos oficiais de agências ou departamentos regulatórios sobre o mercado aéreo brasileiro ou mesmo relatórios contábeis e financeiros divulgados obrigatoriamente pelas contabilidades das companhias aéreas. Encontrou-se assim, uma “possível problematização e justificativa” para estes temas de aeroportos regionais, secundários e transporte de cargas aéreas para a pesquisa científica;

- Etapa II – Revisão de Literatura: Esta segunda etapa da pesquisa faz uma conexão com a primeira etapa criando suporte teórico necessário para a conceituação e fundamentação dos temas, buscando as palavra-chave aeroportos e carga aérea; e encontrando o *construtor* que conceitua e fundamenta as redes de transporte aéreo, chamado *hub-and-spoke airport* e associando ele à outra palavra-chave *construtor*, chamada *cargo flights* para a pesquisa de autores e obras sobre o tema, criando a argumentação e discussão base para a fundamentação acadêmica desta pesquisa científica alinhada à possível “problematização e justificativa” proposta ao projeto de pesquisa (contextualização, problematização, pergunta de pesquisa, objetivos gerais (primários), objetivos específicos (secundários), justificativa, limitação da pesquisa, delimitação da pesquisa, hipóteses, referências bibliográficas);
- Etapa III – Pesquisa em Bases de Dados Secundários: Visto a necessidade de dados para a pesquisa científica, foi elaborada a busca por relatórios que dispunham de informações sobre passageiros e cargas dentro de uma rede de transporte de aeroportos que se destacavam como objetivo de estudo e pesquisa aeroportos regionais ou aeroportos secundários e cargas aéreas. Encontrado então um conjunto de 32 aeroportos no interior do estado de São Paulo, levantado pelos relatórios estatísticos no site do órgão oficial do DAESP (2015), formado por 84 relatórios mensais no aspecto temporal longitudinal, do período de 2008 a 2014. Estas variáveis analisadas pelo método científico foram associadas às covariáveis encontradas na ACESP (cotação do dólar) e no Ipeadata (taxa de desemprego). A pesquisa analisa dados secundários (conjunto de variáveis e covariáveis) do objeto de pesquisa dos 32

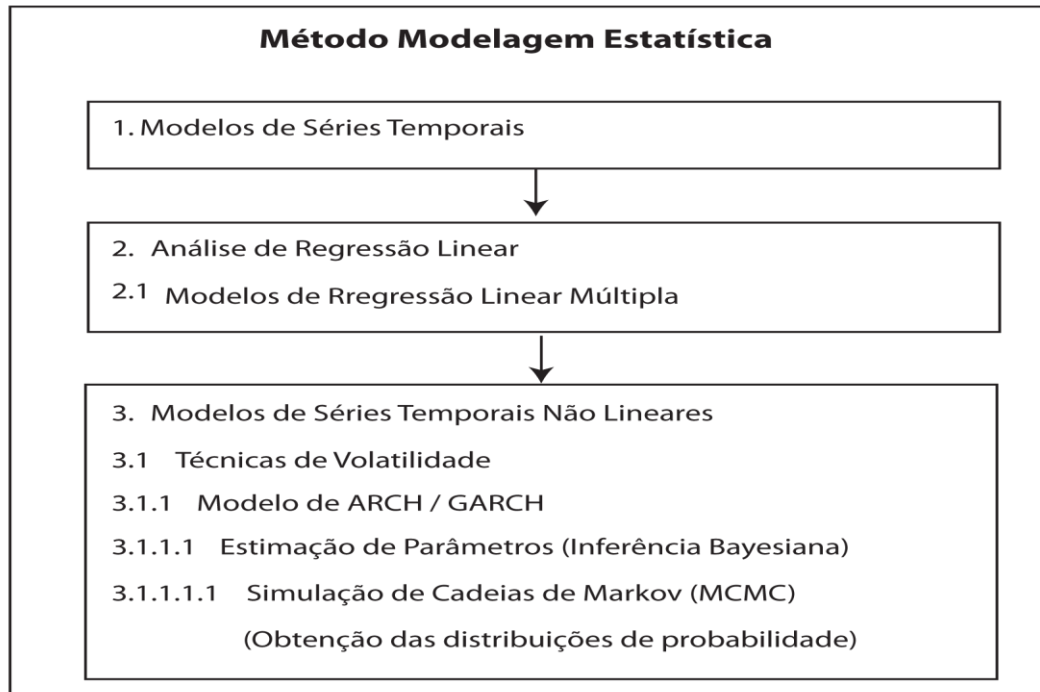
aeroportos de uma rede de transporte aeroviária regional do interior do estado de São Paulo;

- Etapa IV – Método de Modelagem Estatística: A metodologia foi determinada através dos indícios da fundamentação teórica do capítulo do texto de desenvolvimento chamado Metodologias *Hub-and-spoke*, onde se confirma através dos objetos de pesquisa (aeroportos) e dos estudos com a base de dados secundários (passageiros ou cargas) obtendo os resultados de pesquisa testados sistematicamente e cientificamente pelo método de modelagem estatística, tendo assim, maior aproveitamento dos achados e contribuições sobre estes temas .Outro ponto evidente é que a própria ciência de Engenharia de produção com as áreas logística, cadeias de suprimentos e redes de transporte aplica métodos quantitativos para melhor otimização e desempenho dos dados para gerar informações estratégicas, sendo assim, utiliza-se o método de modelagem estatística devido à composição destes componentes da pesquisa. Vale ressaltar que para o tratamento estatístico dos dados, utilizou-se o *software* Minitab[®] para composição das informações da (1) estatística descritiva, (2) das séries temporais, (3) das análise de regressão múltipla e (4) da volatilidade estocástica.

3.2 Modelagem estatística

Na Figura 11 a estrutura do método é caracterizada e discutida propondo sua visualização e organização pela modelagem estatística aplicada aos estudos de variabilidade dos dados históricos do fluxo de movimentação de passageiros e de carga na operação do transporte aeroportuário no interior do estado de São Paulo.

Figura 11 – Caracterização do Método de Modelagem Estatística



Fonte: Próprio autor (2015).

Draper e Simth (1981), Seber e Lee (2003), Montgomery e Runger (2011) conceituam e fundamentam a aplicação do modelo de regressão múltipla estabelecendo o efeito conjunto das covariáveis em uma resposta denotada por Y .

Danielsson (1994) e Yu (2002) explicam que os modelos de volatilidade estocástica *stochastic volatility (SV)* têm sido amplamente utilizados para analisar séries temporais financeiras.

Engle (1982) descreve uma alternativa potente para os modelos autoregressivos existentes, tais como *auto-regressive conditional heteroscedastic (ARCH)*.

Bollerslev (1986) introduz, conceitua e fundamenta os modelos *generalised autoregressive conditional heteroscedastic (GARCHs)*, modelos autorregressivos generalizados.

Ghylses (1996), Kim e Shepard (1998), Meyer e Yu (2000) conceituam e fundamentam os modelos GARCHs, porém, é evidenciado que raramente utilizam no transporte ou em outras aplicações de engenharia.

Lin, Lin e Lin (2003), Tan e Kara (2007), Shcolz e Cossel (2011), Alumur, Yaman e Kara (2012), Grosso e Sheperd (2011), Oktal e Ozger (2013), Laew e Tok (2015), Feng, Li e

Shen (2015), Huang e Lu (2015) na revisão da literatura estrangeira *hub-and-spoke* e Alamo e Brinati (2006), Costa, Lohmann e Oliveira (2011), Fraga (2011), Oliveira e Correia (2011), Junior e Torquato (2012) na literatura nacional *hub-and-spoke* utilizaram um dos três pontos determinantes ou todos que influenciaram o processo metodológico ou de modelagem estatística desta pesquisa: a questão da utilização dos (1) modelos estatísticos, da análise entre (2) variáveis e covariáveis e do uso de (3) dados secundários de órgãos oficiais do setor aéreo ou da economia aos respectivos trabalhos da revisão de literatura.

Levando em consideração esta conjuntura dos pontos determinantes, pode-se argumentar que são aspectos que influenciaram e deram aporte ao andamento da pesquisa e que se assemelham aos autores dentro do método de modelagem estatística em algumas partes da revisão a literatura estudada, sobretudo na subseção 2.5 do capítulo 2 desta Dissertação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Coleta e descrição dos dados

Determinar *hubs* estratégicos associando a movimentação de passageiros ao volume de cargas aéreas transportadas em uma região é um ponto de partida para a pesquisa, ainda escassa no Brasil e que gera contribuições estratégicas para redes de transportes aéreos e impactos na economia local e regional destes aeroportos.

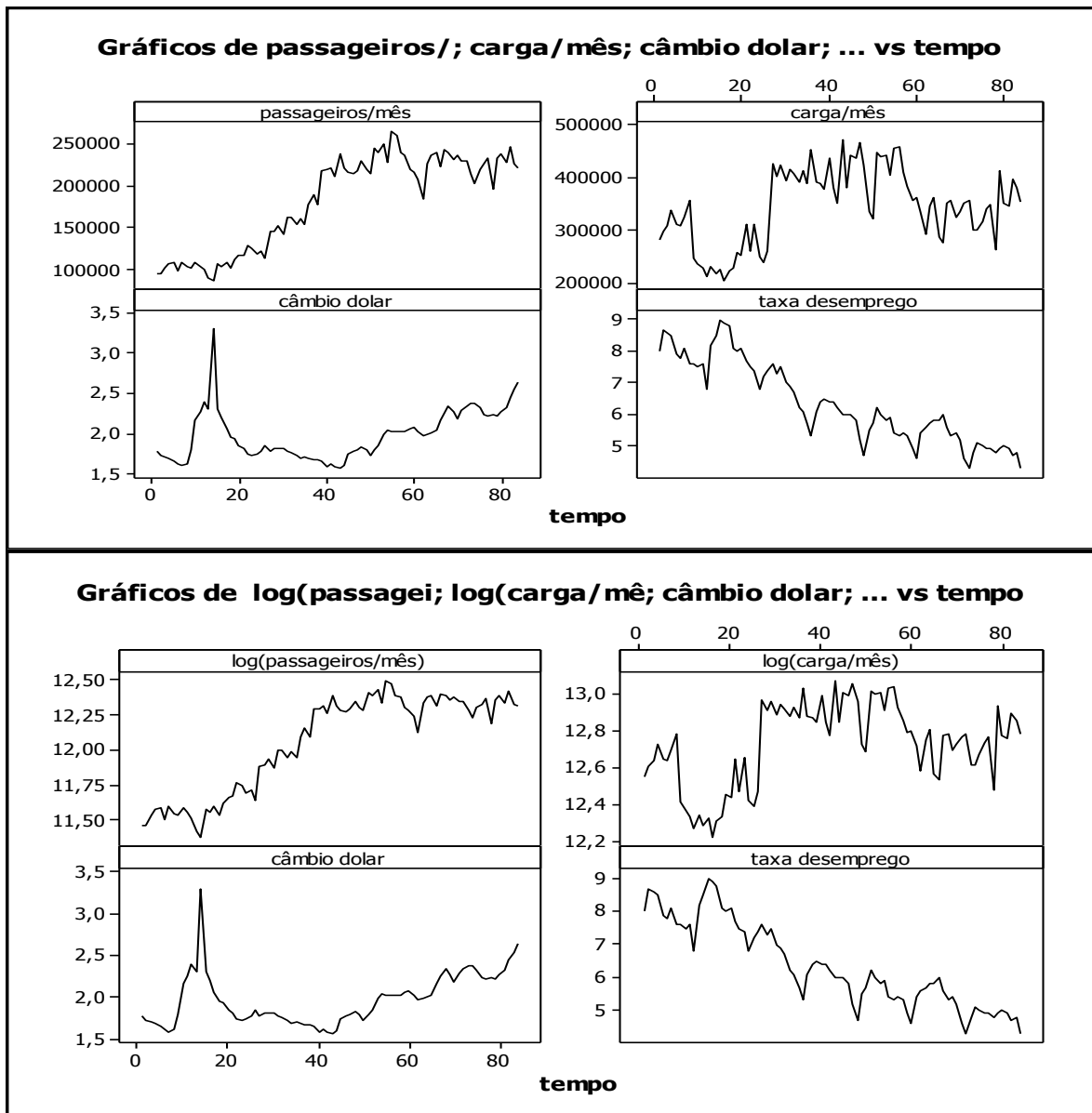
Para aplicabilidade desta pesquisa alinhada ao método estatístico, buscou-se explorar os dados dos relatórios estatísticos do DAESP (2015) em sua análise sobre o aspecto temporal entre 01 de janeiro de 2008 a 31 de dezembro de 2014, período onde foram extraídos 10.572 dados baseados em 84 relatórios estatísticos de movimentação referentes aos 32 aeroportos (Andradina, Araçatuba, Araraquara, Assis, Avaré/Arandu, Barretos, Bauru, Bauru/Arealva, Botucatu, Bragança Paulista, Campinas (Amarais), Dracena, Franca, Itanhaém, Jundiaí, Lins, Marília, Ourinhos, Penápolis, Piracicaba, Presidente Epitácio, Presidente Prudente, Registro, Ribeirão Preto, São Carlos, São José do Rio Preto, São Manuel, Sorocaba, Tupã, Ubatuba, Urubupungá, Votuporanga), por meio de duas variáveis (volume de passageiros e cargas) associadas à duas covariáveis (cotação da taxa de câmbio-dólar e da taxa de desemprego) pelas técnicas de séries temporais e regressão linear. Por meio deste conjunto de dados, o trabalho propôs as análises de *hubs* regionais no interior do estado de São Paulo e os mais relevantes em termos de operações.

4.2 Análise estatística dos dados dos aeroportos no interior do estado de São Paulo considerando modelos de regressão linear múltipla

Além das contagens (passageiros/carga), também foram consideradas algumas covariáveis correlacionadas às contagens (passageiros/cargas), como a taxa de câmbio (dólar) mensal e o índice mensal de desemprego (ACESP, 2015; IPEADATA, 2015). Dois aeroportos (Urubupungá e Registro) apresentaram muitos dados faltantes, portanto, não foram considerados na análise estatística.

A Figura 12 mostra os gráficos das séries temporais para as quatro variáveis (contagens passageiros/carga, taxa de câmbio-dólar e índice de desemprego) reportadas mensalmente no período de análise, considerando os totais para todos os aeroportos.

Figura 12 – Séries temporais para contagens passageiros/carga, taxa de câmbio (dólar) e índice de desemprego na escala original e na escala logarítmica



Fonte: Próprio autor (2015).

Nos dados dos gráficos da Figura 12 observou-se que:

- ✓ Aparentemente o número de passageiros e de carga aumentou no decorrer do tempo; depois decrescem um pouco;
- ✓ Aparentemente o número mensal de passageiros decresceu com a alta da taxa de câmbio (dólar).

Para estudar a relação entre as variáveis e encontrar os fatores mais importantes afetando a variabilidade da contagem de passageiros/carga, foi considerada a análise

estatística assumindo modelos de regressão múltipla relacionando as covariáveis da taxa de câmbio (dólar), índice de desemprego, períodos (anual e mensal) com as respostas contagem passageiros/carga.

4.2.1 Uso de um modelo de regressão múltipla para a análise dos dados considerando o total de todos os aeroportos

O uso de modelos de regressão é fundamental para relacionar uma variável resposta conjuntamente com vários fatores que podem estar relacionados com esta resposta. Usualmente, consideram-se os modelos de regressão linear, mas em algumas situações podem ter modelos não-lineares. A construção de modelos de regressão em geral é feita empiricamente, e cada modelo deve ser verificado em termos de ajuste a partir da análise dos resíduos do modelo. O uso de modelos de regressão permite identificar estatisticamente quais desses fatores (uso de testes de hipóteses) afetam significativamente a resposta. Além disso, um modelo de regressão é usado para previsão futura da resposta, dados os valores fixados das covariáveis.

Os modelos de regressão linear são frequentemente ajustados usando-se a abordagem de mínimos quadrados. Quando utilizada mais de uma variável explanatória para prever o comportamento de uma variável resposta, é possível nomeá-la como um modelo de regressão múltipla (DRAPER; SMITH, 1981). Na análise de regressão linear verifica-se o efeito conjunto das covariáveis em uma resposta denotada por Y (DRAPER; SMITH, 1981; SEBER; LEE, 2003; MONTGOMERY; RUNGER, 2011).

Para satisfazer algumas suposições necessárias do modelo de regressão (normalidade dos erros e variância constante dos erros) foi considerado um modelo de regressão linear múltiplo com a resposta dada na escala logarítmica.

Assumindo a resposta (passageiros/mês) transformada para a escala logarítmica e as covariáveis taxa de câmbio (dólar) mensal, índice mensal de desemprego, mês e ano em um modelo de regressão múltipla, ajustado pelo método de mínimos quadrados e obtidos usando o *software* Minitab[®], tem-se:

(1)

$$\begin{aligned} \log\left(\frac{\text{passageiros}}{\text{mês}}\right) \\ = 12,5 - 0,341 \text{ câmbio dólar} - 0,0659 \text{ taxa desemprego} \\ + 0,00847 \text{ meses} + 0,138 \text{ anos} \end{aligned}$$

A Tabela 1 mostra os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, os erros-padrões (EP) dos estimadores, os valores das estatísticas T de *Student* e os valores-p para testar cada parâmetro de regressão ser igual à zero.

Tabela 1 – Estimadores para os parâmetros de regressão-passageiros

Preditor	Coef	EP Coef	T	P
Constante	12,5313	0,2646	47,36	< 0,001
câmbio dólar	-0,34118	0,05114	-6,67	< 0,001
taxa desemprego	-0,16589	0,03064	-2,15	0,035
Meses	0,008469	0,005254	-1,61	0,111
anos	0,13831	0,02003	6,90	< 0,001
S = 0,115494	R-Sq = 89,5%	R-Sq (adj)	=	89%

Fonte: Próprio autor (2015).

As suposições necessárias para o modelo (normalidade para os resíduos e variância constante) foram verificadas a partir de gráficos de resíduos. Isso também foi feito para todos os modelos de regressão linear múltipla considerados.

A partir dos resultados da Tabela 1, concluiu-se que:

- ✓ Anos, taxa de câmbio (dólar) e taxa de desemprego afetaram o número de passageiros (valor-p < 0,05), isto é, os coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero num nível de significância igual à 5%;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo aos anos (0,13831), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros no decorrer dos anos (de 2008 a 2014);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de câmbio-dólar (-0,34118), o que implica que houve um decréscimo significativo no número de passageiros com aumento da taxa de câmbio no período analisado;
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de desemprego (-0,06589), o que implica que houve um decréscimo significativo no número de passageiros com aumento do desemprego no período analisado;
- ✓ Aproximadamente 89,5% da variabilidade dos dados foi explicada pelo modelo, o que definiu como resultado um excelente ajuste;
- ✓ Um estimador para o desvio-padrão do erro é dado por 0,1155.

Assumindo a resposta (carga/mês) transformada para a escala logarítmica e as covariáveis taxa de câmbio (dólar) mensal, índice mensal de desemprego, mês e ano em um

modelo de regressão múltipla ajustado pelo método de mínimos quadrados e obtidos usando o *software* Minitab[®], tem-se:

$$\log\left(\frac{\text{carga}}{\text{mês}}\right) = 14,0 - 0,406 \text{ câmbio dólar} - 0,0880 \text{ taxa desemprego} \\ + 0,00363 \text{ meses} + 0,0205 \text{ anos} \quad (2)$$

A Tabela 2 mostra os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, os erros-padrões (EP) dos estimadores, os valores das estatísticas T de *Student* e os valores-p para testar cada parâmetro de regressão ser igual à zero.

Tabela 2 – Estimadores para os parâmetros de regressão-cargas

Preditor	Coef	EP Coef	T	P
Constante	13,9794	0,3486	40,10	< 0,001
câmbio dólar	-0,40585	0,06738	-6,02	< 0,001
taxa desemprego	-0,08800	0,04037	-2,18	0,032
Meses	0,003634	0,006922	0,52	0,601
anos	0,02048	0,02639	0,78	0,440
S = 0,152163	R-Sq = 58,8%	R-Sq (adj) =		52,5%

Fonte: Próprio autor (2015).

A partir dos resultados da Tabela 2, concluiu-se que:

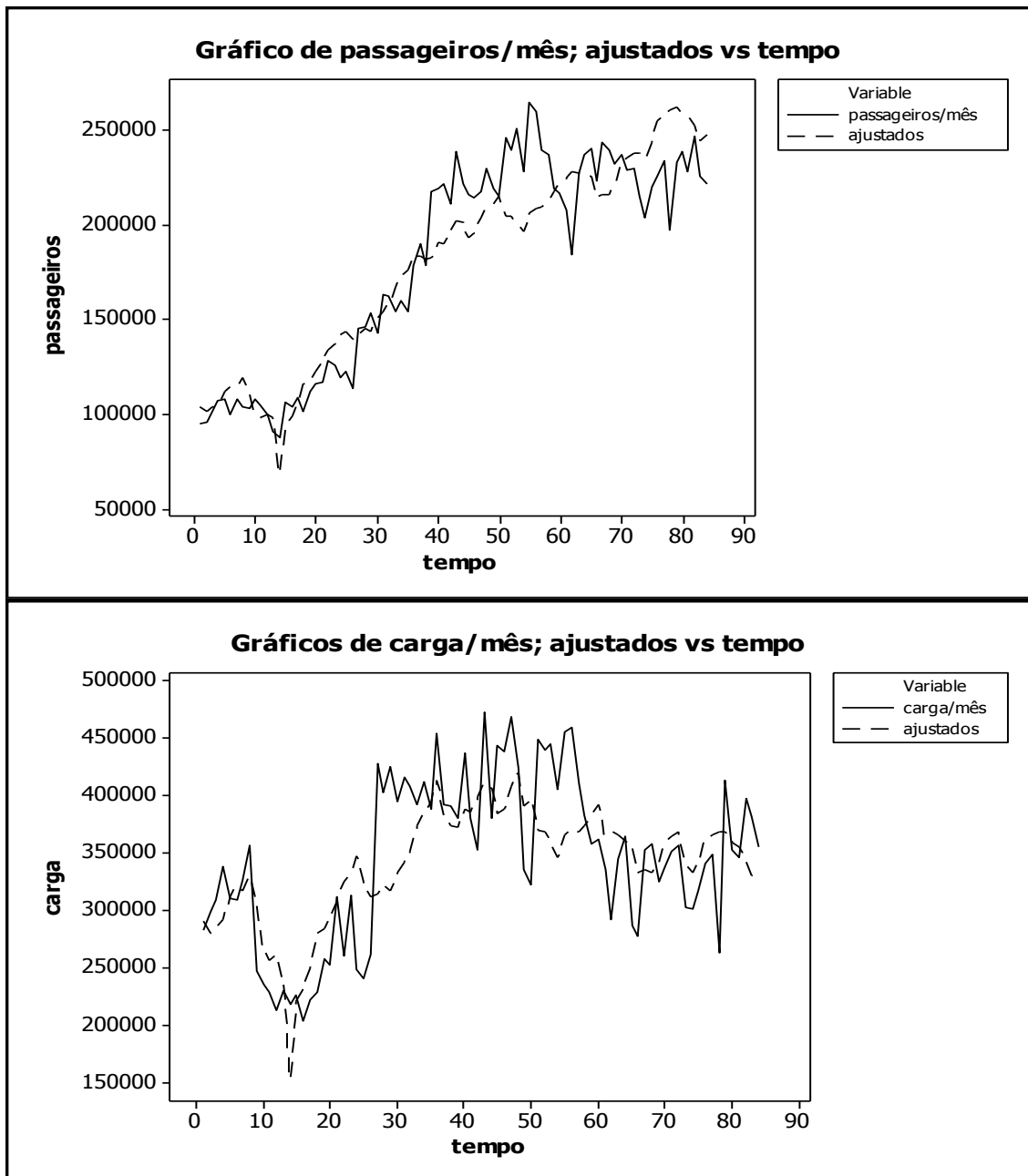
- ✓ O índice de desemprego e a taxa de câmbio (dólar) afetaram o transporte de cargas (valor-p<0,05), isto é, os coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero. Os meses e anos não afetaram o transporte de cargas (valor-p > 0,05);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de câmbio (dólar) (-0,40585), isto é, houve um decréscimo significativo no transporte de cargas com o aumento da taxa de câmbio (dólar) no período analisado;
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de desemprego (-0,08800), isto é, houve um decréscimo significativo no volume de cargas com o aumento do desemprego no período analisado;
- ✓ Aproximadamente 55% da variabilidade dos dados foi explicada pelo modelo;
- ✓ Um estimador para o desvio-padrão do erro foi dado por 0,1521.

Usando os modelos ajustados (1) e (2), pode-se fazer previsões para observações futuras. Por exemplo, se considerado mês=01(janeiro), ano=8 (2015), cambio=3,30 e

desemprego=9,50, o valor de previsão é dado na escala original por 146.444 passageiros e 158.198 para cargas.

