

RODRIGO FLORIO MOSER

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE CONFIGURAÇÕES  
AEROPORTUÁRIAS UTILIZANDO VISUAL SIMMOD:  
APLICAÇÃO AO AEROPORTO INTERNACIONAL DE  
SÃO PAULO/GUARULHOS

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia

Área de concentração: Engenharia de  
Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Nicolau D. Fares  
Gualda

São Paulo  
2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Moser, Rodrigo Florio**

**Simulação e análise de configurações aeroportuárias utilizando Visual SIMMOD: aplicação ao Aeroporto Internacional de São Paulo / Guarulhos / R.F. Moser. -- São Paulo, 2007.**

**138 p.**

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.**

**1.Operações de transportes 2.Aeroportos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.**

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais.

A Deus.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Nicolau D. F. Gualda, que muito além de me orientar neste trabalho ampliou-me os horizontes sobre o planejamento aeroportuário, principalmente com suas vivências sobre o Aeroporto de Guarulhos.

Aos professores Carlos Müller e Cláudio Jorge, do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, que muito nos honraram com sua participação na banca examinadora.

Ao Prof. Jorge E. Leal Medeiros, líder da então “Célula de Desenvolvimento em Aviação” na Atech, que me abriu os caminhos para o transporte aéreo e me colocou em contato com o SIMMOD.

Ao Gregory Bradford, fundador da Airporttools e moderador do Grupo de Usuários do SIMMOD, que gentilmente cedeu uma licença do Visual SIMMOD e forneceu todo o suporte necessário para o uso da ferramenta. Agradeço também ao Prof. Joakim Karlsson, da Daniel Webster College, pelas suas sugestões e recomendações e ao Sr. William J. Swedish (Bill), da MITRE Corp., pelo fornecimento do software FAA-ACM, manuais e total suporte na sua utilização.

À INFRAERO, particularmente à Gerência de Navegação Aérea - NAGR, da Superintendência Regional do Sudeste - SRGR, nas pessoas: Antonio J. L. Velardi, Myron J. Coelho, Bemildo Ferreira e Cap. Osvalte de Castro Alves, pela total abertura para obtenção de dados sobre o Aeroporto de Guarulhos e pela “validação in-loco” do modelo.

A todos os integrantes da Sociedade Brasileira de Pesquisa em Transporte Aéreo - SBTA, pela efetiva promoção de debates e troca de

informação no setor do transporte aéreo, especialmente: Erico S. M. Santana, Erivelton P. Guedes, Alexandre de Barros e Mauricio Ferreira Hupalo, que percorreram o “caminho das pedras” do SIMMOD e souberam contribuir com os que vinham atrás.

Ao amigo Douglas Targa, por ter me proporcionado a oportunidade de entrar no universo da docência universitária e pela troca de experiências no campo do transporte aéreo.

Aos amigos da Planservi, especialmente ao Prof. Felipe I. Kabbach Jr. e Prof. Carlos Y. Suzuki, docentes do Departamento de Engenharia de Transportes da POLI, pelo apoio e incentivo que me deram para enfrentar o Mestrado. Ao Eng. Roberto de V. Pereira, entusiasta da aviação, pelas empolgantes discussões sobre o transporte aéreo, além dos ensinamentos sobre planejamento e coordenação de projetos.

Aos companheiros da equipe de Planejamento da Secretaria de Estado dos Transportes, pelo apoio à minha pesquisa numa área não tão relacionada aos nossos trabalhos do dia-a-dia, especialmente: Milton Xavier, Bernardo G. Alvim, Karin Anne van de Bilt, André Nozawa Brito (também colega de turma de mestrado), Luis Fernando Kyono. Principalmente ao José Mauro F. Garcia, a quem considero um grande profissional dos aeroportos, pelas longas conversas que me ajudaram a quebrar alguns paradigmas sobre o planejamento aeroportuário e pela preciosa, ainda que exigente, contribuição para este trabalho.

Aos amigos, colegas, professores, funcionários e todos os envolvidos no Programa de Mestrado do Departamento de Transportes da POLI, pela atenção e principalmente pela ajuda nos momentos de dificuldade.