A Figura 13 apresenta os gráficos das séries temporais para as contagens de passageiros e cargas reportadas mensalmente no período de 2008 a 2014, considerando os totais para todos os aeroportos e os valores ajustados pelo modelo de regressão (1) e (2). Observou-se um bom ajuste do modelo aos dados.

Figura 13 – Séries temporais para valores observados e valores ajustados-passageiros e cargas totais

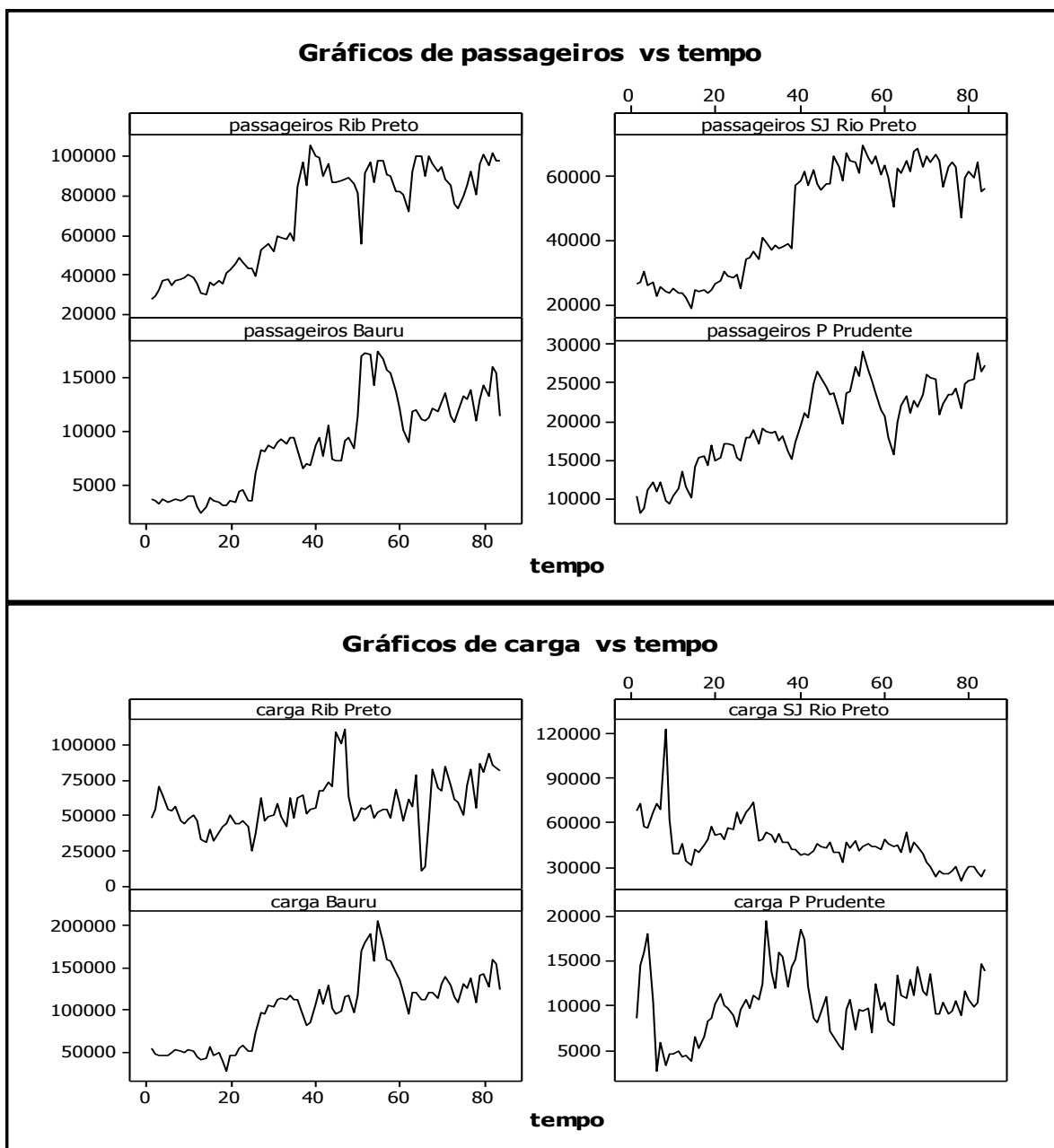


Fonte: Próprio autor (2015).

4.2.2 Uso de um modelo de regressão múltipla para a análise dos dados considerando os aeroportos de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru/Arealva e Presidente Prudente

A Figura 14 apresenta os gráficos das séries temporais para as contagens de passageiros e cargas para os aeroportos de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru/Arealva e Presidente Prudente, reportadas mensalmente no período de 2008 a 2014.

Figura 14 – Séries temporais para contagens passageiros/carga para os aeroportos de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru/Arealva e Presidente Prudente



Fonte: Próprio autor (2015).

A partir da Figura 14, concluiu-se que:

- ✓ Aparentemente o número de passageiros aumentou no decorrer do tempo para todos aeroportos; depois decresceu um pouco;
- ✓ Aparentemente o número de cargas aumentou no decorrer do tempo para os aeroportos de Ribeirão Preto, Bauru e SJ Rio Preto; depois decresceu. O comportamento para o aeroporto de Presidente Prudente é diferente dos demais aeroportos.

4.2.2.1 Resposta $\log(\text{passageiros/mês})$ e $\log(\text{cargas/mês})$ – aeroporto de Ribeirão Preto

Assumindo a resposta (passageiros/mês) transformada para a escala logarítmica e as covariáveis taxa de câmbio (dólar) mensal, índice mensal de desemprego, mês e ano em um modelo de regressão múltipla ajustado pelo método de mínimos quadrados e obtidos usando o *software* Minitab[®], tem-se:

(3)

$$\log(\text{passRP}) = 11,7 - 0,427 \text{ câmbio dólar} - 0,0812 \text{ taxa desemprego} + 0,0140 \text{ meses} + 0,158 \text{ anos}$$

A Tabela 3 mostra os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, os erros-padrões (EP) dos estimadores, os valores das estatísticas T de *Student* e os valores-p para testar cada parâmetro de regressão ser igual à zero.

Tabela 3 – Estimadores para os parâmetros de regressão-passageiros Ribeirão Preto

Preditor	Coef	EP Coef	T	P
Constante	11,7171	0,3573	32,80	< 0,001
câmbio dólar	-0,42691	0,06905	-6,18	< 0,001
taxa desemprego	-0,08115	0,04137	-1,96	0,053
Meses	0,014048	0,007094	1,98	0,051
anos	0,15831	0,02705	5,85	< 0,001
S = 0,155937	R-Sq = 86,5%	R-Sq (adj)	=	85,8%

Fonte: Próprio autor (2015).

A partir dos resultados da Tabela 3, concluiu-se que:

- ✓ Anos, meses, taxa de câmbio (dólar) e taxa de desemprego afetaram o número de passageiros para Ribeirão Preto (valor-p < 0,05 ou bem próximos de 0,05), isto é, os coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero num nível de significância igual à 5%;

- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo à anos (0,15831), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros para Ribeirão Preto no decorrer dos anos (2008 a 2014);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de câmbio (dólar) (0,42691) o que implica que houve um decréscimo significativo no número de passageiros para Ribeirão Preto com aumento da taxa de câmbio (dólar) no período analisado;
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de desemprego (0,08115), o que implica que houve um decréscimo significativo no número de passageiros para Ribeirão Preto com aumento do desemprego no período analisado;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo à meses (0,014048), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros no decorrer dos meses. O final de cada período anual levou ao aumento significativo no número de passageiros;
- ✓ Aproximadamente, 86,5% da variabilidade dos dados (número de passageiros) foi explicada pelo modelo, o que o define como resultado um excelente ajuste;
- ✓ Um estimador para o desvio-padrão do erro foi dado por 0,1559;

Assumindo a resposta (carga/mês) transformada para a escala logarítmica e as covariáveis taxa de câmbio (dólar) mensal, índice mensal de desemprego, mês e ano em um modelo de regressão múltipla ajustado pelo método de mínimos quadrados e obtidos usando o *software* Minitab[®], tem-se:

(4)

$$\log(\text{cargaRP})$$

$$= 11,9 - 0,171 \text{ câmbio dólar} - 0,115 \text{ taxa desemprego} + 0,0181 \text{ meses} \\ + 0,0003 \text{ anos}$$

A Tabela 4 mostra os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, os erros-padrões (EP) dos estimadores, os valores das estatísticas T de *Student* e os valores-p para testar cada parâmetro de regressão ser igual à zero.

Tabela 4 – Estimadores para os parâmetros de regressão-carga Ribeirão Preto

Preditor	Coef	EP Coef	T	P
Constante	11,8536	0,7505	15,79	< 0,001
câmbio dólar	-0,1714	0,1451	-1,18	0,241
taxa desemprego	-0,11469	0,08691	-1,32	0,191
Meses	0,01812	0,01490	-1,22	0,228
anos	0,00031	0,05682	0,01	0,996
S = 0,327588	R-Sq = 22,6%	R-Sq (adj)	=	18,6%

Fonte: Próprio autor (2015).

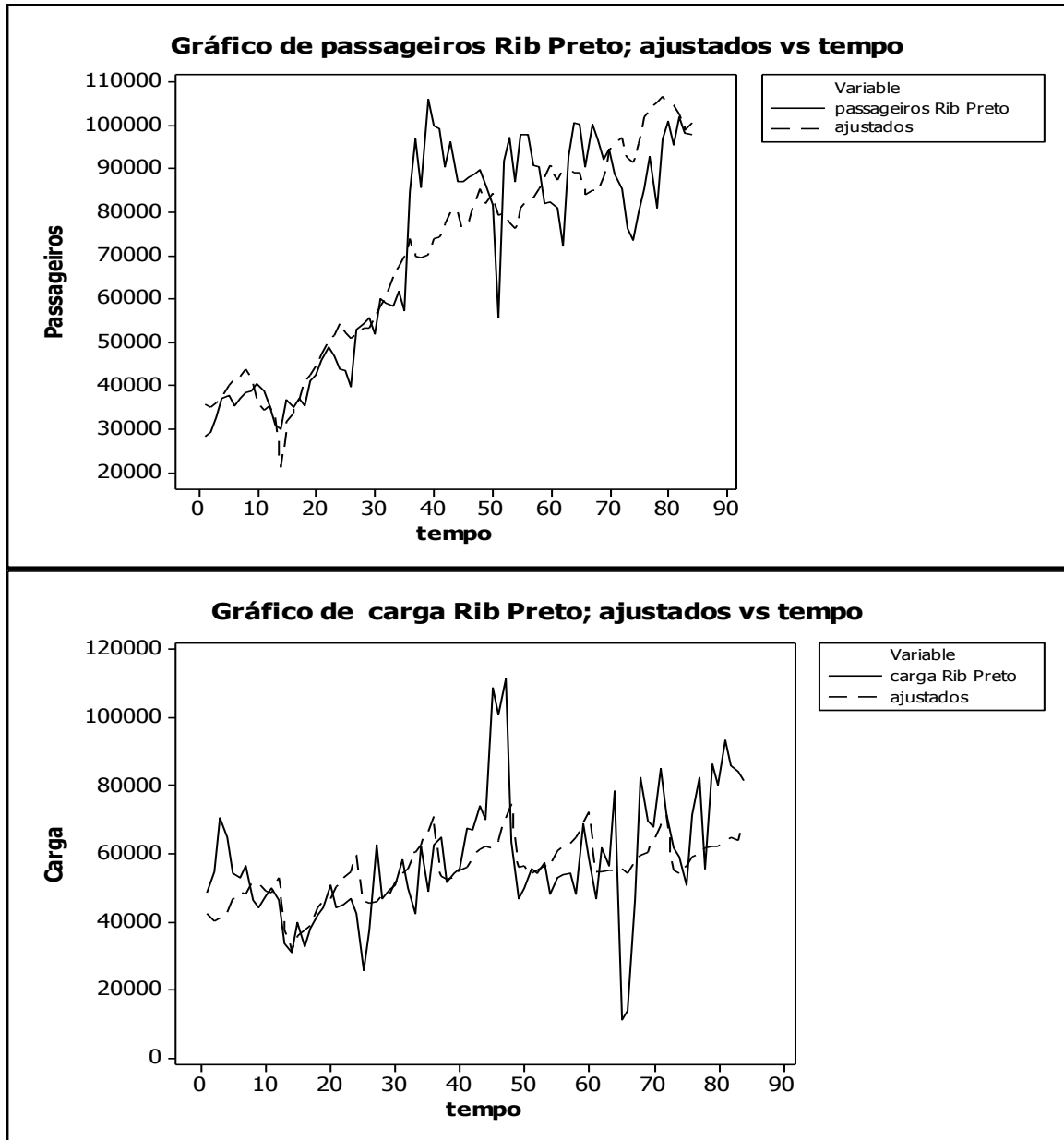
A partir dos resultados da Tabela 4, concluiu-se que:

- ✓ Nenhuma covariável (mês, ano, índice desemprego e taxa de câmbio (dólar) afetou o transporte de cargas para Ribeirão Preto (valor-p > 0,05), isto é, os coeficientes de regressão não foram estatisticamente diferentes de zero. Houve estabilidade no transporte de cargas no aeroporto de Ribeirão Preto, independente da variabilidade das covariáveis (mês, ano, índice desemprego e taxa de câmbio (dólar). Isso também pode ser verificado na Figura 16;
- ✓ Aproximadamente 22,6% da variabilidade dos dados foi explicada pelo modelo;
- ✓ Um estimador para o desvio-padrão do erro foi dado por 0,3276;

Usando os modelos ajustados (3) e (4) e considerando mês=01(janeiro), ano=8 (2015), cambio=3,30 e desemprego=9,50, o valor de previsão é dado na escala original por 49.901 passageiros e 27.424 em volume de carga para o aeroporto de Ribeirão Preto.

A Figura 15 apresenta os gráficos das séries temporais para as contagens de passageiros e carga reportadas mensalmente no período de 2008 a 2014 no aeroporto de Ribeirão Preto e os valores ajustados pelos modelos de regressão (3) e (4). Observou-se um bom ajuste dos modelos aos dados.

Figura 15 – Séries temporais para valores observados e valores ajustados-passageiros e carga Ribeirão Preto



Fonte: Próprio autor (2015).

4.2.2.2 Resposta \log (passageiros/mês) e \log (cargas/mês) – aeroporto de São José do Rio Preto

Assumindo a resposta (passageiros/mês) transformada para a escala logarítmica e as covariáveis taxa de câmbio (dólar) mensal, índice mensal de desemprego, mês e ano em um modelo de regressão múltipla ajustado pelo método de mínimos quadrados e obtidos usando o software Minitab[®], tem-se:

(5)

$$\log = 11,4 - 0,363 \text{ câmbio dólar} - 0,100 \text{ taxa desemprego} + 0,00297 \text{ meses} + 0,147 \text{ anos} \quad (\text{passSJRP})$$

A Tabela 5 mostra os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, os erros-padrões (EP) dos estimadores, os valores das estatísticas T de *Student* e os valores-p para testar cada parâmetro de regressão ser igual à zero.

Tabela 5 – Estimadores para os parâmetros de regressão-passageiros São José do Rio Preto

Preditor	Coef	EP Coef	T	P
Constante	11,4273	0,3432	33,29	< 0,001
câmbio dólar	-0,36318	0,06634	-5,47	< 0,001
taxa desemprego	-0,10045	0,03975	-2,53	0,013
Meses	0,002971	0,006816	0,44	0,664
anos	0,14711	0,02599	5,66	0,000
S = 0,149816	R-Sq = 87,4%	R-Sq (adj) =		86,7%

Fonte: Próprio autor (2015).

A partir dos resultados da Tabela 5, concluiu-se que:

- ✓ Anos, taxa de câmbio (dólar) e taxa de desemprego afetaram o número de passageiros para São José do Rio Preto (valor-p < 0,05), isto é, os coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero num nível de significância igual à 5%;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo à anos (0,14711), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros para São José do Rio Preto no decorrer dos anos (2008 a 2014);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de câmbio (dólar) (0,36318), o que implica que houve um decréscimo significativo no número de passageiros para São José do Rio Preto com aumento da taxa de câmbio (dólar) no período analisado;
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de desemprego (-0,10045), o que implica que houve um decréscimo significativo no número de passageiros para São José do Rio Preto com aumento do desemprego no período analisado;
- ✓ Aproximadamente 87,4% da variabilidade dos dados foi explicada pelo modelo. Excelente ajuste;

- ✓ Um estimador para o desvio-padrão do erro foi dado por 0,1498.

Assumindo a resposta (carga/mês) transformada para a escala logarítmica e as covariáveis taxa de câmbio (dólar) mensal, índice mensal de desemprego, mês e ano em um modelo de regressão múltipla ajustado pelo método de mínimos quadrados e obtidos usando o *software* Minitab[®], temos:

(6)

$$\begin{aligned} \log(\text{cargaSJRP}) \\ = 11,5 - 0,433 \text{ câmbio dólar} + 0,0410 \text{ taxa desemprego} \\ + 0,00001 \text{ meses} - 0,0574 \text{ anos} \end{aligned}$$

A Tabela 6 apresenta os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, os erros-padrões (EP) dos estimadores, os valores das estatísticas T de *Student* e os valores-p para testar cada parâmetro de regressão ser igual à zero.

Tabela 6 – Estimadores para os parâmetros de regressão-carga São José do Rio Preto

Preditor	Coef	EP Coef	T	P
Constante	11,5128	0,4272	26,95	< 0,001
câmbio dólar	-0,43256	0,08257	-5,24	< 0,001
taxa desemprego	0,04099	0,04947	0,83	0,410
Meses	0,000013	0,008483	0,00	0,999
anos	-0,05743	0,03234	-1,78	0,080
S = 0,186474	R-Sq = 65,3%	R-Sq (adj) =		63,5%

Fonte: Próprio autor (2015).

A partir dos resultados da Tabela 6, concluiu-se que:

- ✓ A taxa de câmbio (dólar) afetou o transporte de cargas (valor-p < 0,05), isto é, os coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero num nível de significância igual à 5%. Anos apresentam uma significância num nível de significância igual à 10% (valor-p < 0,10);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo aos anos (-0,05743), o que implica que houve um decréscimo significativo no transporte de cargas para São José do Rio Preto no decorrer dos anos (2008 a 2014);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de câmbio (dólar) (0,43256), o que implica que houve um decréscimo significativo no

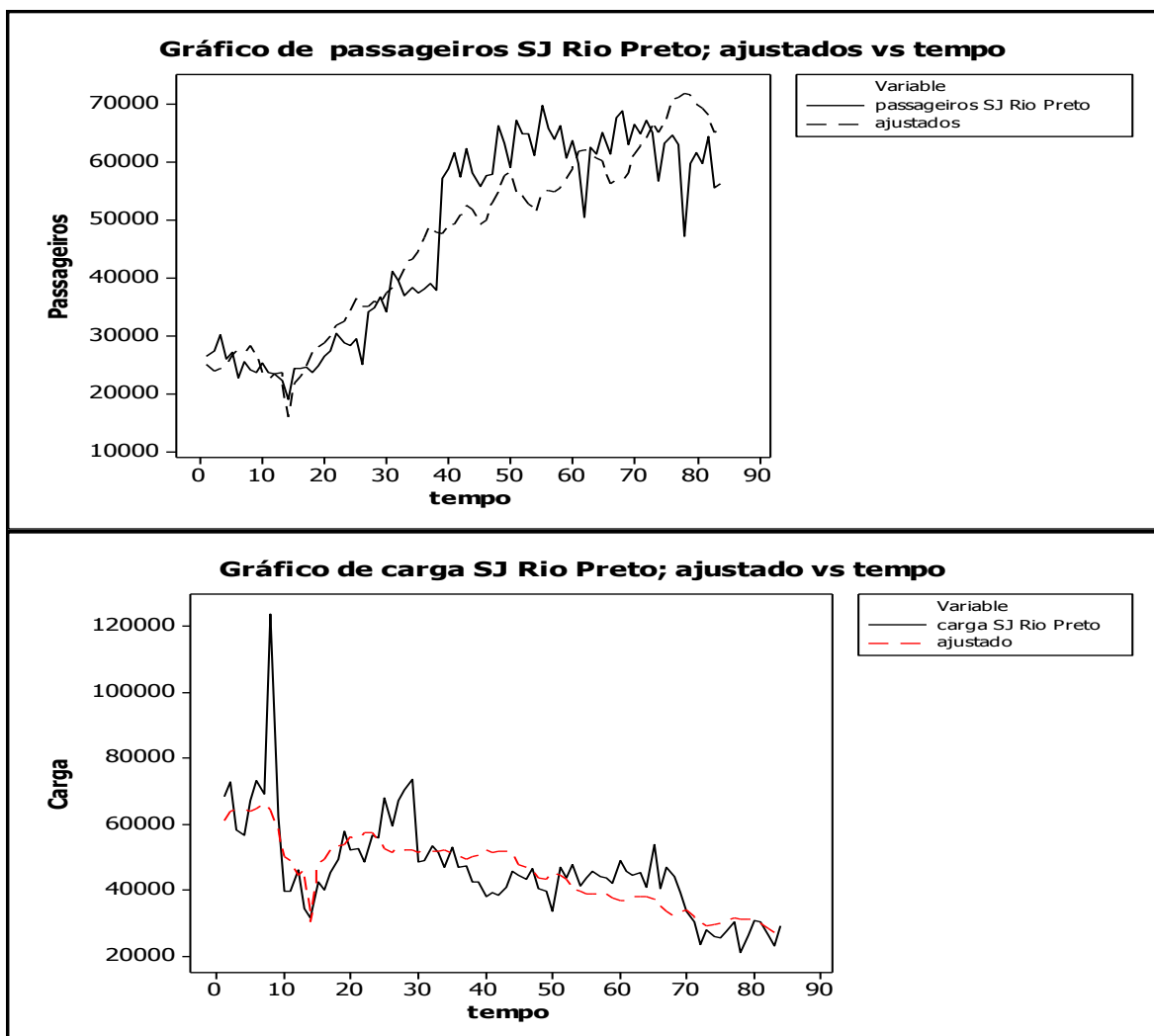
transporte de cargas para São José do Rio Preto com aumento da taxa de câmbio (dólar) no período;

- ✓ Aproximadamente 65,3% da variabilidade dos dados foi explicada pelo modelo;
- ✓ Um estimador para o desvio-padrão do erro foi dado por 0,1865.

Usando os modelos ajustados (5) e (6) e considerando mês=01(janeiro), ano=8 (2015), cambio=3,30 e desemprego=9,50 o valor de previsão é dado na escala original por 34.697 passageiros e 22.366 para o volume de carga para o aeroporto de São José do Rio Preto.

A Figura 16 mostra os gráficos das séries temporais para as contagens de passageiros e carga reportadas mensalmente no período de período de 2008 a 2014 no aeroporto de São José do Rio Preto e os valores ajustados pelos modelos de regressão (5) e (6). Observou-se um ajuste razoável dos modelos aos dados.

Figura 16 – Séries temporais para valores observados e valores ajustados-passageiros e carga São José do Rio Preto



Fonte: Próprio autor (2015).

4.2.2.3 Resposta $\log(\text{passageiros/mês})$ e $\log(\text{cargas/mês})$ – aeroporto de Bauru/Arealva

Assumindo a resposta (passageiros/mês) transformada para a escala logarítmica e as covariáveis taxa de câmbio (dólar) mensal, índice mensal de desemprego, mês e ano em um modelo de regressão múltipla ajustado pelo método de mínimos quadrados e obtidos usando o *software* Minitab[®], tem-se:

(7)

$\log(\text{passBauru})$

$$= 9,45 - 0,397 \text{ câmbio dólar} - 0,105 \text{ taxa desemprego} + 0,0128 \text{ meses} + 0,217 \text{ anos}$$

A Tabela 7 mostra os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, os erros-padrões (EP) dos estimadores, os valores das estatísticas T de *Student* e os valores-p para testar cada parâmetro de regressão ser igual à zero.

Tabela 7 – Estimadores para os parâmetros de regressão-passageiros Bauru/Arealva

Preditor	Coef	EP Coef	T	P
Constante	9,4487	0,5757	16,41	< 0,001
câmbio dólar	-0,3965	0,1113	-3,56	0,001
taxa desemprego	-0,10493	0,06667	-1,57	0,120
Meses	0,01276	0,01143	1,12	0,268
anos	0,21712	0,04359	4,98	< 0,001
S = 0,251291	R-Sq = 82,1%	R-Sq (adj) =		81,2%

Fonte: Próprio autor (2015).

A partir dos resultados da Tabela 7, concluiu-se que:

- ✓ Anos e taxa de câmbio (dólar) afetaram o número de passageiros (valor-p < 0,05), isto é, os coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero num nível de significância igual à 5%;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo aos anos (0,21712), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros para Bauru no decorrer dos anos (2008 a 2014);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de câmbio (dólar) (-0,3965), o que implica que houve um decréscimo significativo no número de passageiros para Bauru com aumento da taxa de câmbio (dólar) no período analisado;

- ✓ Aproximadamente 82,1% da variabilidade dos dados foi explicada pelo modelo. O que definiu como resultado um excelente ajuste;
- ✓ Um estimador para o desvio-padrão do erro foi dado por 0,2513.

Assumindo a resposta (carga/mês) transformada para a escala logarítmica e as covariáveis taxa de câmbio (dólar) mensal, índice mensal de desemprego, mês e ano em um modelo de regressão múltipla ajustado pelo método de mínimos quadrados e obtidos usando o *software* Minitab[®], tem-se:

(8)

$$\log(\text{cargaBauru}) = 12,6 - 0,345 \text{ câmbio dólar} - 0,164 \text{ taxa desemprego} + 0,0034 \text{ meses} + 0,123 \text{ anos}$$

A Tabela 8 apresenta os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, os erros-padrões (EP) dos estimadores, os valores das estatísticas T de *Student* e os valores-p para testar cada parâmetro de regressão ser igual à zero.

Tabela 8 – Estimadores para os parâmetros de regressão-carga Bauru/Arealva

Preditor	Coef	EP Coef	T	P
Constante	12,6354	0,5411	23,35	< 0,001
câmbio dólar	-0,3451	0,1046	-3,3	0,001
taxa desemprego	-0,16404	0,06267	-2,62	0,011
Meses	0,00339	0,01075	0,32	0,753
anos	0,12271	0,04097	3,00	0,004
S = 0,236206	R-Sq =76,7%	R-Sq (adj) =		75,50%

Fonte: Próprio autor (2015).

A partir dos resultados da Tabela 8, concluiu-se que:

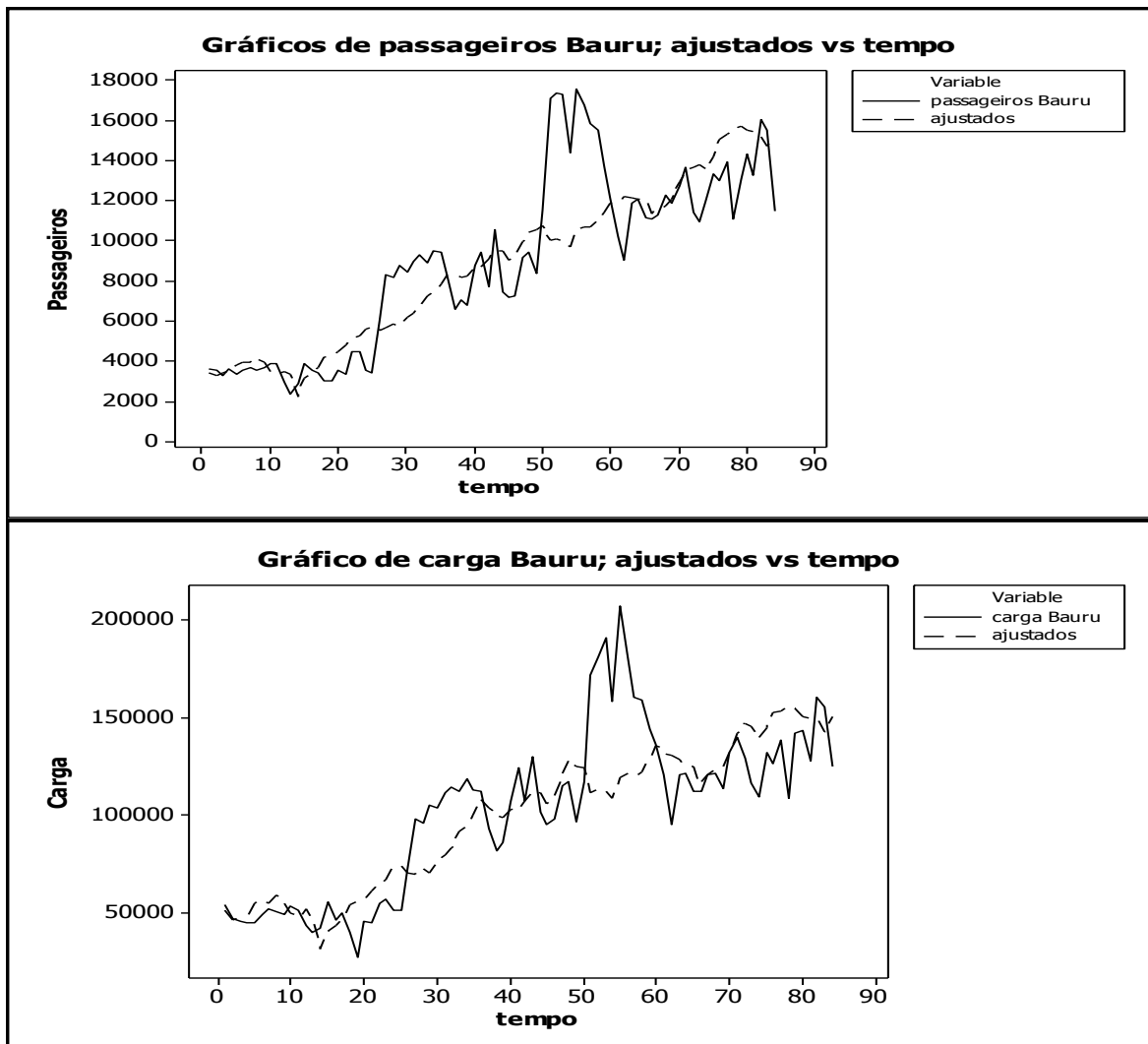
- ✓ Taxa de câmbio (dólar) e índice desemprego afetaram o transporte de cargas (valor-p < 0,05), isto é, os coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero num nível de significância igual à 5%;
- ✓ Teve-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo à anos (0,12271), o que implica que houve um aumento significativo no transporte de cargas para Bauru no decorrer dos anos (2008 a 2014);
- ✓ Teve-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de câmbio (dólar) (-0,3451), o que implica que houve um decréscimo significativo no transporte de cargas para Bauru com aumento da taxa de câmbio (dólar) (no período analisado);

- ✓ Teve-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de desemprego (-0,16404), o que implica que houve um decréscimo significativo no transporte de cargas para Bauru com aumento do desemprego no período analisado;
- ✓ Aproximadamente 76,7% da variabilidade dos dados foi explicada pelo modelo;
- ✓ Um estimador para o desvio-padrão do erro foi dado por 0,2362.

Usando os modelos ajustados (7) e (8) e considerando mês=01(janeiro), ano=8 (2015), cambio=3,30 e desemprego=9,50 o valor de previsão é dado na escala original por 7.282 passageiros e 55.453 em volume de carga para o aeroporto de Bauru/Arealva.

A Figura 17 mostra os gráficos das séries temporais para as contagens de passageiros e carga reportadas mensalmente no período de 2008 a 2014 no aeroporto de Bauru/Arealva e os valores ajustados pelos modelos de regressão (7) e (8). Observou-se um bom ajuste dos modelos aos dados.

Figura 17 – Séries temporais para valores observados e valores ajustados-passageiros e carga Bauru/Arealva



Fonte: Próprio autor (2015).

4.2.2.4 Resposta $\log(\text{passageiros/mês})$ e $\log(\text{cargas/mês})$ – aeroporto de Presidente Prudente

Assumindo a resposta (passageiros/mês) transformada para a escala logarítmica e as covariáveis taxa de câmbio (dólar) mensal, índice mensal de desemprego, mês e ano em um modelo de regressão múltipla ajustado pelo método de mínimos quadrados e obtidos usando o *software* Minitab[®], tem-se:

(9)

$$\log(\text{passPP}) = 9,08 - 0,279 \text{ câmbio dólar} + 0,0563 \text{ taxa desemprego} + 0,0339 \text{ meses} + 0,180 \text{ anos}$$

A Tabela 9 apresenta os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, os erros-padrões (EP) dos estimadores, os valores das estatísticas T de *Student* e os valores-p para testar cada parâmetro de regressão ser igual à zero.

Tabela 9 – Estimadores para os parâmetros de regressão-passageiros Presidente Prudente

Preditor	Coef	EP Coef	T	P
Constante	9,0773	0,3266	27,80	< 0,001
câmbio dólar	-0,27866	0,06312	-4,41	< 0,001
taxa desemprego	0,05634	0,03782	1,49	0,140
Meses	0,033933	0,006485	5,23	< 0,001
anos	0,18048	0,02472	7,30	< 0,001
S = 0,142543	R-Sq = 80,7%	R-Sq (adj) =		79,7%

Fonte: Próprio autor (2015).

A partir dos resultados da Tabela 9, concluiu-se que:

- ✓ Anos, meses e taxa de câmbio (dólar) afetaram o número de passageiros (valor-p < 0,05), isto é, os coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero num nível de significância igual à 5%. Para esse aeroporto não se observa um efeito significativo da taxa de desemprego no número de passageiros (valor-p > 0,05);
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo aos anos (0,18048), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros para Presidente Prudente no decorrer dos anos (2008 a 2014);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de câmbio (dólar) (-0,27866), o que implica que houve um decréscimo significativo no

número de passageiros para Presidente Prudente com aumento da taxa de câmbio no período analisado;

- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo aos meses (0,03393), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros com relação à meses (finais de anos levam a maior número de passageiros);
- ✓ Aproximadamente 80,7% da variabilidade dos dados foi explicada pelo modelo. Excelente ajuste;
- ✓ Um estimador para o desvio-padrão do erro foi dado por 01425.

Assumindo a resposta (carga/mês) transformada para a escala logarítmica e as covariáveis taxa de câmbio (dólar) mensal, índice mensal de desemprego, mês e ano em um modelo de regressão múltipla ajustado pelo método de mínimos quadrados e obtidos usando o *software* Minitab[®], tem-se:

(10)

$$\log(\text{cargaPP})$$

$$= 8,02 - 0,692 \text{ câmbio dólar} + 0,211 \text{ taxa desemprego} + 0,0356 \text{ meses} + 0,232 \text{ anos}$$

A Tabela 10 mostra os estimadores de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, os erros-padrões (EP) dos estimadores, os valores das estatísticas T de *Student* e os valores-p para testar cada parâmetro de regressão ser igual à zero.

Tabela 10 – Estimadores para os parâmetros de regressão-carga Presidente Prudente

Preditor	Coef	EP Coef	T	P
Constante	8,0213	0,7880	10,18	< 0,001
câmbio dólar	-0,6919	0,1523	-4,54	< 0,001
taxa desemprego	0,21114	0,09125	2,31	0,023
Meses	0,03557	0,01565	2,27	0,026
anos	0,23222	0,05966	3,89	< 0,001
S = 0,343933	R-Sq =29,8%	R-Sq (adj)	=	26,3%

Fonte: Próprio autor (2015).

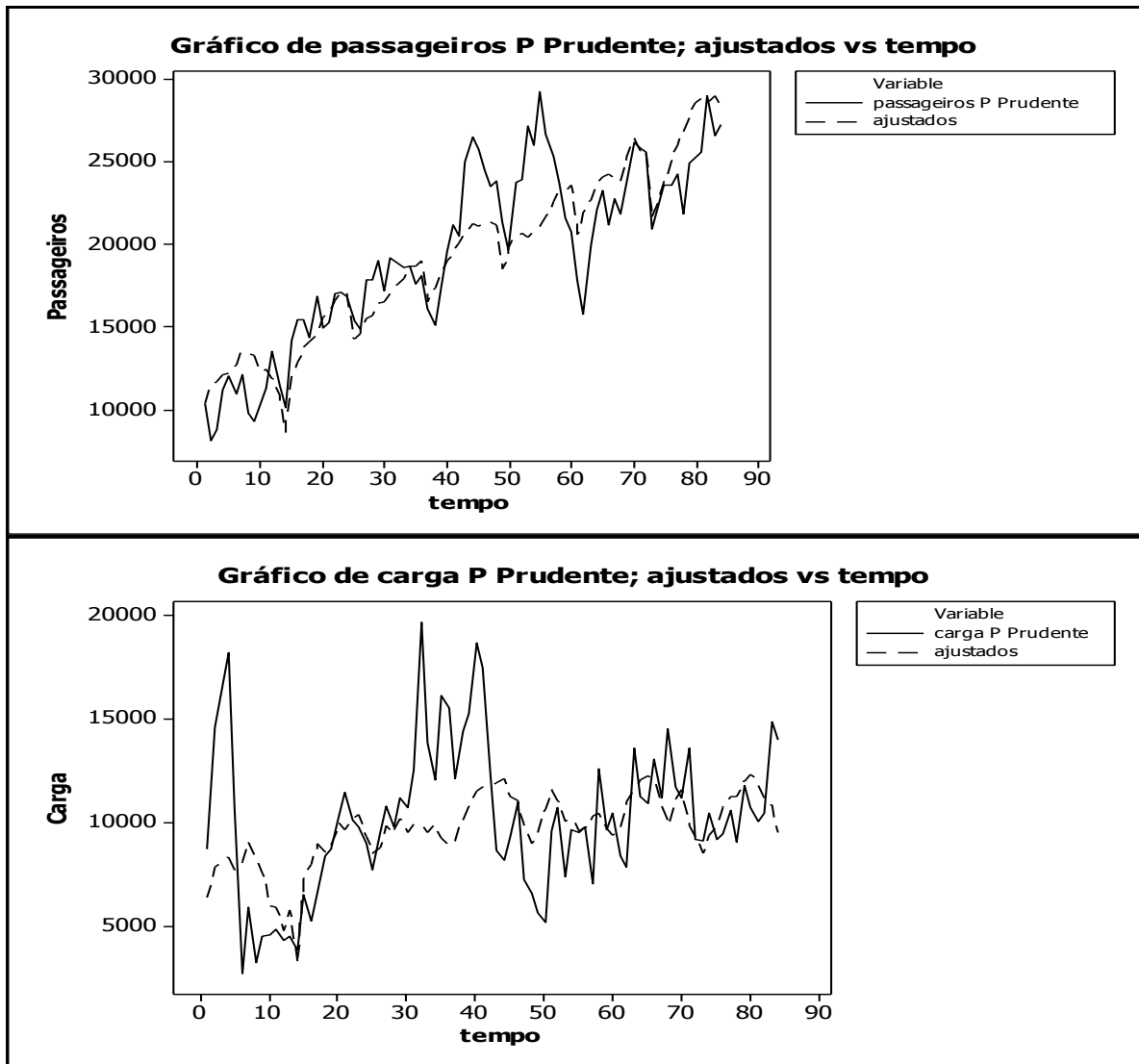
A partir dos resultados da Tabela10, concluiu-se que:

- ✓ Anos, meses, taxa de câmbio (dólar) e índice desemprego afetaram o transporte de cargas (valor-p < 0,05), isto é, os coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero num nível de significância igual à 5%;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo aos anos (0,23222), o que implica que houve um aumento significativo no transporte de cargas para Presidente Prudente no decorrer dos anos (2008 a 2014);
- ✓ Teve-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo aos meses (0,03557), o que implica que houve um aumento significativo no transporte de cargas para Presidente Prudente no decorrer dos meses;
- ✓ Teve-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de câmbio (dólar) (-0,6919), o que implica que houve um decréscimo significativo no transporte de cargas para Presidente Prudente com aumento da taxa de câmbio (dólar) no período analisado;
- ✓ Teve-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo à taxa de desemprego (0,21214), o que implica que houve um aumento significativo no transporte de cargas para Presidente Prudente com aumento do desemprego no período analisado. Observou-se que a taxa de desemprego é relativa a todo o estado de São Paulo;
- ✓ Aproximadamente 29,8% da variabilidade dos dados foi explicado pelo modelo. Outros fatores não considerados no modelo poderiam ter efeitos significativos na variabilidade do transporte de carga aérea para Presidente Prudente;
- ✓ Um estimador para o desvio-padrão do erro foi dado por 03439.

Usando os modelos ajustados (9) e (10) e considerando mês=01(janeiro), ano=8 (2015), cambio=3,30 e desemprego=9,50 o valor de previsão é dado na escala original por 26.129 passageiros e 15.323 em volume de carga para o aeroporto de Presidente Prudente.

A Figura 18 apresenta os gráficos das séries temporais para as contagens de passageiros e carga reportadas mensalmente no período de período de 01 de janeiro de 2008 a 31 de dezembro de 2014 no aeroporto de Presidente Prudente e os valores ajustados pelos modelos de regressão (9) e (10). Observou-se um ajuste razoável dos modelos aos dados.

Figura 18 – Séries temporais para valores observados e valores ajustados-passageiros e carga Presidente Prudente



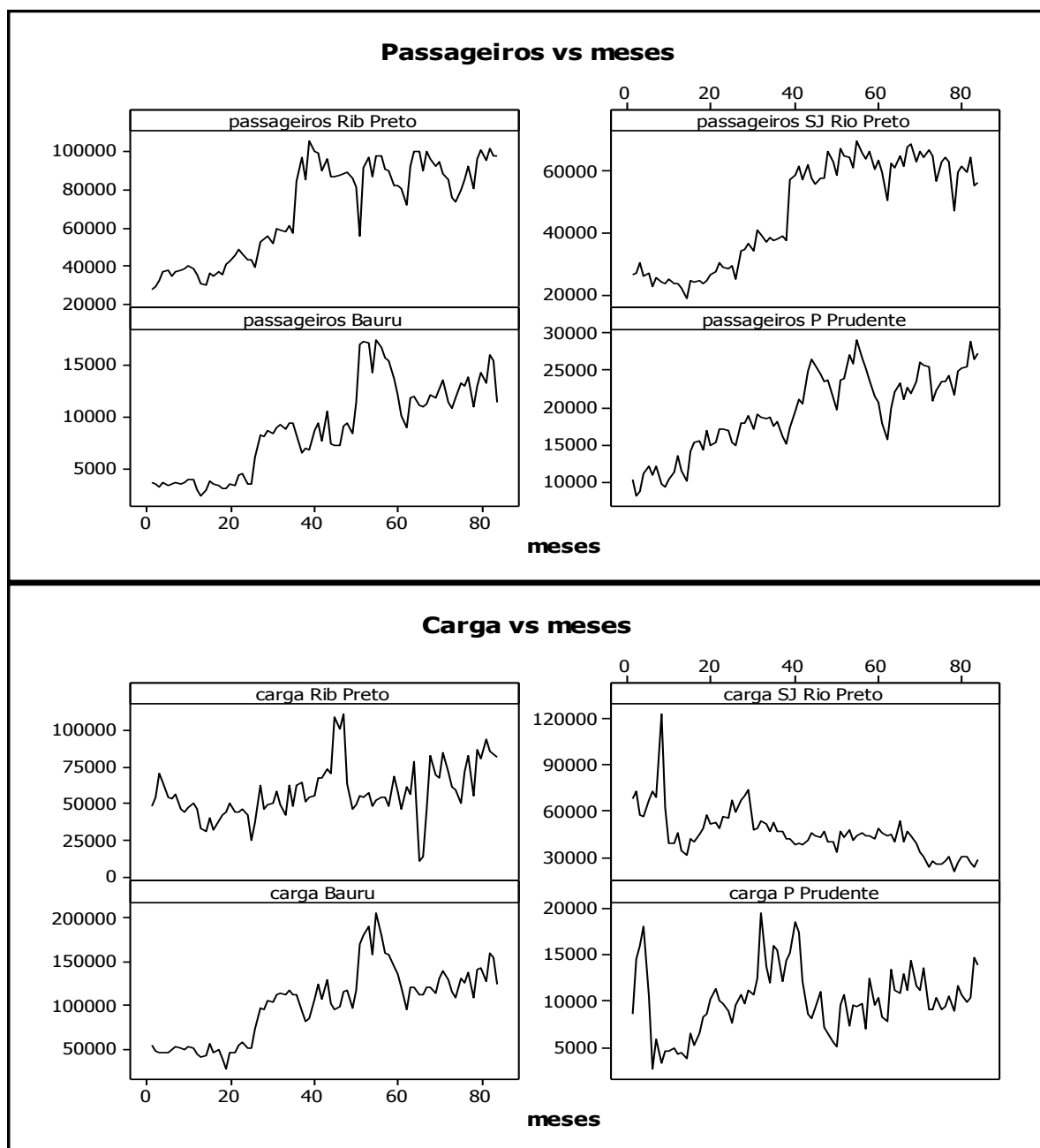
Fonte: Próprio autor (2015).

4.3 Análise estatística dos dados dos aeroportos do estado de São Paulo utilizando modelos de volatilidade estocástica

Os dados do estudo referem-se ao fluxo mensal de passageiros e cargas no período de 2008 a 2014 de quatro aeroportos do Estado de São Paulo (Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru/Arealva e Presidente Prudente), sendo os aeroportos mais relevantes em

conjunto de dados. Além das contagens (passageiros /carga), também foram consideradas algumas covariáveis que podem ser correlacionadas com as respostas (passageiros/carga) como a taxa de câmbio mensal para o dólar e a taxa de desemprego mensal. Na Figura 19, tem-se os gráficos da série de tempo para a contagem de passageiros e carga nos aeroportos de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru/Arealva e Presidente Prudente.

Figura 19 – Séries temporais para a contagem de passageiros / carga para os aeroportos de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru / Arealva e Presidente Prudente



Fonte: Próprio autor (2015).

A partir da Figura 19, observou-se que:

- ✓ Aparentemente, o número de passageiros aumentou ao longo do tempo para todos os aeroportos; em seguida, após um dado tempo, houve uma pequena diminuição;
- ✓ Aparentemente, o número de cargas de carga aumentou ao longo do tempo no aeroporto de Ribeirão Preto e Bauru; do aeroporto de São José do Rio Preto teve uma redução do volume de carga durante o período. O comportamento do aeroporto de Presidente Prudente foi diferente dos outros aeroportos.

Para estudar a relação entre as variáveis e para encontrar os fatores mais importantes que afetaram a variabilidade dos passageiros contagem/carga no período de 2008 a 2014, considerou-se uma análise estatística assumindo vários modelos de regressão linear relativos à resposta média para as covariáveis mensais/dólar, a taxa de desemprego mensal, anos e meses com as respostas contagem de passageiros/carga e as variâncias das respostas assumindo modelos de volatilidade estocástica.

4.3.1 Utilização de modelos de volatilidade estocástica sob uma abordagem bayesiana

Modelos de volatilidade estocástica SV (*stochastic volatility*) têm sido amplamente utilizados para analisar séries temporais financeiras (DANIELSSON, 1994; YU, 2002) como uma alternativa poderosa para os modelos auto-regressivos existentes, tais como ARCH (*auto-regressive conditional heteroscedastic*) introduzidas por Engle (1982) e os GARCHs (*generalised autoregressive conditional heteroscedastic*) modelos autorregressivos generalizadas introduzidos por Bollerslev (1986), mas raramente utilizados no transporte ou outras aplicações de engenharia (GHYSELS, 1996; KIM; Shephard, 1998; MEYER; YU, 2000).

Para a definição dos modelos é utilizado $N \geq 1$ sendo um número inteiro fixo que registra a quantidade de dados observados (neste caso, vai representar a contagem de passageiros ou cargas para os aeroportos do Estado de São Paulo, em cada mês). Além disso, é utilizado $Y_j(t)$, $t = 1, 2, \dots, N$, $j = 1, 2, \dots, K$, indicando a série n vezes no registro da escala logarítmica para a contagem de passageiros ou de cargas no t mês, $T = 1, 2, \dots, N$ e do aeroporto j , $j = 1, 2, 3, 4$. Aqui $N = 84$ meses e $K = 4$ ($j = 1$ para Ribeirão Preto; $j = 2$ para São José do Rio Preto; $j = 3$ para Bauru/Arealva; $j = 4$ para Presidente Prudente).

Na presença de Heteroscedasticidade, isto é, variações dependendo do tempo t , assumir que a série de tempo $Y_j(t)$, $t = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, 3, 4$ pode ser escrito como:

$$Y_j(t) = \beta_{j0} + \beta_{j1} \text{cotação.dolar} + \beta_{j2} \text{taxa.desemprego} + \beta_{j3} \text{meses} + \beta_{j4} \text{anos} + \sigma_j(t) \epsilon_j(t) \quad (1)$$

Onde temos $\epsilon_j(t)$ são ruídos considerados independentes e identicamente distribuídos com uma distribuição normal $N(0, \sigma_\epsilon^2)$ e $\sigma_j(t)$ que é a raiz quadrada da variância de (1) (para simplicidade, vamos assumir $\sigma_\epsilon^2 = 1$). variância de $Y(t)$ é assumida para ser dada pelo modelo $\sigma_\epsilon^2 e^{h_j(t)}$ onde $h_j(t)$ depende de uma variável ou variável não observada latente.