Aos meus alunos, pela paciência ao me ouvirem falar tanto sobre o Aeroporto de Guarulhos e o SIMMOD, aguardando sua chance de poder conhecer um pouco mais essa poderosa ferramenta. Saibam que professor também aprende muito em sala de aula.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse dar este pequeno passo no conhecimento. Peço desculpas aos não mencionados, que de forma alguma foram esquecidos.

Estudo.

- Obediência: *Non multa, sed multum* \*

\* “Não muitas coisas, mas muito”, em profundidade.

S. Josemaría Escrivá (Caminho, 333)



## RESUMO

O presente trabalho apresenta uma metodologia para avaliação operacional de intervenções no lado aéreo de aeroportos, englobando pátios de aeronaves, pistas de táxi, pistas de pouso e espaço aéreo adjacente. Para tanto, foram identificadas na literatura as principais ferramentas computacionais para análise da capacidade e atraso, dentre as quais o SIMMOD - Airport and Airspace Simulation Model, mostrou-se mais adequado, sendo então selecionado com o pacote de interface gráfica Visual SIMMOD. A metodologia desenvolvida, associando a abordagem sistêmica ao emprego de técnicas de simulação, foi aplicada ao Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos (Governador André Franco Montoro). O primeiro passo foi a modelagem e simulação das operações de aeronaves com a infra-estrutura atual do aeroporto, denominada *baseline* ou modelo base, que foi validado com dados reais de operação. A partir deste modelo foram estabelecidos procedimentos de análise e controle para permitir a avaliação de alternativas com incorporação de novos cenários e incremento de dados. Esses procedimentos, que incluem a utilização de modelos analíticos e envelopes de capacidade na preparação de dados de entrada, comparação gráfica da movimentação na pista, da ocupação das posições de pátio, da composição dos tempos médios de operação e dos acréscimos de demanda a fim de se obter a capacidade prática, entre outros, formam a metodologia proposta. Os resultados obtidos permitiram caracterizar o desempenho do sistema, fornecendo subsídios para a escolha de alternativas. A metodologia mostrou-se adequada para análises sistemáticas de problemas dessa natureza.

Palavras-chave: Aeroportos. Lado aéreo. Simulação. SIMMOD.

## ABSTRACT

This paper describes a methodology for airport airside operational evaluation involving simulation models. It deals with apron gates, taxiways, runways and part of the aerodrome traffic zone (approach and initial departure paths) modifications and improvements. Among several computational tools for airport capacity and delay analysis, SIMMOD - Airport and Airspace Simulation Model with Visual SIMMOD data preparation toolkit was chosen as the tool for the methodology development. The proposed methodology framework was outlined associating system approach and simulation techniques and then applied to São Paulo/Guarulhos International Airport as a case study. A baseline scenario with current airport infrastructure was modeled, simulated and validated with actual operational data. The developed methodology consists in analysis procedures and controls that allow scenarios evaluation, including analytical models, capacity curves, graphical comparisons (runway movements, gate occupation, travel times and delays) and demand increasing to reach practical capacity. Based on the created scenarios outcomes it was possible to describe the system performance, indicating better solutions. The proposed methodology was found appropriate for systematic analyses of this type of problem.