Para analisar o conjunto de dados apresentados na Figura 1, considera-se uma variável latente (variável não observado) definido por um modelo auto-regressivo AR (2) dada, para $t = 1, 2, 3, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, K$, assumindo o seguinte modelo SV:

$$\begin{aligned} h_j(1) &= \mu_j + \zeta_j(1), \quad t = 1, \\ h_j(2) &= \mu_j + \phi_{1j}[h_j(1) - \mu_j] + \zeta_j(2) \\ h_j(t) &= \mu_j + \phi_{1j}[h_j(t-1) - \mu_j] + \phi_{2j}[h_j(t-1) - \mu_j] + \zeta_j(t), \quad t = 3, 4, \dots, N, \end{aligned} \quad (2)$$

Onde $\zeta_j(t)$ é um ruído com uma distribuição normal $N(0, \sigma_{j\zeta}^2)$, que está associada com a variável latente $h_j(t)$. As quantidades $\sigma_{j\zeta}^2$, μ_j , ϕ_{1j} e ϕ_{2j} , $j = 1, 2, 3, 4$ são parâmetros desconhecidos que devem ser estimados.

A inferência Bayesiana baseada em métodos da cadeia de *Markov Chain Monte Carlo*-MCMC (GELFAND; SMITH, 1990; SMITH; ROBERTS, 1993) têm sido considerada para analisar modelos de volatilidade estocástica. A principal razão para a utilização de métodos Bayesianos é que podemos ter grandes dificuldades ao usar uma abordagem de inferência clássica padrão. Essas dificuldades podem aparecer na forma de alta dimensionalidade e função de verossimilhança sem forma fechada entre outros fatores.

Para uma análise bayesiana de modelos (1), vamos supor que as distribuições a priori para os parâmetros μ_j , ϕ_{vj} e $\sigma_{j\zeta}^2$, $v = 1, 2$; $j = 1, 2, 3, 4$ que são respectivamente, a distribuição normal, distribuição Beta(b_j, c_j) e uma distribuição Gamma(d_j, e_j), onde Beta(b, c) denota uma distribuição Beta com media $b/(b+c)$ com variação $bc/[(b+c)^2(b+c+1)]$ e Gamma(d, e) denota uma distribuição média Gamma com media d/e e variação d/e^2 . Os hiperparâmetros a_j , b_j , c_j , d_j e e_j são considerados como conhecidos e são os últimos especificados.

4.3.2 Análise bayesiana para o registo de resposta (passageiros)

Vamos supor antes Beta (1,1) distribuições para ϕ_{1j} , uniforme $U(0,0.1)$ distribuições anteriores para ϕ_{2j} , Gamma(1,1) em distribuições anteriores para $\sigma_{j\zeta}^2$, normal $N(0,1)$ em distribuições anteriores para μ_j , normal $N(10,1)$, em distribuições anteriores para β_{j0} e normal

$N(0,1)$ em distribuições anteriores para β_{jl} , $j=1,2,3,4$; $l=1,2,3,4$. Foi considerado um “*burn-in* de amostra” com 21.000 amostras para eliminar o efeito dos valores iniciais no método iterativo; depois disso, gerou-se mais de 90.000 amostras de colheita de amostras 10-10 totalizando um tamanho de amostra final de 9.000 para obter os resumos posteriores de interesse (Tabela 11). Na simulação de amostras da distribuição a posteriori conjunta de interesse que têm utilizado o *software OpenBugs* (SPIEGELHALTER et al., 2003). Convertendo o algoritmo de amostragem *Gibbs*, foi verificada a partir de gráficos de rastreamento o padrão das amostras *Gibbs* geradas.

Tabela 11 – Sumários a posteriori - passageiros

	Media	Dp	LI2,5%	LS97,5%
β_{10}	11,07	0,3404	10,46	11,81
β_{11}	-0,3385	0,1178	-0,621	-0,1739
β_{12}	-0,03404	0,03757	-0,1123	0,04636
β_{13}	0,02243	0,007268	0,007812	0,03657
β_{14}	0,1752	0,02824	0,1241	0,2374
β_{20}	11,06	0,4434	10,23	11,91
β_{21}	-0,2935	0,09021	-0,5058	-0,1609
β_{22}	-0,08124	0,03879	-0,1575	-0,007583
β_{23}	0,007795	0,007734	-0,007614	0,02227
β_{24}	0,1667	0,02578	0,1146	0,2149
β_{30}	8,675	0,3949	7,922	9,469
β_{31}	-0,3248	0,1028	-0,5348	-0,1395
β_{32}	-0,04081	0,04516	-0,1344	0,04643
β_{33}	0,02598	0,007805	0,009535	0,04048
β_{34}	0,2378	0,02762	0,1825	0,2922
β_{40}	9,234	0,2451	8,707	9,697
β_{41}	-0,22	0,04789	-0,3116	-0,124
β_{42}	0,04343	0,0281	0,006466	0,1049
β_{43}	0,02887	0,003767	0,022	0,0369
β_{44}	0,1445	0,01909	0,1093	0,1855
μ_1	-2,629	0,9792	-4,1	-0,4999
μ_2	-2,749	1,018	-4,044	-0,5457
μ_3	-2,416	0,7627	-3,637	-0,6911
μ_4	-0,9206	0,8072	-2,464	0,6866
ϕ_{11}	0,8498	0,1268	0,5029	0,9881
ϕ_{12}	0,7309	0,2486	0,1116	0,979
ϕ_{13}	0,8444	0,08187	0,66	0,9713
ϕ_{14}	0,9536	0,02412	0,9035	0,9945
ϕ_{21}	0,05135	0,02852	0,002768	0,0977
ϕ_{22}	0,0503	0,02851	0,002886	0,09743
ϕ_{23}	0,04909	0,02867	0,002549	0,097
ϕ_{24}	0,0658	0,0244	0,01118	0,09863
ζ_1	2,268	1,005	0,8512	4,77
ζ_2	2,924	1,331	1,094	6,248
ζ_3	1,909	0,843	0,7078	3,997
ζ_4	2,78	1,148	1,111	5,537

(Dp: Desvio-padrão; LI2.5%: Limite Inferior; LS97.5%: Limite Superior)

Fonte: Próprio autor (2015).

A partir dos resultados da Tabela 11, pode-se concluir que:

4.3.2.1 Os passageiros - Ribeirão Preto

- ✓ Taxa, anos, meses, taxa de câmbio e do desemprego afetaram o número de passageiros de Ribeirão Preto (95% intervalo de credibilidade não contém zero), ou seja, coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro relacionado com a regressão ano (0,1752), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros para Ribeirão Preto ao longo dos anos (2008-2014);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relacionado com a taxa de câmbio (-0,3385), o que implica que houve uma diminuição significativa no número de passageiros de Ribeirão Preto com aumento do dólar no período analisado;
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relacionado com a taxa de desemprego (-0,08115), o que implica que houve uma diminuição significativa no número de passageiros de Ribeirão Preto com o aumento do desemprego no período analisado;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relacionadas com os meses (0,02243), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros ao longo dos meses; final dos anos conduziu a um aumento significativo no número de passageiros.

4.3.2.2 Os passageiros - São José do Rio Preto

- ✓ Anos, taxa de câmbio e taxa de desemprego afetaram o número de passageiros de São José do Rio Preto (95% intervalo de credibilidade não contém zero), ou seja, coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão em relação ao ano (0,1667), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros de São José do Rio Preto ao longo dos anos (2008-2014);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão na taxa de câmbio (0,2935), o que implica que houve uma diminuição significativa no número de passageiros de São José do Rio Preto, com aumento do dólar no período analisado;
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão da taxa de desemprego (-0,08124), o que implica que houve uma diminuição significativa no número de passageiros de São José do Rio Preto, com o aumento do desemprego no período analisado;

4.3.2.3 Os passageiros - Bauru/Arealva

- ✓ Anos e a taxa de câmbio estão a afetar o número de passageiros (95% intervalo de credibilidade não contém zero), ou seja, coeficientes de regressão foram estatisticamente diferente de zero;
- ✓ Observa-se um valor positivo para o parâmetro relacionado com a regressão ano (0,2378), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros para Bauru ao longo dos anos (2008-2014);
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão relacionado com a taxa de câmbio (-0,3248), o que implica que houve uma diminuição significativa no número de viajantes para Bauru com aumento do dólar no período analisado;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativo ao mês (0,02598), o que implica que houve um aumento significativo no número de passageiros ao longo de meses; final dos anos conduziu a um aumento significativo no número de passageiros.

4.3.2.4 Os passageiros - Presidente Prudente

- ✓ Anos, meses e a taxa de câmbio afetaram o número de passageiros (95% de intervalo de credibilidade não contém zero), ou seja, coeficientes de regressão foram estatisticamente diferente de zero.
- ✓ Notou-se o valor positivo para o parâmetro de regressão referente ao ano (0,1445), o que implica que houve um aumento significativo no número de viajantes para Presidente Prudente ao longo dos anos (2008-2014);
- ✓ Notou-se o valor negativo para o parâmetro de regressão relacionado com a taxa de câmbio (-0,2200), que implica que houve uma diminuição significativa no número de passageiros de Presidente Prudente com aumento no valor do dólar no período analisado;
- ✓ Observou-se o valor positivo para o parâmetro de regressão relacionadas com os meses (0.02887), havendo um aumento significativo no número de passageiros, com respeito a meses (final de chumbo anos de aumento do número de passageiros).

4.3.3 Análise bayesiana para o log de resposta (de carga)

Supondo beta (1,1) em distribuições anteriores para ϕ_{1j} uniforme a U(0,0.1) em distribuições anteriores para ϕ_{2j} , Gamma (1.1) em distribuições anteriores para $\sigma_{j\zeta}^2$, normal N

(0,1) em distribuições anteriores para μ_j , normal $N(10,1)$ em distribuições anteriores para β_{j0} and $N(0,1)$ em distribuições anteriores para β_{j0} and $N(0,1)$ em distribuições anteriores para β_{jl} , $j=1,2,3,4$; $l=1,2,3,4$.

Utilizando também o *software OpenBugs*, considerou-se uma amostra de “burn-in” = 21000. Logo após, gerou-se 90.000 amostras da colheita de amostras 10-10 totalizando uma amostra final de 9.000 para obter os sumários a posteriori de interesse (Tabela 12).

Tabela 12 – Sumários a posteriori – carga

	Média	Sd	LI2,5%	LS97,5%
β_{10}	10,76	0,5436	9,8	11,81
β_{11}	-0,1753	0,06556	-0,3101	-0,04929
β_{12}	-0,01155	0,05656	-0,1158	0,09262
β_{13}	0,03134	0,01098	0,008729	0,05112
β_{14}	0,09188	0,03801	0,01714	0,1584
β_{20}	11,54	0,3735	10,83	12,33
β_{21}	-0,378	0,1028	-0,5565	-0,1454
β_{22}	0,02489	0,04428	-0,0643	0,1138
β_{23}	-0,001191	0,008008	-0,01742	0,01418
β_{24}	-0,06743	0,03149	-0,1328	-0,005542
β_{30}	11,86	0,3814	11,06	12,58
β_{31}	-0,3563	0,09295	-0,5425	-0,1762
β_{32}	-0,08597	0,04153	-0,1671	9,80E-01
β_{33}	0,02059	0,006896	0,0064	0,03353
β_{34}	0,155	0,02563	0,106	0,2081
β_{40}	8,312	0,6196	7,038	9,519
β_{41}	-0,5819	0,1427	-0,8501	-0,2911
β_{42}	0,1567	0,06345	0,03276	0,2824
β_{43}	0,0363	0,0102	0,01685	0,05694
β_{44}	0,1883	0,04512	0,1027	0,2724
μ_1	-1,871	1,084	-3,403	0,4202
μ_2	-3,147	0,6257	-3,828	-1,247
μ_3	-2,339	0,8223	-3,67	-0,4718
μ_4	-0,6796	0,8618	-2,327	1,011
ϕ_{11}	0,7816	0,1544	0,4134	0,9768
ϕ_{12}	0,5057	0,2594	0,0409	0,9401
ϕ_{13}	0,847	0,08634	0,6412	0,9786
ϕ_{14}	0,8933	0,05804	0,7487	0,9788
ϕ_{21}	0,04734	0,0285	0,002384	0,09696
ϕ_{22}	0,05025	0,02852	0,002646	0,09717
ϕ_{23}	0,05043	0,02857	0,002579	0,09753
ϕ_{24}	0,06185	0,02479	0,009566	0,0983
ζ_1	1,141	0,5293	0,4524	2,451
ζ_2	2,306	1,117	0,8192	5,143
ζ_3	1,801	0,7774	0,7008	3,687
ζ_4	2,811	1,261	1,054	5,9

(Dp: Desvio-padrão; LI2.5%: Limite Inferior; LS97.5%: Limite Superior)

Fonte: Próprio autor (2015).

A partir dos resultados da Tabela 12, concluiu-se que:

4.3.3.1 Carga - Ribeirão Preto

- ✓ Anos, meses e taxa de câmbio afetaram o transporte de cargas para Ribeirão Preto (95% intervalo de credibilidade não contém zero), ou seja, coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero;
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão sobre a taxa de câmbio do dólar (-0,1753), que implica que houve uma diminuição significativa no transporte de cargas para Ribeirão Preto com o aumento do dólar;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativa aos meses (0.03134) implicando num aumento significativo na quantidade de carga em relação ao mês (final de chumbo ano a um aumento da quantidade de carga);
- ✓ Existe um valor positivo para o parâmetro de regressão em relação ao ano (0.09188), o que implica que houve um aumento significativo no transporte de carga ao longo dos anos.

4.3.3.2 Carga - São José do Rio Preto

- ✓ Anos e taxa de câmbio afetaram o transporte de carga até São José do Rio Preto (95% intervalo de credibilidade não contém zero), ou seja, coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero;
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão sobre a taxa de câmbio do dólar (-0,3780), o que implica que houve uma diminuição significativa no transporte de cargas para São José do Rio Preto com o aumento do dólar;
- ✓ Existe um valor negativo para o parâmetro de regressão em relação ao ano (-0,06743), o que implica que existe uma diminuição significativa no transporte de carga ao longo dos anos.

4.3.3.3 Carga - Bauru/Arealva

- ✓ Anos, meses e a taxa de câmbio afetam o transporte de carga para Bauru/Arealva (95% de intervalo de credibilidade não contém zero), ou seja, coeficientes de regressão foram estatisticamente diferente de zero.
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão sobre a taxa de câmbio do dólar (-0,3563), o que implica que há uma diminuição significativa no transporte de cargas para Bauru com o aumento do dólar;

- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativa aos meses (0,02059), implicando num aumento significativo na quantidade de carga em relação ao mês (final de chumbo ano a um aumento da quantidade de carga);
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativa ao ano (0,1550), o que implica que houve um aumento significativo no transporte de carga ao longo dos anos.

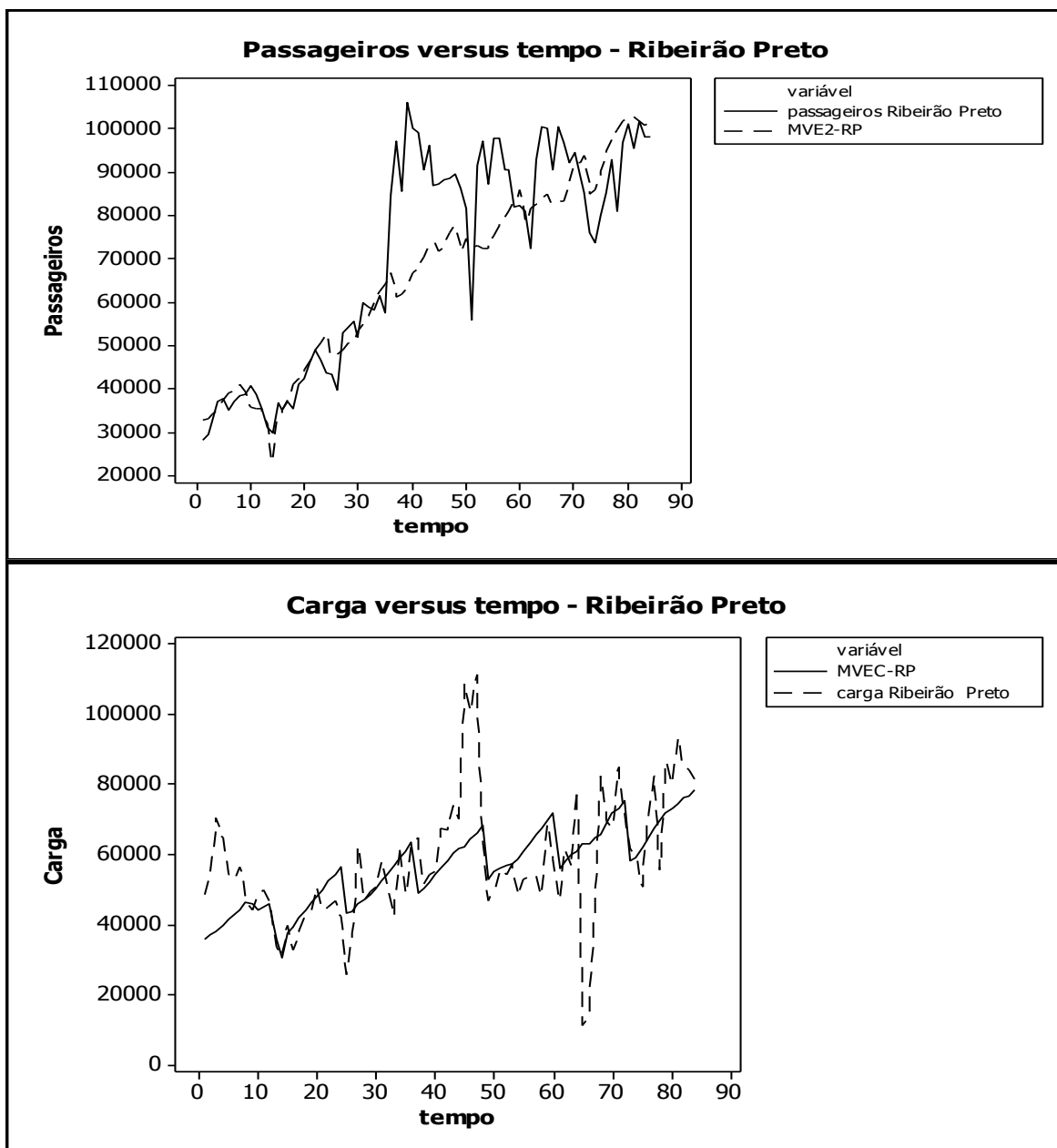
4.3.3.4 Carga - Presidente Prudente

- ✓ Anos, meses, taxa de desemprego e a taxa de câmbio afetaram o transporte de carga para Presidente Prudente (95% intervalo de credibilidade não contém zero), ou seja, coeficientes de regressão foram estatisticamente diferentes de zero;
- ✓ Observou-se um valor negativo para o parâmetro de regressão sobre a taxa de câmbio do dólar (-0,5819), o que implica que houve uma diminuição significativa no transporte de cargas para Presidente Prudente com o aumento do dólar;
- ✓ Observou-se um valor positivo para o parâmetro de regressão relativa aos meses (0,0363), implicando num aumento significativo na quantidade de carga em relação ao mês (final de chumbo ano a um aumento da quantidade de carga);
- ✓ Teve-se um valor positivo para o parâmetro relacionado com a regressão ano (0,1883), o que implica que houve um aumento significativo no transporte de cargas para Presidente Prudente ao longo dos anos.
- ✓ Teve-se um valor positivo para o parâmetro de regressão sobre a taxa de desemprego (0,1567), o que implica que houve um aumento significativo no transporte de cargas para Presidente Prudente com o aumento do desemprego.

4.3.4 Modelo ajustado e as volatilidades estimadas

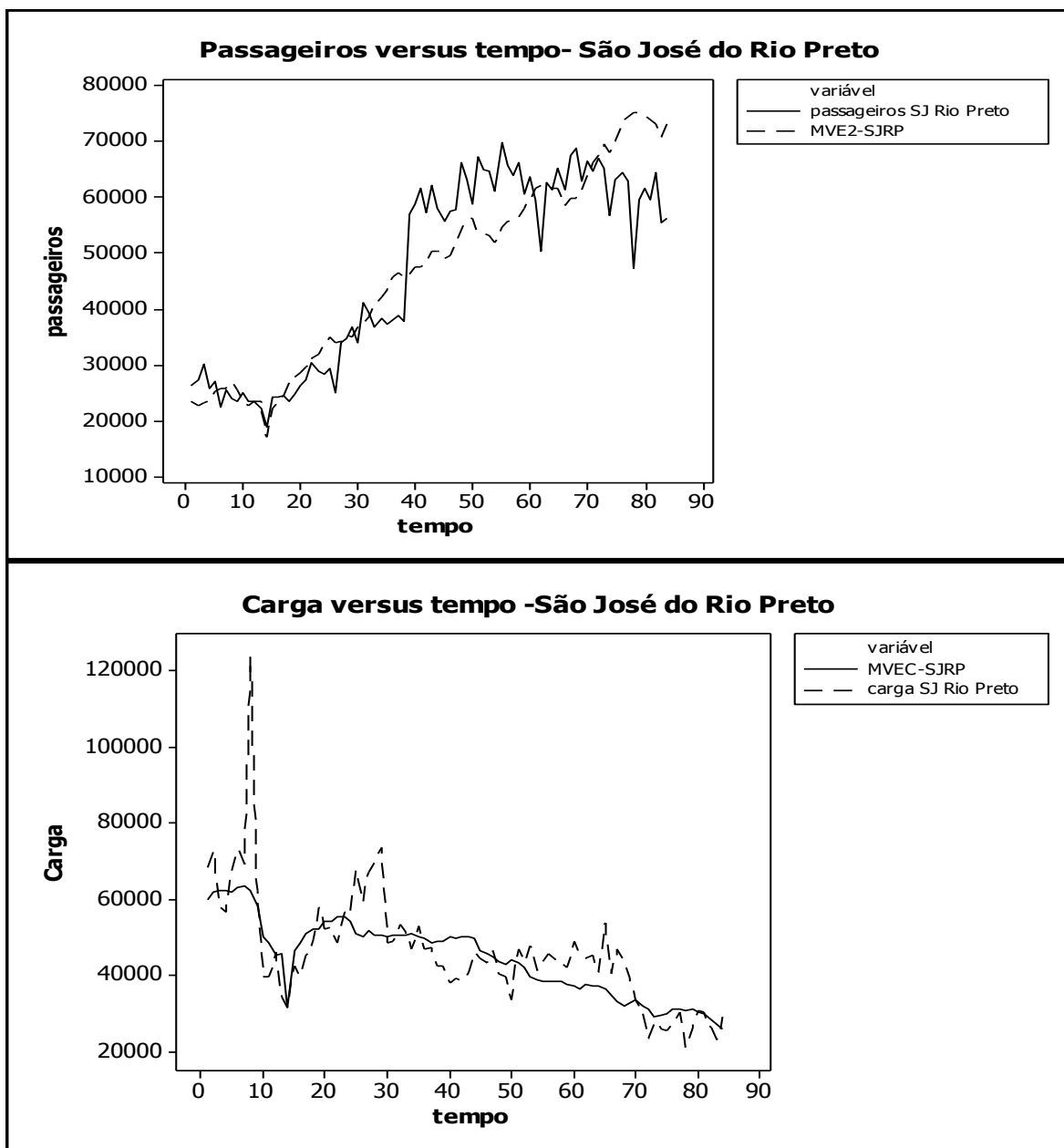
A partir do modelo ajustado (1) para os dados do aeroporto em Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru/Arealva e Presidente Prudente, tem-se nas Figuras 20,21, 22, 23 e 24 os meios embutidos e os valores observados para o transporte de passageiros e carga no período de 2008 a 2014.

Figura 20 – Séries temporais para os valores observados e valores ajustados - passageiros e carga Ribeirão Preto



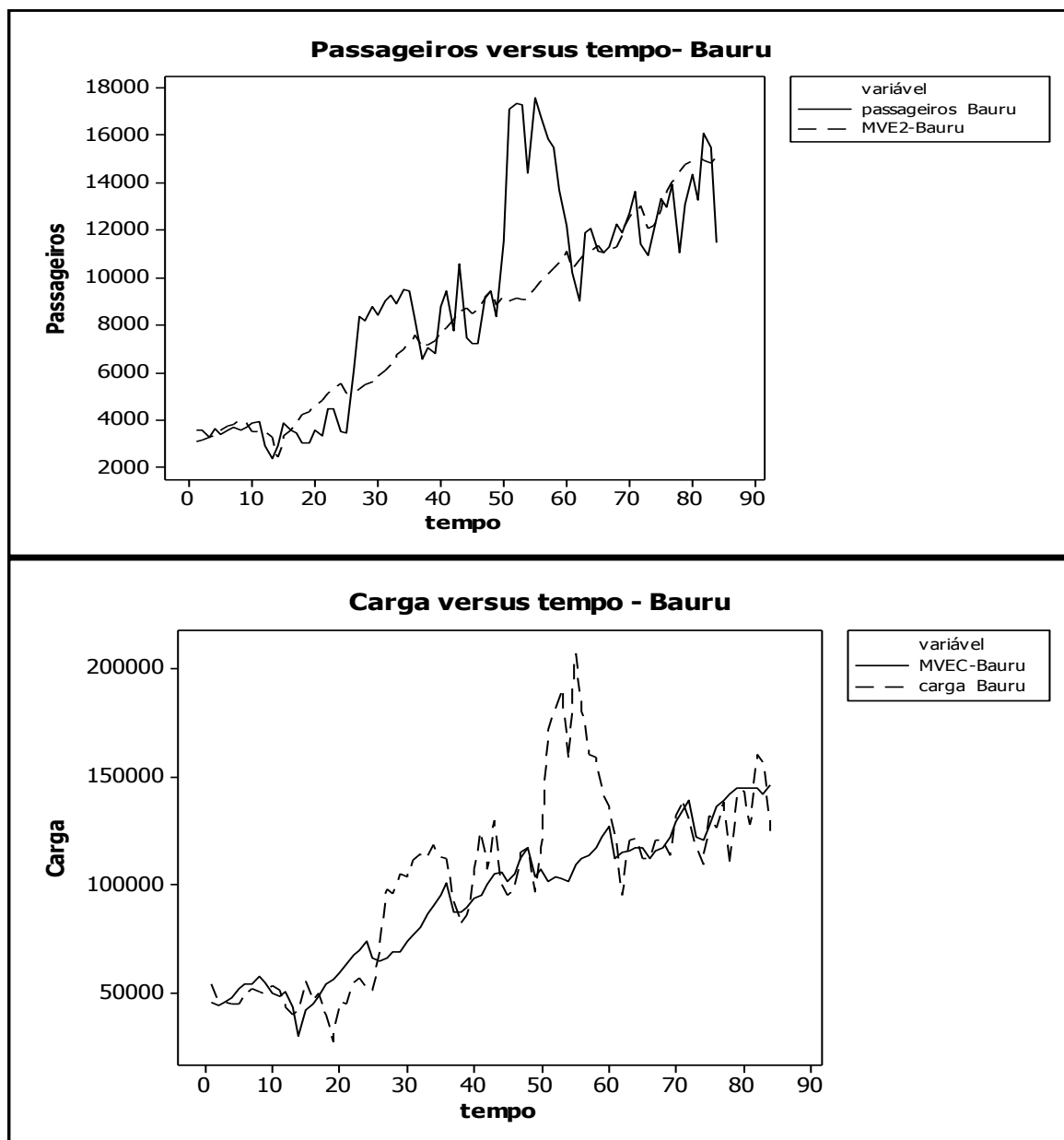
Fonte: Próprio autor (2015).

Figura 21– Séries temporais para os valores observados e valores ajustados - passageiros e cargas São José do Rio Preto



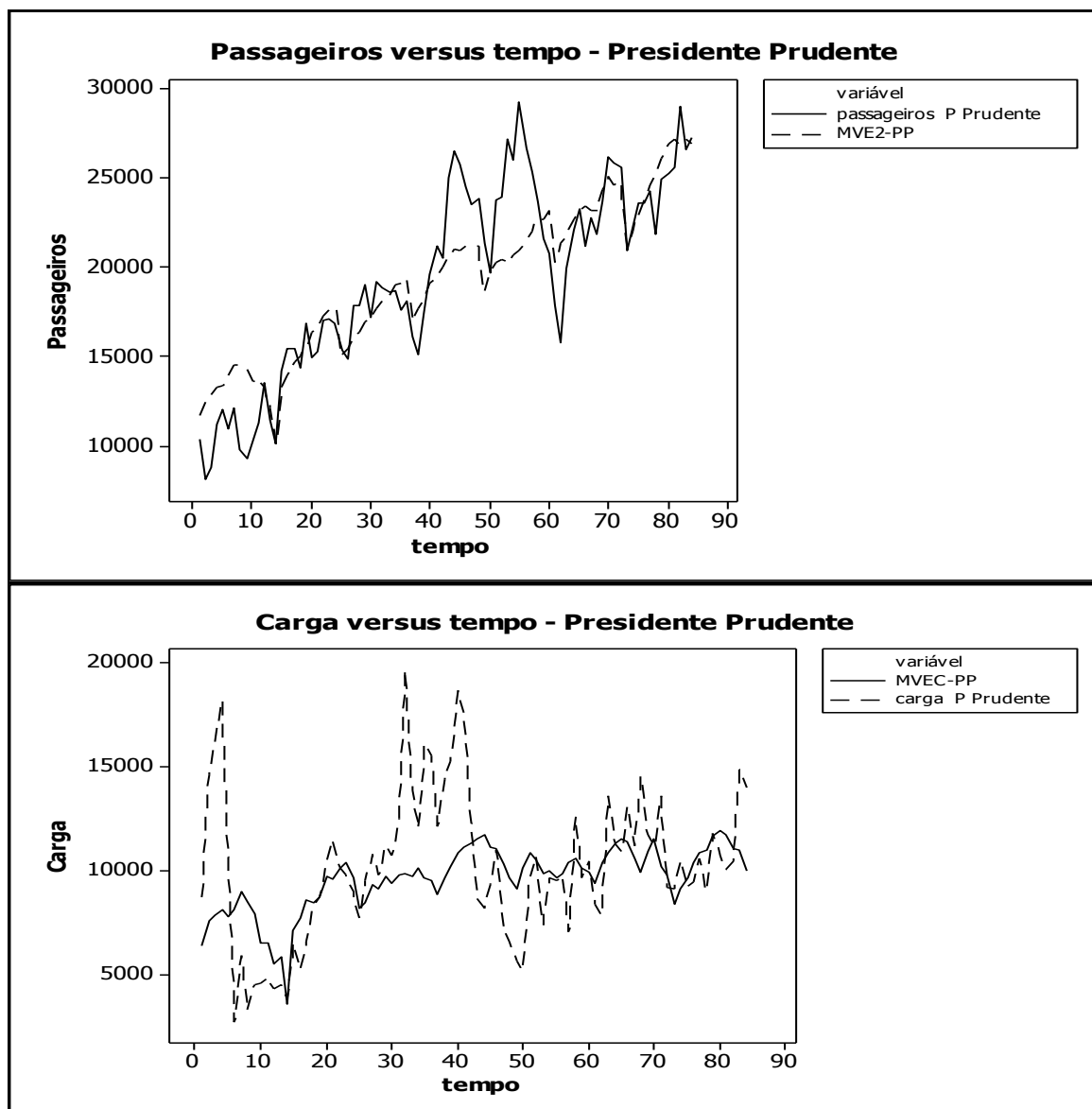
Fonte: Próprio autor (2015).

Figura 22 – Séries temporais para os valores observados e valores ajustados - passageiros e carga Bauru / Arealva



Fonte: Próprio autor (2015).

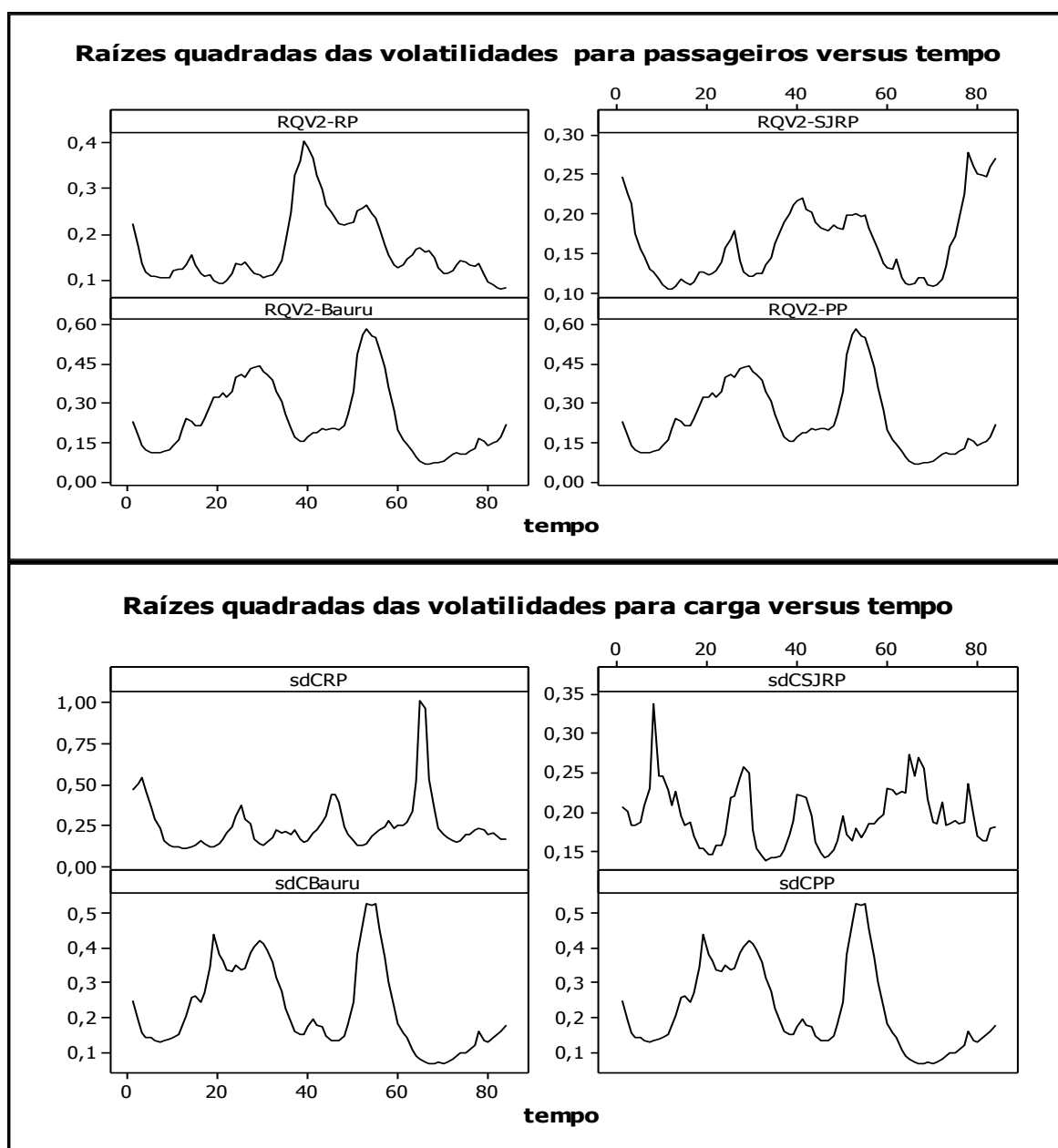
Figura 23 – Séries temporais para os valores observados e valores ajustados - passageiros e carga Presidente Prudente



Fonte: Próprio autor (2015).

Em relação às Figuras 19, 20, 21 e 22, observou-se bom ajuste do modelo aos dados. Na Figura 26 tem-se os gráficos das raízes quadradas das volatilidades para os dados (passageiros e carga para as quatro cidades).

Figura 24 - Raízes quadradas para volatilidades (passageiros / carga) para os aeroportos



Fonte: Próprio autor (2015).

A partir das parcelas das Figuras 19 e 23, obteve-se algumas interpretações importantes:

4.3.4.1 Passageiros

- ✓ Existe uma grande volatilidade para o número de passageiros no aeroporto de Ribeirão Preto perto do mês entre 40 (abril de 2011) e 50 (Fevereiro de 2012) deste período, há uma pequena volatilidade;

- ✓ Comportamento semelhante é observado para o número de passageiros no aeroporto de São José do Rio Preto; a volatilidade aumentou no final do período observado, isto é, perto do final de 2014 (início dos grandes problemas econômicos no Brasil);
- ✓ O aeroporto de Bauru teve uma grande volatilidade para o número de passageiros próximos ao mês 25 (janeiro de 2010) e no mês 55 (final de 2012);
- ✓ O aeroporto de Presidente Prudente teve um comportamento semelhante para a volatilidade para o número de passageiros, como observado para o aeroporto de Bauru.

4.3.4.2 Carga

- ✓ Aeroporto de Ribeirão Preto teve um comportamento sazonal para as volatilidades no transporte de carga (em algumas épocas do ano há mais volatilidade) e grande volatilidade perto do mês 65, que corresponde ao ano de 2013;
- ✓ Comportamento semelhante foi observado para o transporte de cargas no aeroporto de São José do Rio Preto;
- ✓ Bauru e Presidente Prudente têm grandes volatilidades para o transporte de cargas, especialmente entre os meses de 10 e 35 (final de 2008 e final de 2010) e próximo ao mês 55 (meados de 2012).

4.4 Mapeamento da Rede *Hub-and-spoke*

Os dois últimos objetivos específicos desta pesquisa constaram em mapear quais são os aeroportos com menor variação entre períodos por passageiros e cargas nos relatórios de movimentação estatística de 2008 a 2014, e posteriormente, determinar a composição da rede *hub-and-spoke* através da análise dos 04 maiores aeroportos no universo de 32, tendo como critério o volume das demandas aeroviárias de passageiros e cargas.

Os outros objetivos específicos, tais como: comparar a evolução histórica dos 84 relatórios estatísticos entre os 32 aeroportos analisados; inter-relacionar e compor cenários estratégicos através da análise das demandas pelas variáveis (passageiros e cargas) e covariáveis (taxa de desemprego) e da cotação do dólar; classificar os aeroportos a partir da quantidade da passageiros e volume de carga entre os 32 aeroportos no período de 2008 a 2014 e identificar os aeroportos por períodos de sazonalidades das demandas históricas (quedas ou altas), foram desenvolvidos pela análise do método de modelagem estatística na seção anterior a esta.

4.4.1 Descrição do Aeroporto e da Região Econômica de Ribeirão Preto

Conforme o DAESP (2016), o Aeroporto Estadual Doutor Leite Lopes de Ribeirão Preto é definido por um conjunto de atributos aeroviários e aeroportuários:

- Características

Latitude: 21° 08' 11" S – Longitude: 47° 46' 36" W

Indicação ICAO: SBRP – Horário de Funcionamento: H24

Código de Pista: 3C – Tipo de Operação: VFR/IFR diurno/noturno

Altitude: 550/1.804 ft – Área Patrimonial (ha): 159 ha

Temperatura Média: 30,2 °C

Categoria Contra Incêndio disponível: 6

Distância da Capital (km): Aérea: 299km – Rodoviária: 310km

Distância até o Centro da Cidade: 5 km

- Movimento

Designação da cabeceira: 18 – 36 – Cabeceira Predominante: 18

Declividade máxima: 0,44% – Declividade Efetiva: 0,2%

Tipo de piso: Asfalto – Resistência do Piso (PCN): 54/F/A/X/T

Recuo de 100 metros na Cab 36 – 200 metros Cab 18

- Pista

Dimensões (m): 2.100 x 45

Ligação do pátio à pista de pouso – PRB (m): 1.700 X 23

Acesso à cabeceira 18 – PRA (m): 90 x 23

Acesso à cabeceira 36 – PRE (m): 90 x 23

Ligação da pista de pouso à PRD – PRD (m): 70 x 23

Ligação da pista de pouso à PRC – PRD (m): 90 x 23

Tipo de Piso: Asfalto com Grooving

Distância da cabeceira mais próxima (m): 800

Aeronaves: Airbus A320, E195, E 190, ATR 72, B737/800

- Pátio

Dimensões (m): Pátio 1: 150 x 138m = 20.700m² – Pátio 2: 150 x 120m = 18.000m²

Capacidade de Aviões: 08 Airbus A320 ou 08 B 737/800 ou 13 ATR 72

Dist. da Borda ao Eixo da Pista (m): P1 – 220m P2 – 220m

Tipo de Piso: Concreto

- Auxílios operacionais
 - RDONAV – NDB RPR 330 21 08.56S/047.56W
 - Estação Meteorológica – Biruta Iluminada
 - Sinais de Eixo de Pista – Sinais Indicadores do Aeroporto
 - Sinais de Cabeceira de Pista – Sinais Indicadores de Pista
 - Sinais de Guia de Táxi – Farol Rotativo – Luzes de Táxi
 - Sinais do Eixo Norte – Teste Bussola – PRA
 - Luzes de Pista – Luzes de Obstáculos
 - Luzes de Cabeceira – Iluminação de Pátio
 - Frequência do Rádio: – Frequência Torre: 118.00 Mhz, Solo: 119,55 Mhz, ATIS: 127,425
 - Circuito de Tráfego Aéreo: Padrão – Sala AIS
- Abastecimento
 - BR Aviation: Avgas – JET
 - AIR BP: Avgas – JET
- Instalações
 - Terminal de Passageiros (m²): 5.000
 - Estacionamento de Veículos – n° de vagas 840 – Tipo de Piso: Asfalto
- Serviços
 - Cabine de Força (KF) – KC/KT
 - Manutenção e Serviços / Combustível
 - Lanchonete e Bar – Banca de Jornal/Livraria
 - Locadoras de Veículos – Telefones Públicos
 - Ônibus Urbano – Detector de metais – Raio-X
 - Área para publicidade – Veículos Contra Incêndio
 - Ponto de Táxi
 - Restituição de bagagem – Área de pré-embarque
 - Caixa Eletrônico: Banco do Brasil e Banco 24 horas
 - 01 Escola de Aviação Civil
- Transportadoras Aéreas (Companhias Aéreas)
 - Empresa Aérea: TAM, Passaredo e Azul

Segundo o IBGE (2017), a região que abrange o município de Ribeirão Preto conta com a seguinte composição dos setores econômicos para formação de seu Produto Interno Bruto (PIB), como apresenta a Tabela 13:

Tabela 13 - Composição do Produto Interno Bruto (PIB) do município de Ribeirão Preto

Variável (Setor)	R\$ (mil reais)	%
Agropecuária	84.115	0,38
Indústria	2.755.353	12,29
Serviços	19.575.908	87,33
Total PIB	22.415.376	100

Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

4.4.2 Descrição do Aeroporto e da Região Econômica de São José do Rio Preto

Conforme o DAESP (2016), o Aeroporto Estadual Professor Manoel Reino de São José do Rio Preto é definido por um conjunto de atributos aeroviários e aeroportuários:

- Características

Latitude: 20° 48' 58" S – Longitude: 049° 24' 17" W

Indicação ICAO: SBSR – Horário de Funcionamento: H24

Código de Pista: 2C – Tipo de Operação: IFR/VFR diurno/noturno

Altitude: 543m/1.781 ft – Área Patrimonial (ha): 83,31

Temperatura Média: 31°C

Categoria Contra Incêndio disponível: 6

Distância da Capital (km): Aérea: 421 – Rodoviária: 445

Distância até o Centro da Cidade: 3 km

- Movimento

Designação da cabeceira: 25 – 07 – Cabeceira Predominante: 07

Declividade máxima: 0,964% – Declividade Efetiva: 1,50%

Tipo de piso: Asfalto – Resistência do Piso (PCN): 35/F/B/X/T

Recuo de 60 metros na Cabeceira 07

- Pista

Dimensões (m): 1.640 x 35

Ligação do pátio à pista de pouso – PRA (m): 40 X 30

Acesso à cabeceira 07 – pátio 2 – PRB (m): 910 x 23

Acesso à cabeceira 25 – PRC (m): 607 x 23

Ligação da pista de pouso à PRC – PRD (m): 74 x 23

Tipo de Piso: Asfalto

Possui o sistema de escoamento de água chamado grooving.

Distância da cabeceira mais próxima (m): 680

- Pátio

Dimensões (m): Pátio 1: 250 x 123,5 – Pátio 2: 17.400m²

Capacidade de Aviões: 12 Boeing 737 / A319

Dist. da Borda ao Eixo da Pista (m): P1 – 113,50 P2 – 81,50

Tipo de Piso: Asfalto

- Auxílios operacionais

NDB: 420 – EPTA / Estação Meteorológica – Biruta

Sinais de Eixo de Pista – Sinais Indicadores do Aeroporto

Sinais de Cabeceira de Pista – Sinais Indicadores de Pista

Sinais de Guia de Táxi – Farol Rotativo – Luzes de Táxi

Luzes de Pista – Luzes de Obstáculos

Luzes de Cabeceira – Iluminação de Pátio

Frequência do Rádio: 130,850 – Frequência da Torre: 123,45

Circuito de Tráfego Aéreo: Padrão – Sala AIS

- Abastecimento

BR Aviation: Avgas – JET

Shell: Avgas – JET

- Instalações

Terminal de Passageiros (m²): 6.000

Estacionamento de Veículos – nº de vagas 300 – Tipo de Piso: Asfalto

- Serviços

Cabine de Força (KF) – KC/KT

Restaurante – Lanchonete e Bar – Banca de Jornal

Locadora de Veículos – Telefone Público

Correios – Ônibus Urbano – Táxi Aéreo – Detector de metais – Raio-X

Área para publicidade – Veículos de Emergência

Ponto de Táxi – Transporte interno para passageiros

Restituição de bagagem – Área de pré-embarque

Posto de Informação Turística da Cidade

Aeroclube

- Transportadoras Aéreas (Companhias Aéreas)

Empresa Aérea: TAM, Passaredo e Azul.

Segundo o IBGE (2017), a região que abrange o município de São José do Rio Preto conta com a seguinte composição dos setores econômicos para formação de seu Produto Interno Bruto (PIB), como pode apresenta a Tabela 14:

Tabela 14 – Composição do Produto Interno Bruto (PIB) do município de São José do Rio Preto

Variável (Setor)	R\$ (mil reais)	%
Agropecuária	40.798	0,32
Indústria	1.936.798	15,18
Serviços	10.781.936	84,50
Total PIB	12.759.532	100

Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

4.4.3 Descrição do Aeroporto e da Região Econômica de Bauru/Arealva

Conforme o DAESP (2016), o Aeroporto Estadual Moussa Nakhel Tobia – Bauru/Arealva é definido por um conjunto de atributos aeroviários e aeroportuários:

- Características

Inauguração: outubro de 2006

Latitude: 22° 09' 28'' S – Longitude: 049° 04' 06'' W

Indicação ICAO: SBAE – Horário de funcionamento: 24 horas

Código de Pista: 3 – Tipo de Operação: VFR/IFR diurno e noturno

Altitude: 594 m / 1.949 ft – Área patrimonial (ha): 446,58

Temperatura média: 29,2°C – Categoria contra incêndio disponível: 5

Distância da capital (350Km) – Aérea: rodoviária:

Distância até o centro da cidade: 18 km

- Movimento

Designação da cabeceira: 17 – 35 – Cabeceira predominante:

Declividade máxima: 0,8% – Declividade efetiva: 0,34%

Tipo de piso: asfalto – Resistência do piso (PCN): 42/F/A/X/T

Cabeceira recuada 90 m na cabeceira 35

- Pista

Dimensões (m): 2.100 x 45

Ligação do pátio à pista de pouso PRA (m): 230 x 25

Acesso à cabeceira 35 – PRB (m): 2.152 x 15,5

Acesso à cabeceira 17 – PRC (m): 251,67 x 24,14

Tipo de Piso: asfalto

Distância da cabeceira mais próxima (m): 660

- Pátio

Dimensões (m): 229,12 x 134,36

Distância da borda ao eixo da pista (m): 254,26

Tipo de piso: asfalto

capacidade de aviões: De 5 aeronaves de porte Pequeno-médio

(Fokker 100 / ATR42-300 / Embraer ERJ145/175/195 / Boeing 737 / Airbus A320)

Mais 6 posições 3 (comprimento de aeronave até 12 mts, envergadura até 10 mts)

3 posições (comprimento até 18 mts. Envergadura de 10 a 18 mts)

- Auxílios operacionais

NDB 340 – Sinais de eixo de pista – luzes de pista

Sinais de cabeceira de pista – sinais indicadores de pista

Sinais de guia de Táxi – luzes de táxi – luzes de cabeceira

Luzes de obstáculos – iluminação de pátio – farol rotativo

Biruta

Frequência do rádio: 131.85 – circuito de tráfego aéreo: padrão

- Abastecimento

Petrobras: QAV

- Instalações

Terminal de passageiros (m²): 2.500

Estacionamento de veículos – número de vagas: 355 – tipo de Piso: asfalto

- Serviços

Restaurante/Lanchonete. Ponto de táxi

Locadora de veículos

Ônibus urbano

Caixa Eletrônico

Bombeiro de aeródromo DAESP

- Transportadoras Aéreas (Companhias Aéreas)

Empresa Aérea: Azul, GOL e TAM

Segundo o IBGE (2017), a região que abrange os municípios de Bauru e Arealva conta com a seguinte composição dos setores econômicos para formação de seu PIB, como apresentam a Tabela 15 e a Tabela 16:

Tabela 15 - Composição do Produto Interno Bruto (PIB) do município de Bauru

Variável (Setor)	R\$ (mil reais)	%
Agropecuária	32.260	0,33
Indústria	1.692.036	17,40
Serviços	8.002.014	82,27
Total PIB	9.726.310	100

Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

Tabela 16 - Composição do Produto Interno Bruto (PIB) do município de Arealva

Variável (Setor)	R\$ (mil reais)	%
Agropecuária	33.728	33,17
Indústria	1.692.036	10,20
Serviços	8.002.014	56,63
Total PIB	9.726.310	100

Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

4.4.4 Descrição do Aeroporto e da Região Econômica de Presidente Prudente

Conforme o DAESP (2016), o Aeroporto Estadual Presidente Prudente – Presidente Prudente é definido por um conjunto de atributos aeroviários e aeroportuários:

- Característica
Indicação ICAO: SBDN – Horário de Funcionamento: H 24
- Movimento
Designação da cabeceira: 12 – 30 – Cabeceira Predominante: 12
Declividade máxima: 1,4% – Declividade Efetiva: 1,25%
Tipo de Piso: asfalto – Resistência do Piso (PCN): 35/F/A/X/T
- Pista
Dimensões (m): 2.100 x 35
Ligação do pátio à cabeceira 12 – PRA (m): 320 x 23
Rolamento à cabeceira 30 – PRB (m): 2.100x 35
Rolamento – PRC: 200 x 23
Tipo de Piso: asfalto
Distância da cabeceira mais próxima (m): 320
- Pátio
Dimensões (m): 61×100 – 68×100 – 78×100
Capacidade de Aviões: 4 Aeronaves de médio porte (Boeing 737-700) – 10 Jatos Executivos
Dist. da Borda ao Eixo da Pista(m): 150 – Tipo de Piso: concreto
- Auxílios operacionais

NDB: 225 – VOR – DME – Torre de Controle
 EPTA / Estação Meteorológica – Sinais de Eixo de Pista
 Sinais de Cabeceira de Pista – Sinais Indicadores de Pista
 Sinais de Guia de Táxi – Farol Rotativo – Luzes de Táxi
 Luzes de Pista – Luzes de Obstáculos – Biruta
 Luzes de Cabeceira – Iluminação de Pátio
 Frequência do Rádio: 121,30 – Frequência da Torre: 118,45
 Circuito de Tráfego Aéreo: Padrão

- Serviços

Cabine de Força (KF) – KC/KT
 Aeroclube de Presidente Prudente – Escola de Aviação Civil
 Restaurante – Lanchonete
 Locadora de veículos / Caixa Eletrônico
 Telefone Público
 Ônibus Urbano
 Detector de metais
 Sinalização Vertical no TPS – Reserva de Hotéis
 Área para Publicidade – Veículos de Emergência
 Ponto de Táxi – Transp. interno p/ passageiros
 Restituição de bagagem Área de pré-embarque
 Taxi Aéreo

- Transportadoras Aéreas (Companhias Aéreas)

Empresa Aérea: Azul e Gol

Segundo o IBGE (2017), a região que abrange o município de Presidente Prudente conta com a seguinte composição dos setores econômicos para formação de seu PIB, como pode ser analisado na Tabela 17:

Tabela 17 - Composição do Produto Interno Bruto (PIB) do município de Presidente Prudente

Variável (Setor)	R\$ (mil reais)	%
Agropecuária	30.191	0,55
Indústria	928.193	16,83
Serviços	4.558.116	82,63
Total PIB	5.516.500	100

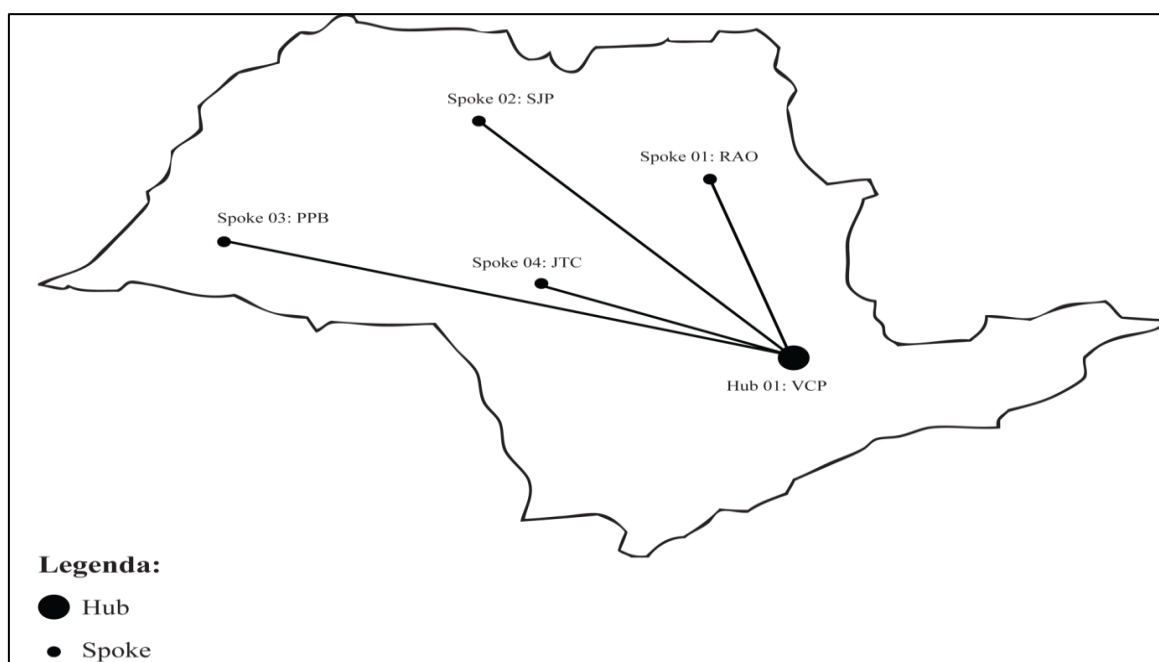
Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

Nesta seção, são abordadas figuras de localização geográfica destes 04 aeroportos que são *hubs* secundários ou *hubs* regionais (Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru/Arealva e Presidente Prudente), com base no pressuposto da importância da localização geográfica estratégica influenciado pelos aspectos de demanda de passageiros e cargas aéreas dos relatórios de movimentação estatística.

Num primeiro momento, foi apresentado três figuras que mapeiam a rede *hub-and-spoke* destes quatro aeroportos (Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Bauru/Arealva) com relação a seu posicionamento geográfico no interior do estado de São Paulo como *hubs* secundários (*Spokes*) servindo os três grandes *hubsizes* ou *hubs* do estado de São Paulo para rotas ou conexões.

Conforme Azul, Gol, Passaredo e LATAM (2017), na sequência estão em ordem as Figuras 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32 que foram elaboradas pelo autor conforme disponíveis as informações dos voos nos sites destas companhias aéreas para estes quatro aeroportos, *hubs* regionais ou *spokes* pesquisados.

Figura 25 – Rede *hub-and-spoke* interior estado de São Paulo em relação ao *hub* aeroportuário de Viracopos

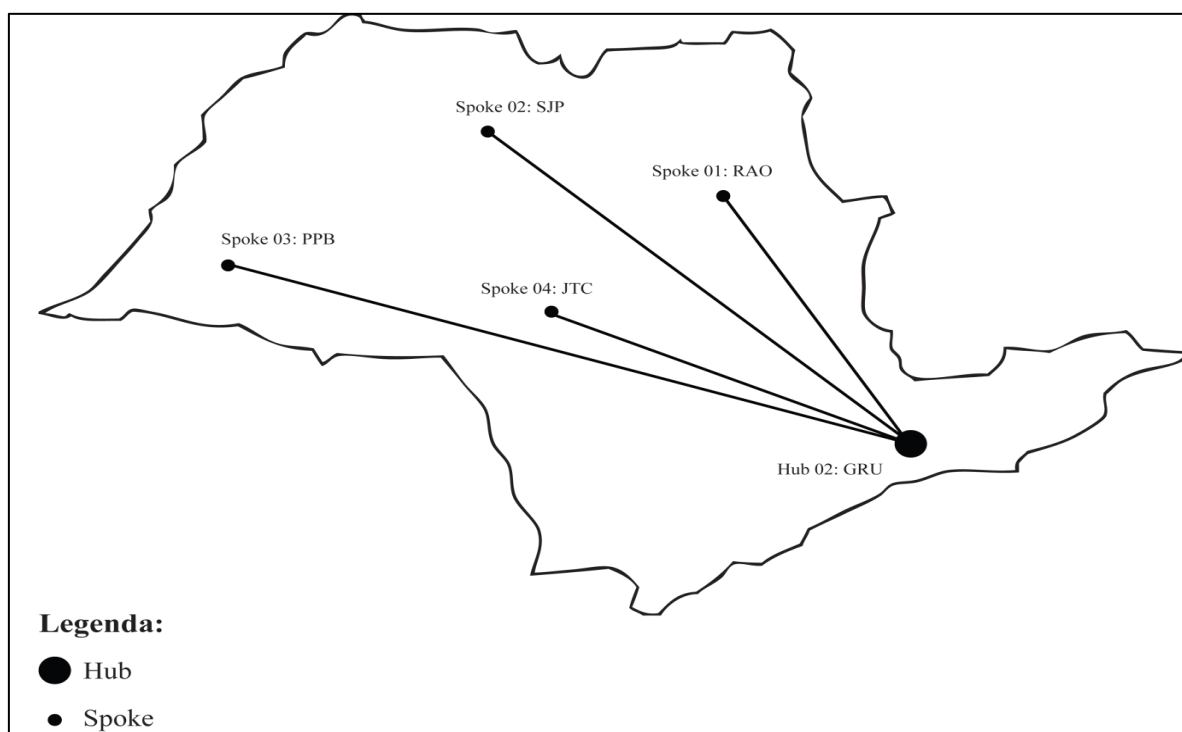


Fonte: Próprio autor (2016).

A sigla Hub 01: VCP representa o primeiro *Hub* ou *Hubsizes* a interagir com os quatro maiores aeroportos regionais do estado de São Paulo (*Spokes*), sendo este o Aeroporto de Viracopos (VCP), na cidade de Campinas, São Paulo e suas conexões (*Spokes*) que são:

- Spoke 01: representa a conexão com o Aeroporto de Ribeirão Preto (RAO) na cidade de Ribeirão Preto, São Paulo;
- Spoke 02: representa a conexão com o Aeroporto de São José do Rio Preto (SJP) na cidade de São José do Rio Preto, São Paulo;
- Spoke 03: representa a conexão com o Aeroporto de Presidente Prudente (PPB) na cidade de Presidente Prudente, São Paulo;
- Spoke 04: representa a conexão com o Aeroporto de Bauru/Arealva (JTC) nos limites entre os municípios da cidade de Bauru e Arealva, São Paulo.

Figura 26 – Rede *hub-and-spoke* interior estado de São Paulo em relação ao *hub* aeroportuário de Guarulhos



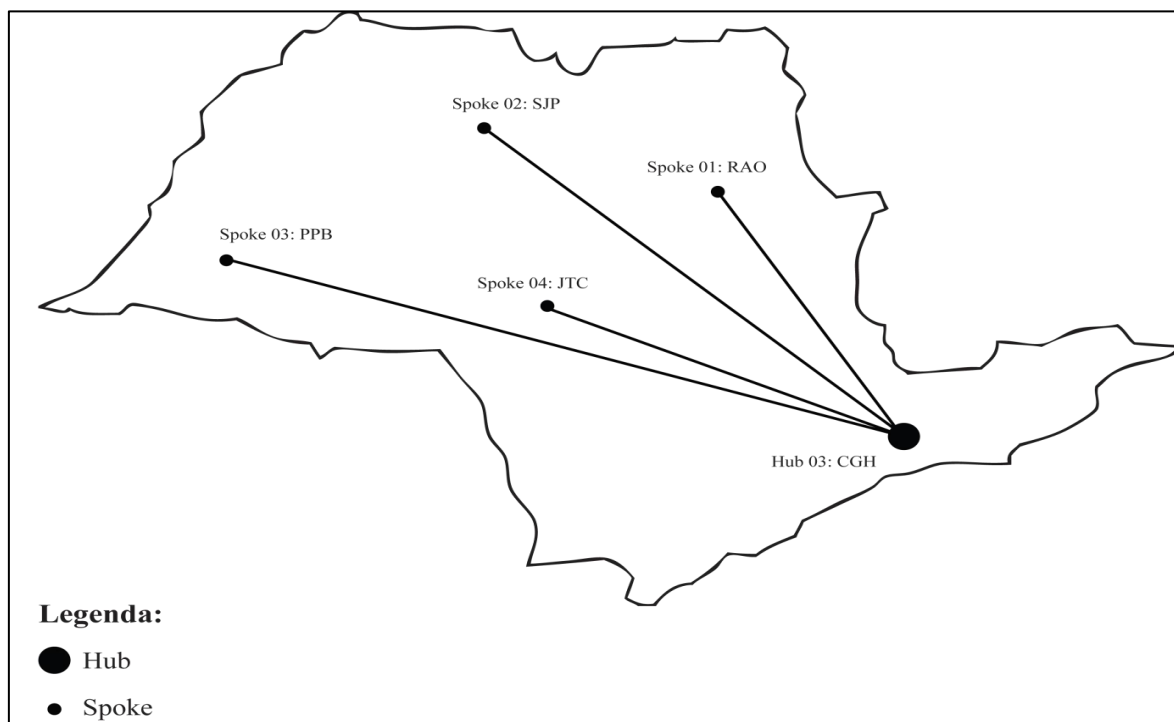
Fonte: Próprio autor (2016).

A sigla Hub 02: GRU representa o segundo *Hub* ou *Hubsizes* a interagir com os quatro maiores aeroportos regionais do estado de São Paulo (*Spokes*), sendo este o Aeroporto de Guarulhos (GRU), na cidade de Guarulhos, São Paulo e suas conexões (*Spokes*) que são:

- Spoke 01: representa a conexão com o Aeroporto de Ribeirão Preto (RAO) na cidade de Ribeirão Preto, São Paulo;
- Spoke 02: representa a conexão com o Aeroporto de São José do Rio Preto (SJP) na cidade de São José do Rio Preto, São Paulo;

- Spoke 03: representa a conexão com o Aeroporto de Presidente Prudente (PPB) na cidade de Presidente Prudente, São Paulo;
- Spoke 04: representa a conexão com o Aeroporto de Bauru/Arealva (JTC) nos limites entre os municípios da cidade de Bauru e Arealva, São Paulo.

Figura 27 – Rede *hub-and-spoke* interior estado de São Paulo em relação ao *hub* aeroportuário de Congonhas

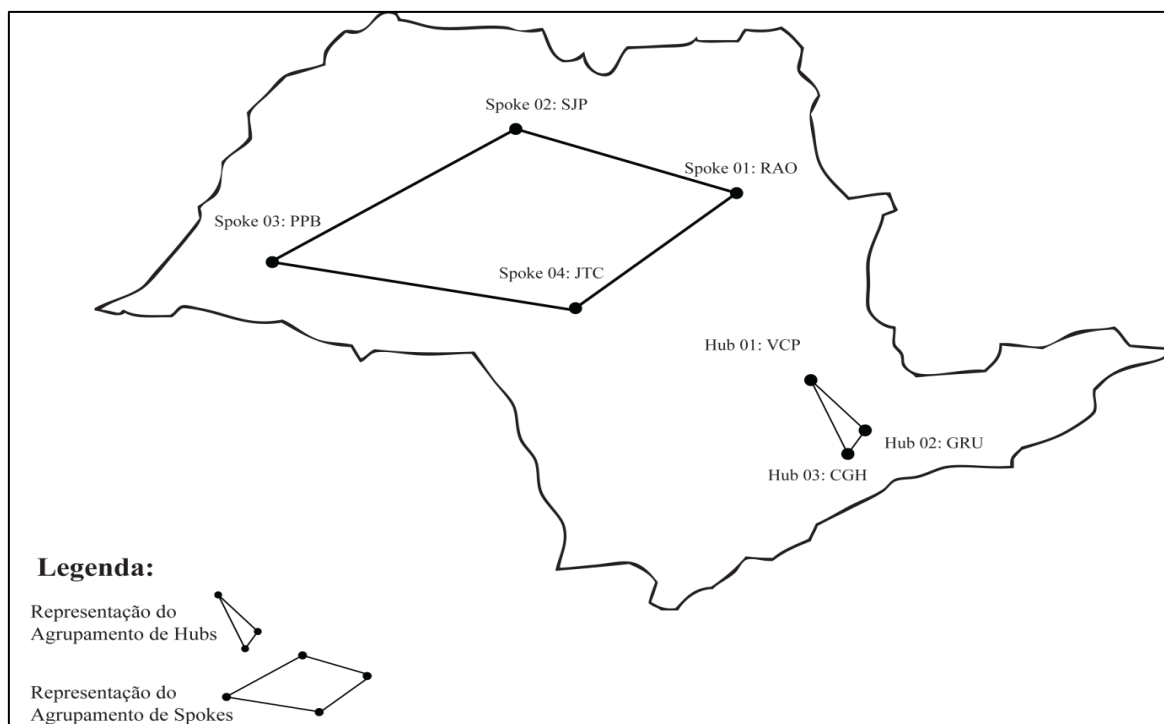


Fonte: Próprio autor (2016).

A sigla Hub 03: CGH representa o terceiro *Hub* ou *Hubsizes* a interagir com os quatro maiores aeroportos regionais do estado de São Paulo (*Spokes*), sendo este o Aeroporto de Congonhas (CGH), na cidade de São Paulo, São Paulo e suas conexões (*Spokes*) que são:

- Spoke 01: representa a conexão com o Aeroporto de Ribeirão Preto (RAO) na cidade de Ribeirão Preto, São Paulo;
- Spoke 02: representa a conexão com o Aeroporto de São José do Rio Preto (SJP) na cidade de São José do Rio Preto, São Paulo;
- Spoke 03: representa a conexão com o Aeroporto de Presidente Prudente (PPB) na cidade de Presidente Prudente, São Paulo;
- Spoke 04: representa a conexão com o Aeroporto de Bauru/Arealva (JTC) nos limites entre os municípios da cidade de Bauru e Arealva, São Paulo.

Figura 28 – Configuração e composição geográfica da rede *Spoke* e comparativo com a rede *Hub*



Fonte: Próprio autor (2016).

Entende-se acima que existe uma concentração representada por um agrupamento de três grandes *Hubs* ou *Hubsizes* onde estes aeroportos o Hub 01: VCP (Aeroporto de Campinas), o Hub 02: GRU (Aeroporto de Guarulhos) e o Hub 03: CGH (Aeroporto de São Paulo) são utilizados como *hubs* importantes para a distribuição rotas regionais e aumento conexões *spokes*, neste caso, influenciando o comportamento da demandas de passageiros e cargas no interior do estado de São Paulo.

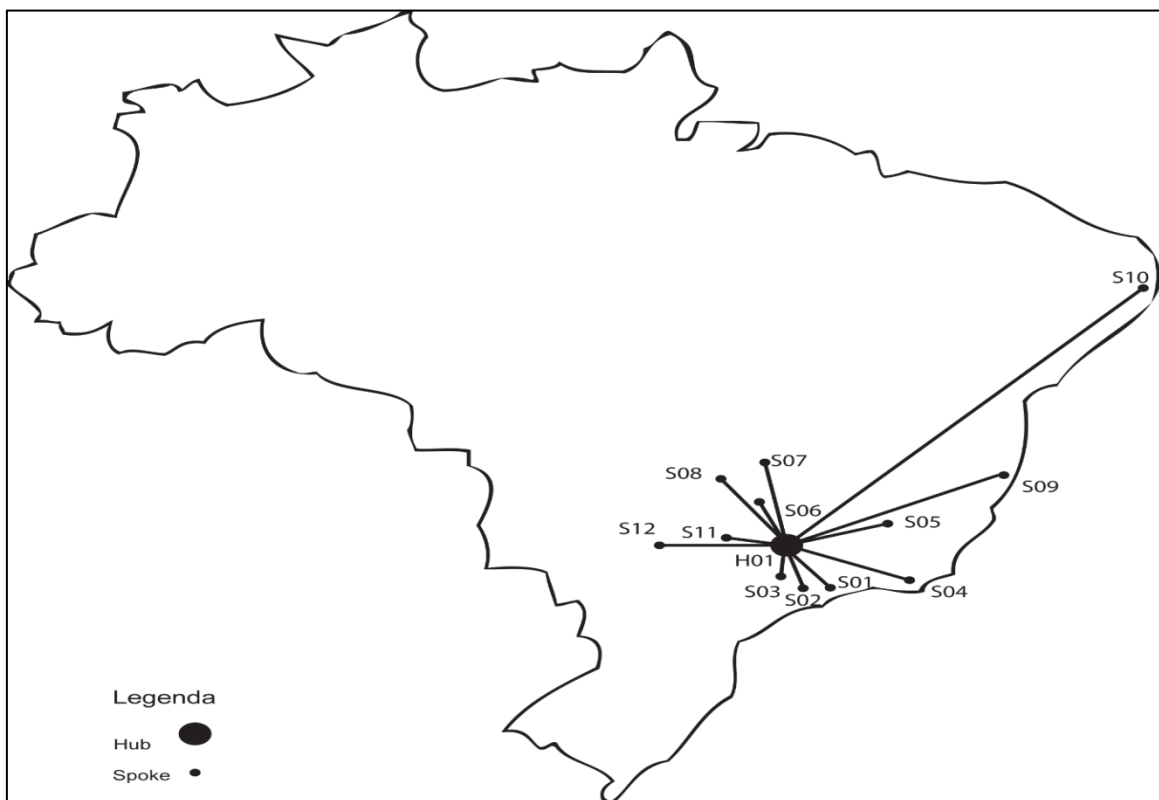
Outro agrupamento analisado demonstra uma rede de *spokes* composta por quatros aeroportos regionais ou secundários agrupados pelo o Spoke 01: RAO (Aeroporto de Ribeirão Preto), o Spoke 02: SJP (Aeroporto de São José do Rio Preto), o Spoke 03: PPB (Aeroporto de Presidente Prudente) e o Spoke 04: JTC (Aeroporto de Bauru/Arealva) configurados sobre os critérios de maior intensidade de demanda de cargas e passageiros visto nos relatórios de movimentação estatística do DAESP (2015).

4.5 Mapeamento dos *Hubs* Regionais

Neste seção é apontado o posicionamento geográfico estratégico destes quatros aeroportos regionais (Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Bauru/Arealva) ou *hubs* regionais em relação com o espaço geográfico do mapa do Brasil em relação a suas abrangências de rotas(conexões ou escalas) de voos, mostrando uma

capacidade de expansão deste quatros hubs regionais como um rede hub-and-spoke regional localizada geograficamente e estrategicamente no estado de São Paulo.

Figura 29 – Rede *hub-and-spoke* em relação ao *hub* aeroportuário regional de Ribeirão Preto



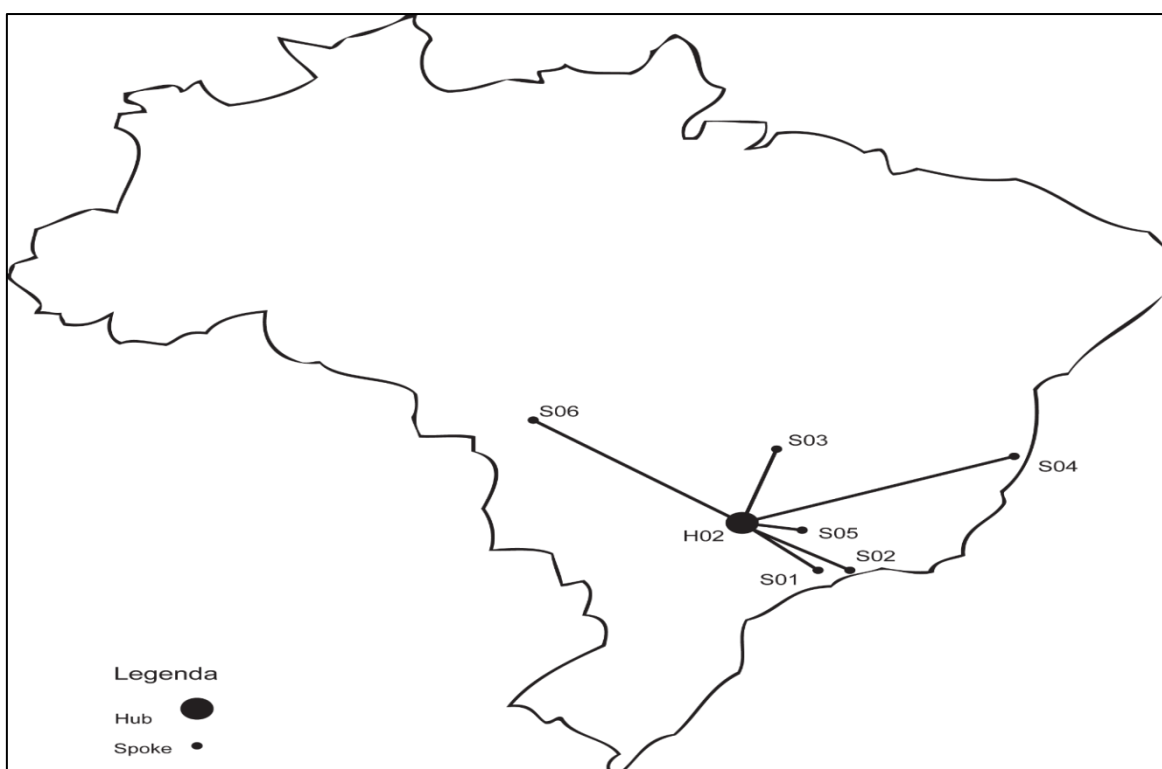
Fonte: Próprio autor (2016).