Keywords: Airports. Airside. Simulation. SIMMOD.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Subsistemas e componentes do sistema aeroportuário.....	21
Figura 2.2 - Influência do atraso na capacidade .....	23
Figura 3.1 - Fluxograma simplificado da metodologia proposta .....	44
Figura 4.1 - Demanda histórica e prevista do Aeroporto de Guarulhos .....	59
Figura 4.2 - Planta geral do Aeroporto de Guarulhos.....	61
Figura 4.3 - Visão aérea do Aeroporto de Guarulhos .....	62
Figura 4.4 - Posições atuais de estacionamento no pátio de aeronaves .....	64
Figura 4.5 - Configuração do lado aéreo do aeroporto de Guarulhos .....	65
Figura 5.1 - Planta utilizada no SIMMOD para o modelo base .....	69
Figura 5.2 - Perfil da demanda no dia selecionado .....	71
Figura 5.3 - Operação real e envelopes teóricos de capacidade - SBGR.....	74
Figura 5.4 - Intervenções na infra-estrutura, testadas nas alternativas.....	76
Figura 6.1 - Comparação da movimentação na pista - operações por hora .....	81
Figura 6.2 - Diferenças entre real e simulado - hora-a-hora .....	81
Figura 6.3 - Diferenças acumuladas entre real e simulado - hora-a-hora .....	82
Figura 6.4 - Comparação demanda real e simulada - bloco de 15min.....	83
Figura 6.5 - Comparação - saídas por bloco de 15min.....	83
Figura 6.6 - Comparação - chegadas por bloco de 15min. ....	84
Figura 6.7 - Diferenças entre real e simulado - bloco de 15min. ....	85
Figura 6.8 - Diferenças acumuladas entre real e simulado - bloco de 15min. ....	86
Figura 6.9 - Operação real, simulada e envelope de capacidade - SBGR.....	86
Figura 6.10 - Comparação da ocupação das posições de pátio.....	89
Figura 6.11 - Composição dos tempos de operação nas saídas (min./op.) .....	91
Figura 6.12 - Composição dos tempos de operação nas chegadas (min./op.) .....	92
Figura 6.13 - Diagrama de atrasos médios totais x demanda .....	93
Figura 6.14 - Diagrama de atrasos médios nas saídas x demanda.....	93
Figura 6.15 - Diagrama de atrasos x demanda (chegadas).....	94
Figura 6.16 - Diagrama de atrasos individuais e acumulados na chegada.....	94
Figura 6.17 - Diagrama de atrasos individuais e acumulados na saída .....	95
Figura 6.18 - Evolução do atraso com o volume horário - modelo base.....	96
Figura 6.19 - Evolução do atraso com o volume diário - modelo base .....	97

Figura 6.20 - Evolução do atraso com o volume horário - comparação .....	98
Figura 6.21 - Evolução do atraso com o volume diário - comparação.....	99
Figura A.1 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 579 mov./dia.....	112
Figura A.2 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 625 mov./dia.....	112
Figura A.3 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 682 mov./dia.....	113
Figura A.4 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 736 mov./dia.....	113
Figura A.5 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 798 mov./dia.....	114
Figura A.6 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 845 mov./dia.....	114
Figura A.7 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 579 mov./dia .....	115
Figura A.8 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 625 mov./dia .....	115
Figura A.9 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 682 mov./dia .....	116
Figura A.10 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 736 mov./dia .....	116
Figura A.11 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 798 mov./dia .....	117
Figura A.12 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 845 mov./dia .....	117

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Modelos para capacidade e atraso.....	32
Tabela 3.1 - Indicadores do sistema e suas métricas .....	51
Tabela 4.1 - Distâncias declaradas e auxílios .....	67
Tabela 5.1 - Uso de pista por movimento e regra de voo .....	72
Tabela 5.2 - Classes de aeronaves e composição de frota.....	72
Tabela B.1 - Resultados do Modelo Base (demanda + 40%) .....	119
Tabela B.2 - Comparação entre o Modelo Base e o Modelo GRU_PRA .....	121

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
1.1 Objetivos .....	16
1.2 Estrutura do trabalho.....	16
2. O PROBLEMA NA LITERATURA .....	18
2.1 Abordagem sistêmica.....	20
2.2 Definição de capacidade e atraso .....	22
2.2.1 <i>Fatores que afetam a capacidade e atraso</i> .....	24
2.3 Modelagem e simulação.....	27
2.4 Revisão dos modelos de simulação para aeroportos.....	30
2.4.1 <i>HERMES</i> .....	33
2.4.2 <i>RAMS</i> .....	34
2.4.3 <i>The Airport Machine</i> .....	34
2.4.4 <i>TAAM: Total Airspace &amp; Airport Modeller</i> .....	35
2.4.5 <i>SIMMOD</i> .....	38
2.5 Escolha do SIMMOD como ferramenta de simulação.....	41
2.6 Conclusões do capítulo.....	43
3. METODOLOGIA PROPOSTA .....	44
3.1 Características do SIMMOD.....	45
3.1.1 <i>Lógica de funcionamento</i> .....	46
3.2 Definição do sistema.....	50
3.3 Medidas de desempenho.....	50
3.4 Sistemática da análise de aeroportos .....	52
3.4.1 <i>Levantamento e preparação dos dados de entrada</i> .....	54
3.4.2 <i>Verificação e validação do modelo base</i> .....	56
3.4.3 <i>Avaliação de alternativas</i> .....	57
3.5 Conclusões do capítulo.....	58
4. CARACTERÍSTICAS DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE SÃO PAULO/ GUARULHOS .....	59
4.1 Plano diretor.....	60

4.2	Infra-estrutura atual .....	61
4.2.1	<i>Sub-sistema pátio de aeronaves</i> .....	62
4.2.2	<i>Sub-sistema pistas de táxi</i> .....	64
4.2.3	<i>Sub-sistema pistas de pouso</i> .....	65
4.3	Conclusões do capítulo .....	67
5.	MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO AEROPORTO DE GUARULHOS .....	68
5.1	Modelo base ( <i>baseline</i> ).....	68
5.1.1	<i>Configuração física</i> .....	69
5.1.2	<i>Dados de demanda</i> .....	69
5.1.3	<i>Regras de tráfego</i> .....	73
5.2	Estudo de alternativas.....	76
5.2.1	<i>Modelagem do Cenário GRU_PRA</i> .....	78
5.3	Conclusões do capítulo .....	79
6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO .....	80
6.1	Verificação e validação do modelo base .....	80
6.1.1	<i>Verificação e validação no sistema de pistas</i> .....	80
6.1.2	<i>Verificação e validação no pátio de aeronaves</i> .....	87
6.1.3	<i>Verificação e validação dos tempos de percurso/atrasos</i> ..	90
6.2	Acréscimo de demanda nos modelos .....	95
6.2.1	<i>Hipóteses adotadas</i> .....	95
6.2.2	<i>Resultados da simulação do modelo base</i> .....	96
6.2.3	<i>Resultados da simulação da alternativas GRU_PRA</i> .....	98
6.3	Conclusões do capítulo .....	100
7.	RESUMO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	103
8.	BIBLIOGRAFIA .....	105
	APÊNDICE A - COMPARATIVO DE RESULTADOS .....	112
	APÊNDICE B - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS .....	118
	ANEXO A - DADOS DE PISTA, PARA ENTRADA NO MODELO BASE .....	122
	ANEXO B - DADOS DE PÁTIO, PARA CALIBRAÇÃO DO MODELO BASE .....	133

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte aéreo no Brasil tem um papel estratégico. Considerando a vasta extensão territorial e população do país, tal atividade torna-se um suporte ao desenvolvimento, promovendo a integração nacional com a movimentação de pessoas e bens. Segundo o SNEA - Sindicato Nacional das Empresas Aeroviárias, os impactos desse setor na economia representam quase 3% do PIB<sup>1</sup>.

Um recente estudo realizado pelo IAC (47) constata o expressivo crescimento na demanda do transporte aéreo, motivado principalmente pela entrada de empresas de baixa tarifa (*low-fare*) e regionais, que levaram à migração de usuários de outros modos, principalmente o rodoviário. Segundo o mesmo estudo, o movimento de passageiros apresentou um crescimento médio anual da ordem de 5% entre os anos de 1979 a 2004, com indicativos de significativa elevação nos próximos anos.

O número de vôos vem crescendo, porém a infra-estrutura não tem acompanhado essa evolução, originando assim uma sobrecarga no sistema aeroportuário e no espaço aéreo. Esse desbalanceamento entre oferta e demanda tem gerado uma série de problemas, entre eles os atrasos que ocorrem diariamente e são responsáveis por prejuízos e incômodos às empresas e aos usuários.

Diante dessa situação, originada por investimentos insuficientes na infra-estrutura do transporte aéreo, surge o problema: que critérios adotar para direcionar os investimentos aeroportuários? Muitas vezes o fator determinante é político, e não técnico. Contudo, um embasamento técnico deve servir pelo menos de respaldo para a decisão política.

---

<sup>1</sup> Estimativa para o ano de 2004.



## **1.1 Objetivos**

O principal objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para avaliação operacional de intervenções no lado aéreo de aeroportos, englobando pátios de aeronaves, pistas de táxi, pistas de pouso e espaço aéreo adjacente. Pretende-se ainda aplicar esta metodologia ao caso real do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos.