A sigla H01 (*Hub* 01) representa o primeiro *Hub* regional mapeado, sendo este o Aeroporto de Ribeirão Preto (RAO) e suas conexões (*Spokes*) que são:

- S01 (*Spoke* 01) representa a conexão com o Aeroporto de Guarulhos (GRU) na cidade de Guarulhos, São Paulo;
- S02 (*Spoke* 02) representa a conexão com o Aeroporto de Congonhas (CGH) na cidade de São Paulo, São Paulo;
- S03 (*Spoke* 03) representa a conexão com o Aeroporto de Viracopos (VCP) na cidade de Campinas, São Paulo;
- S04 (*Spoke* 04) representa a conexão com o Aeroporto do Galeão (GIG) na cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro;
- S05 (*Spoke* 05) representa a conexão com o Aeroporto da Pampulha (PLU) na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais;

- S06 (*Spoke 06*) representa a conexão com o Aeroporto de Uberlândia (UDI) na cidade de Uberlândia, Minas Gerais;
- S07 (*Spoke 07*) representa a conexão com o Aeroporto de Brasília (BSB) na cidade de Brasília, Distrito Federal;
- S08 (*Spoke 08*) representa a conexão com o Aeroporto de Goiânia (GYN) na cidade de Goiânia, Goiás;
- S09 (*Spoke 09*) representa a conexão com o Aeroporto de Porto Seguro (BPS) na cidade de Porto Seguro, Bahia;
- S10 (*Spoke 10*) representa a conexão com o Aeroporto do Recife (REC) na cidade do Recife, Pernambuco;
- S11 (*Spoke 11*) representa a conexão com o Aeroporto de São José do Rio Preto (SJP) na cidade de São José do Rio Preto, São Paulo;
- S12 (*Spoke 12*) representa a conexão com o Aeroporto de Três Lagoas (TJL) na cidade de Três Lagoas, Mato Grosso do Sul.

Figura 30 – Rede *hub-and-spoke* em relação ao *hub* aeroportuário regional de São José do Rio Preto

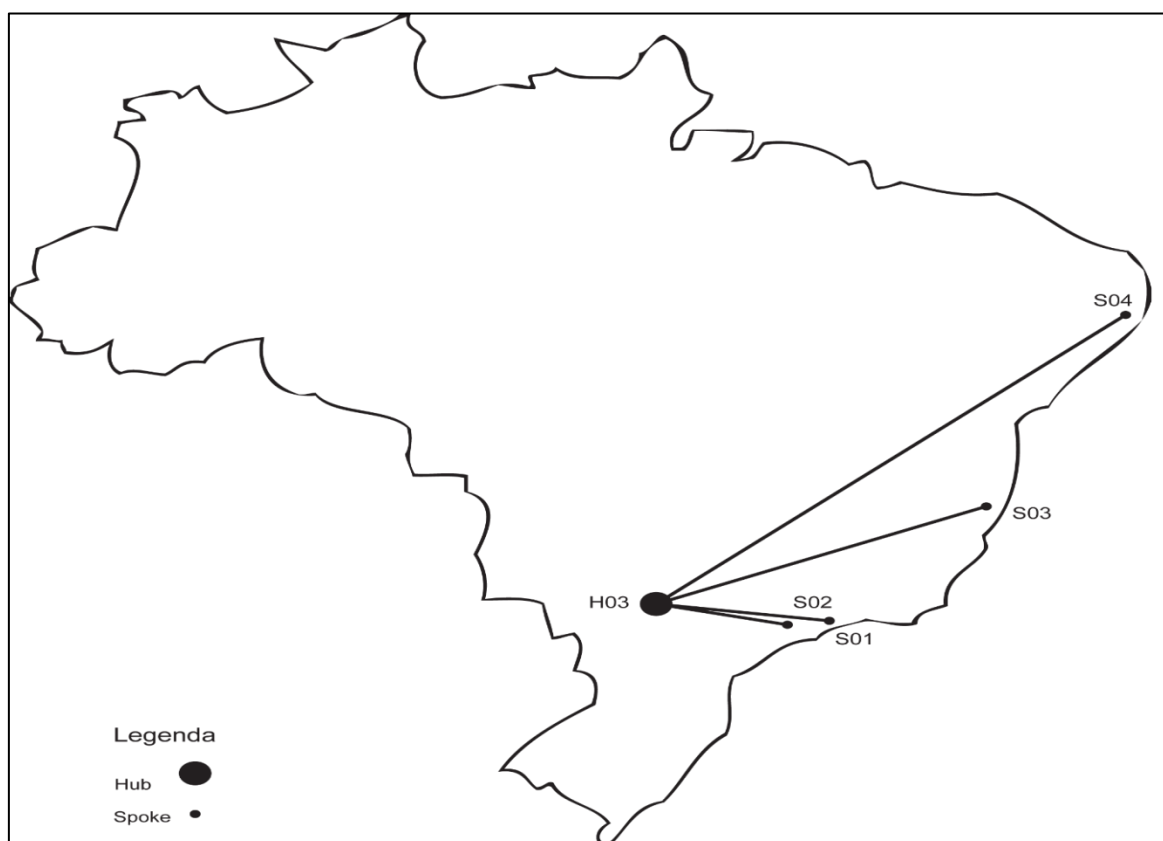


Fonte: Próprio autor (2016).

A sigla H02 (Hub 02) representa o segundo *Hub* regional mapeado, sendo este o Aeroporto de São José do Rio Preto (SJP) e suas conexões (*Spokes*) que são:

- S01 (*Spoke 01*) representa a conexão com o Aeroporto de Viracopos (VCP) na cidade de Campinas, São Paulo;
- S02 (*Spoke 02*) representa a conexão com o Aeroporto de Congonhas (CGH) na cidade de São Paulo, São Paulo;
- S03 (*Spoke 03*) representa a conexão com o Aeroporto de Brasília (BSB) na cidade de Brasília, Distrito Federal;
- S04 (*Spoke 04*) representa a conexão com o Aeroporto de Porto Seguro (BPS) na cidade de Porto Seguro, Bahia;
- S05 (*Spoke 05*) representa a conexão com o Aeroporto de Ribeirão Preto (RAO) na cidade de Ribeirão Preto, São Paulo;
- S06 (*Spoke 06*) representa a conexão com o Aeroporto de Cuiába (CGB) na cidade de Cuiába, Mato Grosso.

Figura 31 – Rede *hub-and-spoke* em relação ao *hub* aeroportuário regional de Presidente Prudente

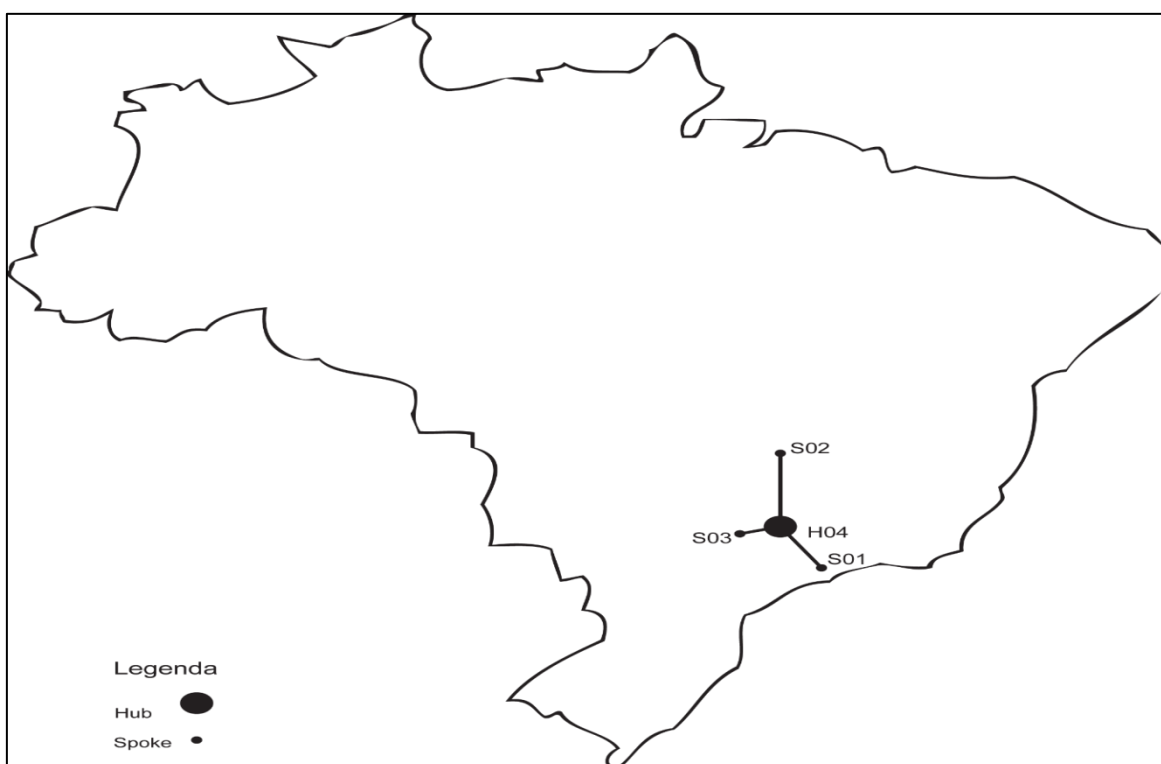


Fonte: Próprio autor (2016).

A sigla H03 (Hub 03) representa o terceiro *Hub* regional mapeado, sendo este o Aeroporto de Presidente Prudente (PPB) e suas conexões (*Spokes*) que são:

- S01 (*Spoke 01*)) representa a conexão com o Aeroporto de Viracopos (VCP) na cidade de Campinas, São Paulo;
- S02 (*Spoke 02*) representa a conexão com o Aeroporto de Congonhas (CGH) na cidade de São Paulo, São Paulo;
- S03 (*Spoke 03*) representa a conexão com o Aeroporto de Porto Seguro (BPS) na cidade de Porto Seguro, Bahia;
- S04 (*Spoke 04*) representa a conexão com o Aeroporto do Recife (REC) na cidade do Recife, Pernambuco.

Figura 32 – Rede *hub-and-spoke* em relação ao *hub* aeroportuário regional de Bauru/Arealva



Fonte: Próprio autor (2016).

A sigla H04 (Hub 04) representa o quarto *Hub* regional mapeado, sendo este o Aeroporto de Bauru/Arelava (JTC) e suas conexões (*Spokes*) que são:

- S01 (*Spoke 01*) representa a conexão com o Aeroporto de Viracopos (VCP) na cidade de Campinas, São Paulo;
- S02 (*Spoke 02*) representa a conexão com o Aeroporto de Brasília (BSB) na cidade de Brasília, Distrito Federal;
- S03 (*Spoke 03*) representa a conexão com o Aeroporto de Marília (MII) na cidade de Marília, São Paulo.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista os aspectos observados, a pesquisa encontrou indícios de que a sazonalidade da quantidade de passageiros e de volume de carga aérea foi fortemente influenciada por dados econômicos, como a cotação da taxa de câmbio (dólar) e a taxa de desemprego, sendo que tanto as análises da quantidade de passageiros quanto do volume de cargas aéreas aumentaram ou diminuíram, trazendo um comportamento inverso à cotação da taxa de câmbio (dólar) e da taxa de desemprego.

Concluiu-se que quando se tem a alta dos dados econômicos (cotação da taxa de câmbio - dólar ou da taxa de desemprego) acontece a queda das operações aeroviárias e econômicas. A capacidade e produtividade daquela região é afetada pelo enfraquecimento da demanda e sucessivamente a rede de transporte aéreo *hub-and-spoke* perde sua capacidade de alimentação em grande parte do seu fluxo, descaracterizando esta mesma rede.

Contudo, o projeto de dimensionamento do sistema de movimentação de passageiros e de carga do modal aéreo, com ênfase na capilaridade do território nacional, depende de uma política de desenvolvimento dos diferentes setores produtivos geograficamente distribuídos, com planos de expansão e riscos de retração, a fim de tornar a relação custo/benefício factível ao longo do tempo de operação do sistema, assim como do orçamento de manutenção e revitalização ou modernização do sistema.

A partir dos resultados obtidos no presente estudo, foi possível observar que alguns períodos do ano implicaram em grandes volatilidades para o transporte aéreo de passageiros e de carga nos quatro aeroportos estudados do Estado de São Paulo, no período analisado. Também foi possível a identificação de covariáveis importantes que afetaram a quantidade de passageiros e de carga para estes aeroportos.

Outra constatação importante foi que os modelos ajustados utilizados neste estudo podem ser relevantes na predição do número de passageiros e na quantidade de carga, podendo gerar fatores para importantes resultados. Estes fatores econômicos são de interesse para os gestores dos aeroportos.

Outras estruturas de modelos SV poderiam ser consideradas para analisar o conjunto de dados AR modelo autorregressivo (L), estruturas maiores do que 2 para obter um melhor ajuste do modelo para os dados. O uso de uma abordagem bayesiana com MCMC, métodos e programas disponíveis gratuitamente existentes como *Open Bugs*, podendo simplificar a tarefa computacional para obter os resumos posteriores de interesse.

Em relação aos aspectos observados do mapeamento da *rede-hub-spoke*, existem indícios analisados no período longitudinal (de 2008 a 2014,) que estes quatro aeroportos *hubs* formam um conjunto de *spokes* ou rede de *spokes* (aeroportos secundários) que escoam as rotas para o interior do estado de São Paulo, onde dão suporte à rede *hub* ou *hubs* do mesmo estado. Por outro lado, isso acontece também na escala nacional, na qual estes quatro aeroportos são *hubs* regionais de acesso para as rotas de outros *hubs* secundários, *hubs* regionais, *hubs* e *hubsizes* dentro do território brasileiro.

Destacaram-se como contribuições futuras a possibilidade de análise das demandas econômicas setoriais de cada município, onde se localiza o aeroporto correlacionado ao perfil de suas demandas aeroviárias; e em outro momento, seria possível também a análise da relação entre o *spoke* e o *hub* no estado de São Paulo e seu perfil ou tipo de carga ou passageiros (onde nesta pesquisa encontraram-se indícios de variáveis apontadas como latentes que necessitam de maior tempo de estudo a longo prazo).

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO COMERCIAL DE SÃO PAULO (ACESP). **Índices Econômicos**. Disponível em: <http://portal.acsp.com.br/assets/html/indicadores/indicadores_iegv/iegv_dolar.html> Acesso em: 21 mar 2015.
- ADIBI, A.; RAZMI, J. 2-Stage stochastic programming approach for hub location problem under uncertainty: A case study of air network of Iran. **Journal of Transport Research Geography**, v.47, 1172-1178. 2015. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jairmtraman>>. Acesso em: 03 mar. 2015.
- ADLER, N. Competition in a deregulated air transportation market. **European Journal of Operational Research**, v.129, p. 337–345. 2001.
- AIRNETH. Strategies of Multi-Hub Airlines and the Implications for National Aviation Policies. **Painel do Relatório AirNeth de 2005**. Disponível em: <<http://www.airneth.nl/>>. Acesso em: 02 fev. 2016.
- ALDERIGHI, M.; CENTO, A.; NIJKAMP, P.; RIETVELD, P. Network competition – the coexistence of hub-and-spoke and point-to-point systems. **Journal of Air Transport Management**, v. 11, p. 328-330. 2005. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 01 dez. 2015.
- ALAMO, J. A. T.; BRINATI, M. A. Modelagem para localização de hubs no transporte de encomendas expressas, **Produção**. v. 16, n.3, p. 470-480. 2006.
- ALLROGGEN, F. WITTMAN, M. D.; MALINA, R. How air transport connects the world – A new metric of air connectivity and its evolution between 1990 and 2012. **Transportation Research Part E**, v.80, 184-201. 2015. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/tre>>. Acesso em: 09 mar. 2015.
- ALUMUR, S.; KARA, B.Y. Network hub location problems: The state of the art. **European Journal of Operational Research**, v. 190, p.2,3. 2008. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/ejor>>. Acesso em: 15 nov 2015.
- ALUMUR, S. A; YAMAN. H.; KARA. Hierarchical multimodal hub location problem with time-definite deliveries., **Transportation Research Part E**, v. 48, p. 1107–1120, 2012. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/tre>>. Acesso em: 27 dez. 2015.
- AMARUCHKUL, K.; LORCHIRACHOONKUL, V. Air cargo capacity allocation for multiple freight for warders. **Transportation Research Part E**, v.47, v.1, p.30–40, 2011.
- ANAC (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL). **Dados Estatísticos**. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/dados-estatisticos/dados-estatisticos>>. Acesso em: 12 Jan. 2017.
- ARAÚJO, C. A. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, v. 12, n.

1, p. 11-32, 2006.

AUSTRALIAN BUREAU OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS ECONOMICS. The Progress of Aviation Reform. Australia: **Bureau of Transport and Communications Economics**, Relatório 81, Canberra, 1994.

AZUL. **Empresa aérea**. Disponível em: <<http://www.voeazul.com.br/home>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

BAGLER, G. **Analysis of the Airport Network of India as a complex weighted network**. 2004.

BALL, M.; BARNHART, C.; NEMHAUSER, G.; ODONI, A. **Air transportation**: irregular operations and control. In: *Handbooks of Operations Research and Management*, North-Holland. 2006.

BANIA, N.; BAUER, P. W.; ZLATOPER. "U.S. air passenger service: a taxonomy of route networks, hub locations and competition". **Transportation Research**, v. 34 n.1, p. 56,60-63,67-70,72, 1998.

BARTODZIEJ, P.; DERIGS, U., MALCHEREK, D., VOGEL, U. Models and algorithms for solving combined vehicle and crew scheduling problems with rest constraints: an application to road feeder service planning in air cargo transportation. **OR Spectrum**, n. 31, v.2, p.405–429, 2009.

BAUMGARTEN, P.; MALINA, R.; LANGE, A. The impact of hubbing concentration on flight delays within airline networks: An empirical analysis of the US domestic market. **Transportation Research PART E**, v.66, 103-114. 2014. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/tre>>. Acesso em: 02 mar. 2015.

BERRY, S.; CARNALL, M.; SPILLER, P. T. Airline hubs: costs, markups and the implications of customer heterogeneity. **National Bureau of Economic Research**, Cambridge, p.3-6, 1996.

BETINI, F. A. F.; OLIVEIRA, A.V. M. Airline capacity setting after re-regulation: The Brazilian case in the early 2000s. **Journal of Air Transport Management**, v14, 289-292. 2008. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jairtaman>>. Acesso em: 09 de mar. 2015.

BHAUMIK, P. K. Regulating the domestic air travel in India: an umpire's game. **Omega**, v. 30, p. 33–44. 2002.

BILOTKACH, V.; FAGEDA, X.; FLORES-FILLOL. Airline consolidation and the distribution of traffic between primary and secondary hubs. **Regional Science and Urban Economics**, v.43, 951-963. 2013. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/regec>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

BOER, S.V.; FRELING, R.; PIERSMA, N. Mathematical programming for network revenue management revisited. **European Journal of Operational Research**, v.137, 72-92, 2002.

- BOLLERSLEV, T. Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity. **Journal of Econometrics**, v. 31, p.307–327. 1986.
- BOOSTMA, P. D. **Airline flight schedule development**: analysis and design tools for European hinterland hubs. Utrecht, University of Twente, 296 p. 1997.
- BOWEN, J. T. J. A spatial of Fedex and UPS: hubs, spokes, and network structure. **Journal of Transport Geography**, v. 24 , p. 419-431. 2012. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jtrangeo>>. Acesso em: 03 jan. 2016.
- _____. Airline hubs Southeast Asia: national economic development and nodal accessibility. **Journal of Transport Geography**, v.8, p. 25-29, 38-39. 2000. <www.elsevier.com/locate/jtrangeo> Acesso em: 15 dez 2015.
- BOWEN, J. T. Jr.; LEINBACH, T. R. The State and Liberalization: The Airline Industry in the East Asian NICs. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 85, p. 93, 468, 1995.
- BRUECKNER, J.; SPILLER, P.T. "Economies of Traffic Density in the Deregulated Airline Industry". **Journal of Law and Economics**, v. 37, p. 379-415, 1994.
- BURGHOUWT, G. Long-haul specialization patterns in European multihub airline networks e An exploratory analysis. **Journal of Air Transport Management**, v.34, 30-41. 2014. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 01 mar. 2015.
- BURGHOUWT, G.; HAKFOORT, J. R. "The European aviation network, 1990-1998". **Journal of Air Transport Management**, v. 7, n. 5, p. 101,104-105, 2001.
- _____. "The geography of deregulation in the European aviation market". **TESG**, v. 93, n. 1, p.1, 9-10, 2003.
- BURGHOUWT, G.; HAKFOORT, J. R.; ECK, Jan Ritsema van. "The spatial configuration of airline networks in Europe." **Journal of Air Transport Management, forthcoming**, p. 310-312, 2003.
- BURGHOUWT, G.; WIT, J. **Journal of Air Transport Management**, v.11, n.3, p.185-198, 2005.
- BUTTON, K. "Debunking some common myths about airport hubs".**Journal of Air Transport Management**, v. 8, n. 3, p. 177- 202, 2002.
- BUTTON, K.; LALL, S., STOUGH, R., TRICE, R. High technology employment and hub airports. **Journal of Air Transport Management**, v.5, p.53-59, 1999.
- BUTTON, K; TAYLOR, S. High technology employment and hub airports, infrastructure's contribution to regional development. **Paper for the Regional Science Association International Symposium**, New Challenges in Regional Development Policy, Port Elisabeth, p. 24-26, January. 2000.

CAMPBELL, J. F. Integer programming formulations of discrete hub location problems. **European Journal of Operational Research**, v.72, p. 387–405, 1994.

_____. Hub location for time definite transportation. **Computers e Operations Research**, v. 36, p. 3107-3114. 2009. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/cor>>. Acesso em: 07 nov. 2015.

CAMPBELL, A. M.; LOWE, T. J.; ZHANG, L. The p-hub center allocation problem. **European Journal of Operational Research**, v. 176, p. 819-821, 834. 2007. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/ejor>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

CAMPBELL, F. J.; STIEHR, G.; ERNST, A. T.; KRISHNAMOORTHY, M. Solving hub arc location problems on a cluster of workstations. **Parallel Computing**, v. 29, p. 555-557, 571. 2003. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/parco>>. Acesso em: 07 nov 2015.

CASTILHO-MANZANO, J.; LOPEZ-VALPUESTA, L.; PEDREGAL, D.J. What role will hubs play in the LCC point-to-point connections era? The Spanish experience. **Journal of Transport Geography**, v.33, 262-270. 2012. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/trangeo>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

COSTA, T. F. G.; LOHMANN, G.; OLIVEIRA, A. V. M. Mensuração de Concentração e Identificação de Hubs no Transporte Aéreo. **Journal of Transport Literature**, v. 5, n. 2, p. 106-133. 2011. Disponível em: <<http://www.transport-literature.org>>. Acesso em: 07 jan. 2016.

CHEN, H., CAMPBELL, A.M., THOMAS, B.W. Network design for time-constrained delivery. **Naval Research Logistics**, v. 55, p.493–515.2008.

DAESP (DEPARTAMENTO AEROVIÁRIO DO ESTADO DE SÃO PAULO). **Aeroportos**. 2016. Disponível em: <<http://www.daesp.sp.gov.br/aeroporto-detalle/?id=851>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

_____. **Estatísticas** - Relatórios de Movimento Estatístico 2008-2015. Passageiros (Embarque/Desembarque), Aeronaves (Pousos/Decolagens), Carga (Embarque/Desembarque - kg), Correio (Embarque/Desembarque - kg). São Paulo. Disponível em: <<http://www.daesp.sp.gov.br/estatistica-consulta/>>. Acesso em: 23 out. 2015.

DANIELSSON, J. Stochastic volatility in asset prices: estimation with simulated maximum likelihood. **Journal of Econometrics**, v. 61, p.375–400. 1994.

DEBBAGE, K. G. U. S. Airport Market Concentration and Deconcentration. **Transportation Quarterly**, v. 47, p.36, 115, 1994.

DEMPSEY, P. S.; GESSEL, L. E. **Airline management**. Strategies for the 21st century. Chandler, Coast Aire Publications. 1997.

DENNIS, N. P. S. Airline Hub Operations in Europe. **Journal of Transport Geography**, v. 2, p. 219–33, 1994.

_____. **Competition between Hub Airports in Europe and A Methodology for Forecasting Connecting Traffic**. In: WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH, 8., Antwerp. 1998.

_____. "Developments of hubbing at European airports". **Air & Space Europe**, v. 3, n. 1/2 p. 51-52, 2001.

_____. Scheduling strategies for airline hub operations. **Jornal of Air Transport Management**, v.3, 131–144. 1994.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. Wiley series in probability and mathematical statistics, 1981.

ENGLE, R. F. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. **Econometrica**, v.50. ed.4, p.987–1007. 1982.