Os problemas de configuração do lado aéreo de aeroportos que serão analisados incluem ampliações ou interdições de elementos da infra-estrutura existente. Para a aplicação ao Aeroporto de Guarulhos serão consideradas algumas melhorias propostas pela INFRAERO que, em última análise, devem ser avaliadas quanto à efetividade no balanceamento capacidade versus demanda, ou seja, que cada um dos componentes do sistema aeroportuário seja aproveitado da melhor forma possível.

## **1.2 Estrutura do trabalho**

O capítulo 2 visa proporcionar uma base sólida ao estudo, apresentando o resultado da busca na literatura disponível sobre capacidade e atraso em aeroportos, dando ênfase àquela que trata da abordagem sistêmica e simulação com ferramentas computacionais. Após a revisão dos modelos computacionais existentes, apresenta-se a justificativa pela escolha do SIMMOD como ferramenta de simulação.

O capítulo 3 apresenta o desenvolvimento da metodologia proposta, partindo da descrição detalhada do funcionamento da ferramenta selecionada (SIMMOD), passando pela caracterização do

sistema de estudo (lado aéreo do aeroporto), definição de capacidade e atraso e medidas de desempenho.

O capítulo 4 aborda o aeroporto escolhido para aplicação da metodologia (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos), dando uma visão geral do seu plano diretor e da infra-estrutura atual no lado aéreo.

O capítulo 5 entra nos detalhes da aplicação da metodologia, com a modelagem e simulação das operações de aeronaves no Aeroporto de Guarulhos, iniciando pela configuração física, dados reais de tráfego e regras de operação do modelo base. Em seguida passa-se à descrição dos cenários do estudo de alternativas.

O capítulo 6 começa com a verificação e validação do modelo base do Aeroporto de Guarulhos, considerando o sistema de pistas, o pátio de aeronaves e os tempos de percurso e atraso. Apresenta ainda os resultados obtidos com o acréscimo de demanda, que permitiu estimar a capacidade prática do aeroporto, baseada no critério de atrasos toleráveis. Ao final apresenta os principais resultados e conclusões do capítulo.

O capítulo 7 apresenta um resumo das atividades desenvolvidas, conclusões alcançadas por este trabalho e recomendações para futuras pesquisas.

## 2. O PROBLEMA NA LITERATURA

A fim de proporcionar uma base fundamentada ao estudo, um primeiro momento concentrou-se no levantamento de material existente sobre o assunto. Ashford & Wright (8) assinalam quatro possíveis abordagens para cálculo de capacidade e atraso de um sistema de pistas: abordagens empíricas, modelos de filas, abordagens analíticas e simulação computacional.

Dentre as abordagens listadas, Barros (9) argumenta que os modelos de simulação têm-se mostrado os mais completos e eficientes, pois permitem considerar detalhadamente os movimentos das aeronaves de acordo com características específicas de cada aeroporto.

Diversos autores têm utilizado modelos de simulação para planejamento aeroportuário, destacando-se Peres (56) em “Modelos para avaliação de capacidade de pistas com operações semi-dependentes: aplicação ao Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos”, Barros (9) em “Análise da capacidade do lado aéreo do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos” e Santana (60) em “Análise de novos cenários operacionais para o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos”, para o Aeroporto de Guarulhos.

Pereira et al. (53 e 55) em “Análise de capacidade da área de movimento do Aeroporto Santos Dumont via modelo de simulação por computador” e “Aeroporto Santos Dumont: análise de propostas de melhorias na infra-estrutura aeroportuária via modelo de simulação” aplicaram ferramentas específicas de simulação ao Aeroporto Santos Dumont.

Hupalo (33) em “Análise da Área de Controle Terminal São Paulo (TMA-SP) por meio de simulação (*fast time simulation*)”, Pereira et al.

(54) em “Estudo dos atrasos na Área Terminal São Paulo: situação atual e futura via modelo de simulação” e Almeida et al. (5) em “Air traffic delay cost in Brazil: a methodological proposal based on real data and a comparison with a simulation based methodology”, modelaram o espaço aéreo terminal.

Ferramentas genéricas, como o ARENA, foram utilizadas por Ribeiro (58) em “Modelo de simulação para análise operacional de pátio de aeroportos”, Feitosa (25) em “Um modelo de simulação para terminais de passageiros em aeroportos regionais brasileiros”, Almeida (6) em “Utilização de simulação na análise de componentes de terminais de passageiros de aeroportos brasileiros”, Pientrantonio, Sansone e Gualda (57) em “Operational analyses of the Guarulhos Airport apron service road system” e Gualda, Botter e Sansone (27) em “Simulation-based analyses of aircraft passenger bridges installation at São Paulo Congonhas Airport”.

Alguns autores desenvolveram suas próprias ferramentas de simulação, como Zhong (79) em “Modeling of airport operations using an object-oriented approach”, Gotteland (26) em “Optimisation du trafic au sol sur les grands Aéroports” e Herrera (31) em “Simulation of aeronautical operations at the International Airport of Mexico City (IAMC)”.

Genericamente em transportes, destacam-se na utilização de ferramentas de simulação Botter (10 e 11) em “Planejamento portuário: modelo para análise operacional do sistema porto associado a níveis de serviço” e “Tratamento de dados em modelos de simulação discreta” e Kleijnen (39) em “Verification and Validation of Simulation Models”.

## 2.1 Abordagem sistêmica

Segundo Meredith (43) apud Gualda (29), um sistema pode ser definido como uma coleção de componentes, conectados por algum tipo de interação ou relacionamento, sendo capaz de responder a estímulos ou demanda, e de realizar algum propósito ou função.

De Neufville (18) indica cinco elementos básicos de uma análise sistêmica, sendo eles: definição de objetivos, formulação das medidas de efetividade, geração de alternativas, avaliação das alternativas e seleção. Gualda (29) combinou as recomendações de diversos autores, considerando as seguintes etapas básicas na aplicação do enfoque sistêmico:

1. Identificação do sistema, de seus componentes, dos seus objetivos, dos seus recursos disponíveis, dos aspectos inerentes à sua administração, e de seu ambiente (restrições);
2. Formulação do problema e das medidas de rendimento a considerar;
3. Geração de alternativas para solução do problema;
4. Avaliação das alternativas geradas a partir das medidas de rendimento formuladas;
5. Seleção da alternativa que melhor atende às premissas consideradas;

Um terminal de transportes, particularmente nesse caso um aeroporto, pode ser considerado um sistema, constituído por subsistemas e seus componentes. Dessa forma, o problema da análise de configurações aeroportuárias pode ser enfrentado sob o enfoque

sistêmico. A Figura 2.1 representa um aeroporto sob a abordagem sistêmica, na visão de Horonjeff and McKelvey (32).

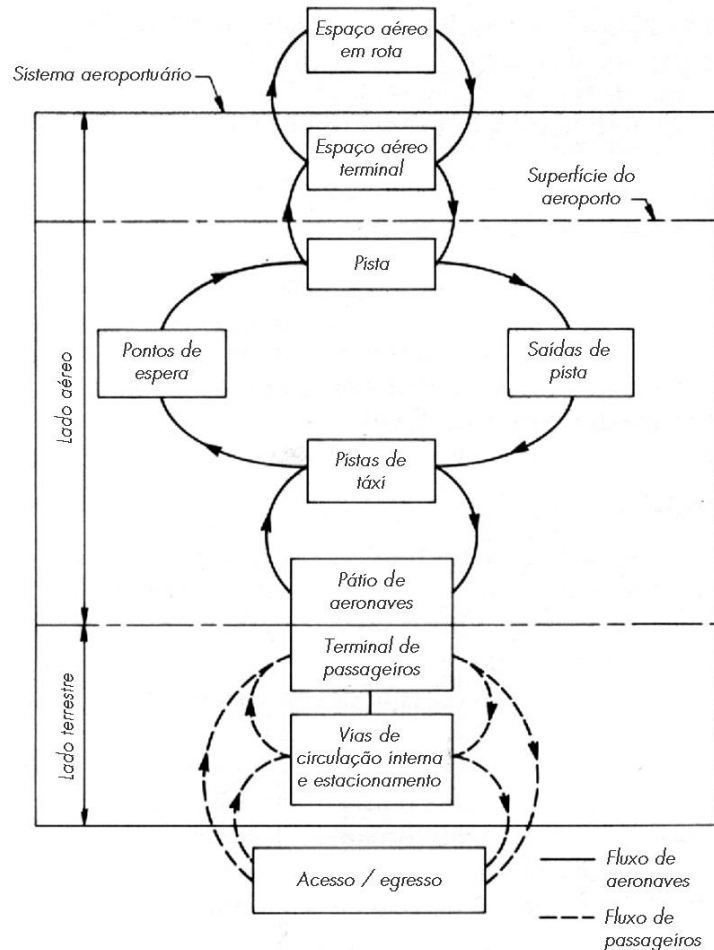


Figura 2.1 - Subsistemas e componentes do sistema aeroportuário

Fonte: Horonjeff and McKelvey (32)