FAGEDA, X. Wath hurts the dominant airline sat hub airports. **Transportation Research Part E**, v70, 177-189. 2014. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/tre>>. Acesso em: 08 mar. 2015.

FAGEDA, X.; FLORES-FILLOL, R. A note on optimal airline networks under airport congestion. **Economics Letters**, v.128, 90-94. 2015. <www.elsevier.com/locate/econlet> Acesso em 09 de mar. 2015.

FENG, B.; LI, Y.; SHEN, Z. J. Air cargo operations: Literature review and comparison with pratices. **Transportation Research Part C**, v. 56, p. 263-280. 2015. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/trc>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

FLORES-FILLOL, R. Congested Hubs. **Transportation Research PART B**, v.44, 358-370. 2010. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/trb>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

FRAGA, R. Mercado Doméstico de Carga Aérea: Análise Descritiva e Econométrica do Setor. **Journal of Transport Literature**, v. 5, n. 3, p. 256-280, 2011. Disponível em: <<http://www.transport-literature.org>>. Acesso em: 07 jan. 2016.

FRANKE, M. Competition between network carriers and low-cost carriers—retreat battle or breakthrough to a new level of efficiency? **Journal of Air Transport Management**, v.10, p. 15–21. 2004.

FU, X.; HOMSOMBAT, W.; OUM, T. H. Airporte airline vertical relationships, their effects and regulatory policy implications. **Journal of Air Transport Management**, v.17, 347-353. 2011. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 02 mar. 2015.

GARDINER, J.; HUMPHREY, I.; ISON, S. Freightler operators' choice of airport: A three-stage process. **TransportReviews**, n. 25 v. (1), 85–102. 2005.

GARDINER, J.; ISON, S. The geography of non-integrated cargo airlines: An international study. **Journal of Transport Geography**, n. 16, v. 1, p. 55–62. 2008.

GARDINER, J.; ISON, St; HUMPHREYS, I. Factors influencing cargo airlines' choice of airport: An international survey. **Journal of Air Transport Management**, v. 11, n. 6, p. 393–399. 2005.

GELFAND, A. E.; SMITH, A. F. M. Sampling-based approaches to calculating marginal densities. **Journal of the American Statistical Association**, v.85, p.410, 398–409. 1990.

GHYSELS, E. Stochastic volatility. In: **Statistical methods on finance**. North-Holland, 1996.

GOETZ, A. R.; SUTTON, C. J. "The geography of deregulation in the U.S. airline industry". **Journal of the Association of American Geographers**, v. 87, n. 2, p. 238-255, 1997.

GOHR, C.; FSANTOS, L., Costa.; GONÇALVES, A. M. C.; PINTO, N. Um método para a revisão sistemática da literatura em pesquisa de engenharia de produção. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, p.1-16, 18, 2013, Salvador (BA). **Anais...** Salvador: ENEGEP, 2013. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_tn_sto_186_058_22376.pdf>. Acesso: 05 abr. 2016.

GOL. **Linhas aéreas inteligentes**. Disponível em: <<https://www.voegol.com.br/pt>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

GORIN, T.O. **Assessing low-fare entry in airline markets: impacts of revenue management and network flows**. 2004. (Ph.D. Thesis) - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 2004.

GORIN, T. O.; BELOBABA, P. Assessing predation in airline markets with low-fare competition. **Transportation Research Part A**, v.42, p. 785-786, 797. 2008. <www.elsevier.com/locate/tra> Acesso em: 25 nov 2015.

GRAHAM, B. **Geography and Air Transport**. Chichester: Editora Wiley. 1998.

GUIMERA, R.; MOSSA, S.; TURTSCHI, A.; AMARAL, I. The worldwide air transportation network: anomalous centrality, community structure, and cities' global roles. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 102, p. 7794-7799. 2005.

GUIMERA, R.; SALES-PARDO, M.; AMARAL, L. Classes of complex network defined by role-to-role connectivity profiles. **Nature Physics**, v. 3, p. 63-69. 2006.

GROSSO, M. G.; SHEPHERD, B. Air cargo transport in APEC: Regulation and effects on merchandise trade. **Journal of Asian Economics**, p. 203-212. 2011. <www.sciencedirect.com> Acesso em 07 jan. 2016.

HANSEN, M. Airline competition in a hub-dominated environment: an application of non-cooperative game theory. **Transportation Research**, B 24, p. 27–43. 1990.

HEINICKE, K. **World Air Cargo Forecast**. 2006/2007. Disponível em:

<http://freight.transportation.org/doc/DCA_WACF_2006_Review.ppt>. Acesso em: 05 jan. 2016.

HENDRICKS, K., PICCIONE, M., TAN, G. Entry and exit in hubspoke markets. **Rand Journal of Economics**, v. 28, p. 291–303.1997.

HOLMES, B. J.; SCOTT, J. **Transportation network topologies**. In: Proceedings, of the 4 th ICNS Conference, Fairfax. 2004.

HONG, S., HARKER, P.T. Air trafficnetwork equilibrium. Toward frequency, price and slot priority analysis. **Transportation Research**, B 26, p. 307–323. 1992.

HUANG, K.; LU, H.A linear programming-basedmethod for the network revenue management problem of air cargo. **Transportation Research Procedia** 7, p. 459-473. 2015. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/procedia>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Cidade@**. São Paulo infográficos: despesas e receitas orçamentárias e pib. Produto Interno Bruto (Valor Adicionado). Disponível em: <http://ibge.gov.br/cidadesat/xtras/grafico_cidades.php?lang=&codmun=350340&idtema=162&search=sao-paulo|produto-interno-bruto-dos-municipios-2014>. Acesso em: 14 jan. 2017.

IPEADATA. **Taxa de Desemprego**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38401>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

JAILLET. P., SONG. G.; YU, G. Airline network design and hub location problems, **Locat Sci**, v. 4, p. 195–211, 1996.

JANIC, M. Modeling the large scale disruption of an airline network. **Journal Transport Engineer**, v.131, 249–260, 2005.

SILVA JUNIOR, O. C.; GALVÃO, R. D. Formulações para o problema de localização de hubs nos sistemas de entrega expressa: uma revisão. In: XL SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL (SBPL), João Pessoa, Paraíba, 2008. **Resumos...SBPL**, João Pessoa, p.1656-1667. 2008.

KARA, B.Y.; TANSEL. B.C. The latest arrival hub location problem. **Management Science**, v. 47, n. 10, p. 28,39. 2001.

KIM, S.; SHEPHARD, N. Stochastic volatility: likelihood inference and comparison with arch models. **Review of Economic Studies**, v.65, p.361–393. 1998.

KUBY. M.J; GRAY,R.G. The hub network design problem with stopovers and feeders: The case of Federal Express, **Transport Science**, v. 27A , p. 1–12.1993.

LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestãoda Produção**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012.

LAKEW, P. A.; TOK, Y. Chern. Andre.Determinants of air cargo traffic Califorina.

Transportation Research Part A, v. 80, p. 134-150. 2015. Disponível em:
<<https://www.elsevier.com/locate/tra>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

LATAM AIRLINES. **Linhas aéreas**. Disponível em:
<https://www.latam.com/pt_br/?gclid=CNOUqYLFydECFY9ZhgodS4wB0w&gclsrc=aw.ds&dclid=CN7OwYLFydECFRFGhgodz98Bxg>. Acesso em: 17 jan. 2017.

LEUNG, L. C.; VAN HUI, Y.; WANG, Y.; CHEN, G. A 0–1 LP model for the integration and consolidation of air cargo shipments. **Operational Research**, n.57, v.2, p.402–412, 2009.

LI, W.; CAI, X. Statistical analysis of airport network of China. **Physical Review**, v. E69, p. 1-5. 2004.

LI, Y., TAO, Y., WANG, F. A compromised large-scale neighborhood search heuristic for capacitated air cargo loading planning. **European of Journal Operational Research**. n.199, v.2, p. 553–560, 2009.

LIN, C. C.; LIN, Y. J.; LIN, D. Y. The economic effects of center-to-center directs on hub-and-spoke networks air express common carriers. **Journal of Air Transport Management**, v. 9, p. 255-265. 2003. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jtraman>>. Acesso em: 04 jan. 2016.

LIN, C. The freight routing problem of time-definite freight delivery common carriers. **Transportation Research**, v. 35B, p. 525–547. 2001.

LISEJEN, M. G.; NIJKAMP, P.; RIETVELD, P. Measuring competition in civil aviation. **Journal of Air Transport Management Part.**, v.8, p. 189, 190. 2002. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/traman>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

LISEJEN, M. G.; RIETVELD, P.; NIJKAMP, P. Hub premiums in European civil aviation. **Transport Policy**, v. 8, p. 193, 195-198. 2001. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/tranpol>. Acesso em: 18 nov. 2015.

_____. How carriers price connecting flights? Evidence form intercontinental flights from Europe. **Transportation Research Part E**, v.38, p. 240, 241, 250. 2002. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/tre>>. Acesso em: 13 nov. 2015.

MALIGHETTI, P.; PALEARI, S.; REDONDI, R. Connectivity of the European airport network: “ Self-help hubbing” and business implications. **Journal of Air Transport Management**, v. 14, p. 53-64, 2008. Disponível em: Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

MAERTENS, S. Drivers of long haul flight supply at secondary airports in Europe. **Journal of Transport Management**. v. 16, p. 239-243. 2010. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtaman>>. Acesso em: 04 mar. 2015.

MARSTEN, S; MULLER, R.E.M.R. A mixed-integer programming approach to air cargo fleet planning, **Management Science**, v. 26, p. 1096–1107.1980.

MARTIN, S. L. Analysis of prospective airline mergers using a simulated annealing model. **Journal of Air Transport Management**, v.17, 80-87. 2011. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 02 mar. 2015.

MARTÍN, J. C.; VOLTES-DORTA, A. A note on how to measure hubbing practices in airline networks. **Transportation Research Part E**, v.45, p. 251, 254. 2009. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/tre>>. Acesso em: nov 19 2015.

MATISZIW, T. C.; LEE, C. L.; GRUBESIC, T. H. An analysis of essential service structure and performance. **Journal of Air Transport Management**, v.18, 5-11. 2012. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 02 de mar. 2015.

MEYER., R.; YU, T. Bugs for a Bayesian analysis of stochastic volatility models. **Econometrics Journal**, v.3, p.198–215. 2000.

MING, H. L.; BENNY, M. Airport privatization in international inter-hub and spoke networks. **Economics of Transportation**, v.4, 189-199. 2015. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/ecotra>>. Acesso em: 07 mar. 2015.

MING, H. L. Airport privatization in congested hub–spoke networks. **Transportation Research Part B**, v.54, p.51-67. 2013. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/trB>>. Acesso em: 07 de mar. 2015.

MITCHELSON, R. L.; WEELER, J. O. The Flow of Information in a Global Economy: The Role of the American Urban System in 1990. **Annals of the Association of American Geographers**, p. 87–107, 1994.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. Fifty. New York: Wiley, 2011.

MORREL, P.S.; PILON, R.V. KLM and Northwest: a survey of the impact of a passenger alliance on cargo service characteristics. **Journal of Air Transport Management**, p. 153-160. 1999. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

NPIAS (NATIONAL PLAN FOR INTEGRATED AIRPORT SYSTEMS). **Airports Categories**. Federal Aviation Administration (FAA). Disponível em: <https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/passenger_allcargo_stats/categories/>. Acesso 12 de Jan: 2017.

O'KELLY, M. E. The location of interacting hub facilities. **Transportation Science**, v. 20, p. 92-105; 1986.

_____. A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. **European Journal of Operational Research**, 32, 393–404, 1987.

O'KELLY, M. E.; BRYAN, D. L. B. "Hub location with flow economies of scale". **Transportation Research B**, v. 32, n. 8, p. 608, 1998.

OKTAL, H.; OZGER, A. Hub location air cargo transportation: A case study. **Journal of Air Transport Management**, v. 27, p. 1-4. 2013. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 02 jan. 2016.

OLIVEIRA, D. S.; CORREIA, A. R. Estudo do desempenho operacional dos aeroportos brasileiros relativo ao movimento de cargas. **Journal of Transport Literature**, v. 5, n. 3, p. 141-162, 2011. <<https://www.transport-literature.org>> Acesso em 08 jan. 2016.

ONGHENA, E. **Integrators in a changing world**. Critical issues in air transport economics and business. London: Routledge, 2011.

OSTER, C.V., STRONG, J.S. **Predatory Practices in the US Airline Industry**. US Department of Transportation, Office of the Assistant Secretary for Aviation and International Affairs, Washington, DC. 2001.

OUM, T. H.; ZHANG, A. "Airline network rivalry". **Journal of Economics**, v. 18, n. 4a, p. 8839-8841, 1995.

PASSAREDO. **Linhas aéreas**. Disponível em: <<http://www.voepassaredo.com.br/empresa/site/>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

PAULISTA, H. P.; CAMPOS, D. F.; TURRIONI, J. B. Análise bibliométrica da gestão de conhecimento. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2010, São Carlos (SP). **Anais...** São Carlos: ENEGEP, 2010. p.1-12.

PELS, E. **Airport economics and policy**. Efficiency, competition, and interaction with airlines. Amsterdam, Vrije Universiteit van Amsterdam. 2000.

PERRY, L. J. The response of major airlines to low-cost airlines. In: JENKINS, D., PREBLE R. C. (Eds.). **Handbook of Airline Economics**. Washington, DC: McGraw-Hill, 1995. p. 297-303.

PETERSEN, J. Air freight industry—whitepaper. **Research Report, Georgia Institute of Technology**, 2007. Disponível em: <<https://www.scl.gatech.edu/industry/industry-studies/AirFreight.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

POWELL, W. B.; SHEFFI, Y. The load planning problem of motor carriers problem: Description and a proposed solution approach. **Transport Res 17A**, 471-480, 1983.

RAIA JUNIOR, A. A.; TORQUATO, T. Evolução do Transporte Aéreo Regional no Estado de São Paulo. Evolution of Regional Air Transportation in the São Paulo State. In: SET - SIMPÓSIO DE ECONOMIA DOS TRANSPORTES ITA, 8., São José dos Campos, 2012. **Resumos...** Sociedade Brasileira de Planejamento de Transportes (SBPT), São José dos Campos, 2012.p1-27.

REDONDI, R.; MALIGHETTI, P.; PALEARI, S. De-hubbing of airports and their recovery patterns. **Journal of Transport Management**, v18, 1-4. 2012. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtaman>>. Acesso em: 08 mar. 2015.

_____. Hub competition and travel times in the world-wide airport network. **Journal of Transport Research Geography**, v.19, 1260-1271. 2011. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jtrangeo>>. Acesso em: 02 de mar. 2015.

_____. European connectivity : the role played by small airports. **Journal of Transport Geography**, v.29, 86-94. 2013. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jtrangeo>>. Acesso em: 07 de mar. 2015.

RYERSON, M. S.; KIM, H. Integrating airline operational practices into passenger airline hub definition. **Journal of Transport Geography**, v.31, 84-63. 2013. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jtrangeo>>. Acesso em: 02 de mar. 2015.

REYNOLDS-FEIGHAN, A. Traffic distribution in low-cost and full-service carrier networks in the US airtransportationmarket. **Journal of Air Transport Management**, n. 7, v.5, 265–275. 2001.

_____. The US airport hierarchy and implications for small communities. **Urban Studies**, v.37, p. 557-577. 2000.

RIETVELD, P.; BRONS, M. Brons. **Quality of hub-and-spoke networks**; the effects of timetable co-ordination on waiting time and rescheduling time. Amsterdam, Vrije Universiteit van Amsterdam. 2001.

RODRÍGUEZ-DÉNIZ, H.; SUAÚ-SANCHEZ, P.; VOLTES-DORTA, A. Classifying airports according to their hub dimensions: na application to the US domestic network. **Journal of Transport Geography**, v.33, 188-195. 2013. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/trangeo>. Acesso em: 07 de mar. 2015.

SABERI, M.; MAHMASSANI, H. S. Modeling the airline hub location and optimal market problems with continuous approximation techniques. **Journal of Transport Geography**, v.30, 68-76. 2013. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtrangeo>>. Acesso em: 06 mar. 2015.

SCHOLZ, A. B.; COSSEL, J. V. Assessing the importance of hub airports for cargo carriers and its implications for a sustainable airportmanagement. **Research in Transportation Business & Management**, v. 1, p. 62-70. 2011.

SEBER, G. A. F.; LEE, A. J. **Linear regression analysis**. 2 ed. Wiley series in probability and mathematical statistics, 2003.

SILVEIRA, M. R.; QUINTILHANO; D. Contribuições do modal aéreo na circulação de cargas no Brasil: principais fluxos e atuação das principais companhias aéreas. **Anpege**, v.11, n.15, p.65-91. 2015.

SIM, T., LOWE, T.J., THOMAS, B.W. The stochastic p-hub center problem with service-level constraints. **Computers & Operations Research**, v. 36, p.3166–3177, 2009.

SIQUEIRA, M. C. **Critérios para preparação de aeroportos para operar como hub**. 2008. (Monografia de especialização em Gestão da Aviação Cvil) -

Universidades de Brasília, Centro de Formação em Recursos Humanos em Transportes, 2008.

SMILOWITZ, K. R.; DAGANZO, C. F. Continuum approximation techniques for the design of integrated package distribution systems. **Networks**, v.50, 183–196, 2007.

SMITH, A. F. M.; ROBERTS, G. O. Bayesian computation via the Gibbs sampler and related Markov chain Monte Carlo methods. **Journal of the Royal Statistical Society, Series B. Methodological**, ed. 55, v.1, p.3–23. 1993.

SPIEGELHALTER, D. J.; THOMAS, A.; BEST, N. G.; LUND, D. **Winbugs user manual. Cambridge**. United Kingdom: MRC Biostatistics Unit., 2003.

STARKIE, D. **The dilemma of slot concentration at network hubs**. Ed. In: Czerny, A. 2003.

SUAU-SANCHEZ, P.; VOLTES-DORTA, A.; RODRÍGUEZ-DÉNIZ, H. Regulatory airport classification in the US: The role of international markets. **Transport Policy**, v.37, 157-166. 2015.

SUGIYANTO, G.; SANTOSA, P. B.; WIBOWO, A.; SANTI, M. Y. Analysis of hub-and-spoke airport networks in Java Island, based on cargo volume and freight ratio. **Procedia Engineering**, v. 125, p. 556-563. 2015. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/procedia>>. Acesso em: 31 dez. 2015.

TAN, P.Z.; KARA, B.Y. A hub covering model for cargo delivery systems. **Networks**, v. 49, p. 28–39. 2007.

TSOUKALAS, G.; BELOBABA, P.; SWELBAR, W. Cost convergence in the US airline industry: An analysis of unit costs 1995-2006. **Journal of Air Transport Management**, v. 14, p. 180-182. 2008. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 20 nov de 2015.

TORRES, R. R.; PORTUGAL, L. S. Caracterização de aeroportos regionais: Contribuição para uma classificação brasileira. **Anpet**, v. 17. 2013.

VELDHUIS, J.; KROES, E. K. **Dynamics in relative network performance of the main European hub airports**. European Transport Conference, Cambridge. 2002.

WANG, Y. J.; KAO, C. S. An application of a fuzzy knowledge system for air cargo overbooking under uncertain capacity. **Comput. Math. Appl**, n.56, v.10, p.2666–2675, 2008.

WU, C.; HAN, J.; HAYASHI, Y. Airport Attractiveness Analysis through a Gravity Model: A Case Study of Chubu International Airport in Japan. **Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, v.8, 2011.

YAMAN, H. Allocation strategies in hub networks. **European Journal of Operational Research**, v. 211, p. 442–451. 2011.

YAMAN, H. Polyhedral analysis for the uncapacitated hub location problem with modular arc capacities. **SIAM Journal on Discret Mathematics**, v. 19, n. 2, p.501-522. 2005.

YAMAN, H. The hierarchical hub median problem with single assignment. **Transportation Research Part B** **43**, p. 643–658. 2009.

YAMAN, H.; KARA, Y. K.; TANSEL, B. Ç. The latest arrival hub location problem for cargo delivery systems with stopovers. **Transportation Research. Part B**, v. 41, p. 906–919, 2007. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/trb>>. Acesso em: 30 dez. 2015.

YAMAN, H., KARASAN, O.E., KARA, B.Y. Release time scheduling and hub location for next day delivery. **Operations Research**, 2012.

YU, A.; YU, Z.; BO, Z. The reliable hub-and-spoke design problem: Models and algorithms. **Transportation Research Part B**, v.77, 103-122. 2015. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/trb>>. Acesso em: 06 mar. 2015.

YU, J. Forecasting volatility in the New Zealand stock market. **Applied Financial Economics**, v.12, p.193- 202. 2002.

ZHANG, A.; ZHANG, Y. Issues on liberalization of air services in international aviation. **Journal of Air Transport Management**, p. 275-287. 2002. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

ZHANG, S.; DERUDDER, B.; WITLOX, F. The impact of hub hierarchy and market competition on airfare in US hub-to-hub markets. **Journal of Air Transport Management**, v.31, 65-70. 2013. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

ANEXO - MODELO DO RELATÓRIO DE MOVIMENTO ESTATÍSTICO DO OBJETO DE ESTUDO DE 32 AEROPORTOS REGIONAIS OU SECUNDÁRIOS DO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAESP (2015)

UNIDADE	PASSAGEIROS						AERONAVES (Pouso/Decol.)					CARGA (Emb./Des.)		CORREIO (Emb./Des.)	
	V		Trânsito	Conexão	Total no mês (Emb/Des) Não Regular	Acum. 2014 (Emb/Des) Não Regular	V		Toque Arremetida	Total no mês (Reg.+Não Reg. + T. Arremetida)	Acum. 2014 (Reg.+Não T. Arremetida)	Total no mês	Acumulado 2014	Total no mês	Acumulado 2014
	Regular	Não Regular					Regular	Não Regular							
ANDRADINA	0	96	24	0	96	96	0	62	0	62	62	0	0	0	0
ARAÇATUBA	11.336	808	844	646	12.144	12.144	318	551	36	905	905	0	0	0	0
ARARAQUARA	3.662	2.217	114	0	5.879	5.879	87	251	144	482	482	100	100	0	0
ASSIS	0	653	169	0	653	653	0	272	150	422	422	0	0	0	0
AVARÉ/ARANDU	0	88	34	0	88	88	0	113	0	113	113	0	0	0	0
BAURU	0	636	47	0	636	636	0	861	168	1.029	1.029	0	0	0	0
BAURU/AREALVA	10.791	121	929	0	10.912	10.912	276	126	72	474	474	116.459	116.459	0	0
BRAGANÇA PAULISTA	0	3.203	0	0	3.203	3.203	0	1.593	1.356	2.949	2.949	0	0	0	0
CAMPINAS (AMARAIS)	0	3.652	8	0	3.652	3.652	0	2.213	3.208	5.421	5.421	0	0	0	0
DRACENA	0	47	2	0	47	47	0	261	0	261	261	0	0	0	0
FRANCA	0	110	30	0	110	110	0	249	296	545	545	0	0	0	0
ITANHAÉM	0	1.117	3	0	1.117	1.117	0	1.111	1.686	2.797	2.797	0	0	0	0
JUNDIAÍ	0	1.276	187	0	1.276	1.276	0	4.678	3.479	8.157	8.157	8.867	8.867	0	0
MARÍLIA	6.743	299	464	0	7.042	7.042	167	511	146	824	824	77.623	77.623	0	0
OURINHOS	0	79	10	0	79	79	0	161	0	161	161	0	0	0	0
PENÁPOLIS	0	133	9	0	133	133	0	209	4	213	213	0	0	0	0
PRES. EPITÁCIO	0	42	8	0	42	42	0	18	0	18	18	0	0	0	0
PRES. PRUDENTE	20.411	538	44	0	20.949	20.949	285	698	306	1.289	1.289	9.082	9.082	0	0
REGISTRO	0	12	4	0	12	12	0	22	7	29	29	0	0	0	0
RIBEIRÃO PRETO	74.989	1.042	2.042	2.406	76.031	76.031	1.242	2.174	1.040	4.456	4.456	61.699	61.699	0	0
SÃO CARLOS	0	66	26	0	66	66	0	111	0	111	111	0	0	0	0
SÃO JOSÉ RIO PRETO	63.290	1.891	148	0	65.181	65.181	730	1.321	1.050	3.101	3.101	28.003	28.003	0	0
SÃO MANUEL	0	41	17	0	41	41	0	77	65	142	142	0	0	0	0
SOROCABA	0	3.162	94	0	3.162	3.162	0	2.324	3.764	6.088	6.088	0	0	0	0
TUPÃ	0	28	1	0	28	28	0	27	0	27	27	0	0	0	0
UBATUBA	0	1.820	87	0	1.820	1.820	0	1.104	0	1.104	1.104	0	0	0	0
VOTUPORANGA	0	146	14	0	146	146	0	665	101	766	766	0	0	0	0
TOTAL	191.222	23.323	5.359	3.052	214.545	214.545	3.105	21.763	17.078	41.946	41.946	301.833	301.833	0	0