Barros (9) aponta que o lado aéreo do aeroporto passou efetivamente a ser tratado e modelado como um sistema só a partir de meados da década de 70, com o desenvolvimento dos computadores digitais e a ampliação das possibilidades de simulação de grandes sistemas. Aí então que esta é entendida como ferramenta de auxílio ao planejamento, começando a se desenvolver o tema capacidade do lado aéreo, englobando simultaneamente zona terminal, aproximação final, ocupação de pista, taxiamento, ocupação de posições de aeronaves (*gates*) e decolagem.

## 2.2 Definição de capacidade e atraso

A eficácia de um sistema de transporte, segundo Horonjeff and McKelvey (32), é comumente mensurada em termos da sua habilidade de eficientemente processar a unidade sendo transportada. Uma vez que o desempenho do sistema depende de seus componentes, geralmente é necessário avaliar individualmente cada um deles para determinar o resultado do sistema como um todo, que é geralmente limitado pelas características do componente menos eficiente.

Horonjeff and McKelvey (32) apontam duas abordagens sobre capacidade. A primeira, denominada “capacidade prática”, pode ser entendida como o número de operações de aeronaves durante um específico intervalo de tempo, correspondente a um nível tolerável de atraso médio. A segunda, comumente chamada de capacidade última (*ultimate capacity*), capacidade de saturação ou máxima taxa de processamento, refere-se à capacidade como o número máximo de aeronaves que um aeródromo pode acomodar durante um específico intervalo de tempo, quando submetido a uma demanda contínua de serviço. Uma demanda contínua significa que há sempre uma aeronave pronta para pouso ou decolagem. Uma importante diferença entre estas duas definições é a referência ao atraso.

Em termos práticos, assim considera a Metropolitan Transportation Commission de São Francisco (44), quando duas ou mais aeronaves necessitam utilizar ao mesmo tempo a mesma infraestrutura, resultará em pelo menos uma aeronave ter que esperar, incorrendo em atraso. O atraso pode ser calculado em termos de minutos médios de espera por aeronave chegando ou partindo, em condições IFR ou VFR<sup>2</sup>. Durante os períodos de pico a demanda pode

---

<sup>2</sup> IFR - Instrument Flight Rules (regras de voo por instrumentos)  
VFR - Visual Flight Rules (regras de voo visual)

exceder a capacidade, o que provocará a formação de filas. Na realidade, é muito raro uma aeronave realizar um voo em perfeita e contínua seqüência, sem nenhum atraso.

Considerando a definição de capacidade prática, os atrasos podem determinar a capacidade de uma rede de aeroportos e espaço aéreo, de acordo com o nível tolerável de atraso médio. Esse nível pode variar de um país ou região para outra, e inclusive entre aeroportos de um mesmo país. Contudo, o U.S. Department of Transportation (65) apud MTC (44) entende que os componentes de um sistema aeroportuário podem operar adequadamente com um atraso médio de 3 a 5 minutos por aeronave:

“A experiência mostra que o atraso aumenta gradativamente com níveis crescentes de tráfego até o ponto em que a capacidade prática de um aeroporto é alcançada, no qual o atraso médio por operação de aeronave está na faixa de 3 a 5 minutos. Os atrasos crescem rapidamente quando a demanda ultrapassa esse nível. Um aeroporto é considerado congestionado quando o atraso médio excede 5 minutos por operação. A partir desse ponto os atrasos são extremamente voláteis, e um pequeno aumento de tráfego, condições meteorológicas adversas ou outras interrupções podem resultar em prolongados atrasos que prejudicam a programação dos voos e impõe uma pesada carga de trabalho no sistema de controle de tráfego aéreo”. (tradução do autor desta dissertação).

A Figura 2.2 mostra graficamente como esse processo ocorre.

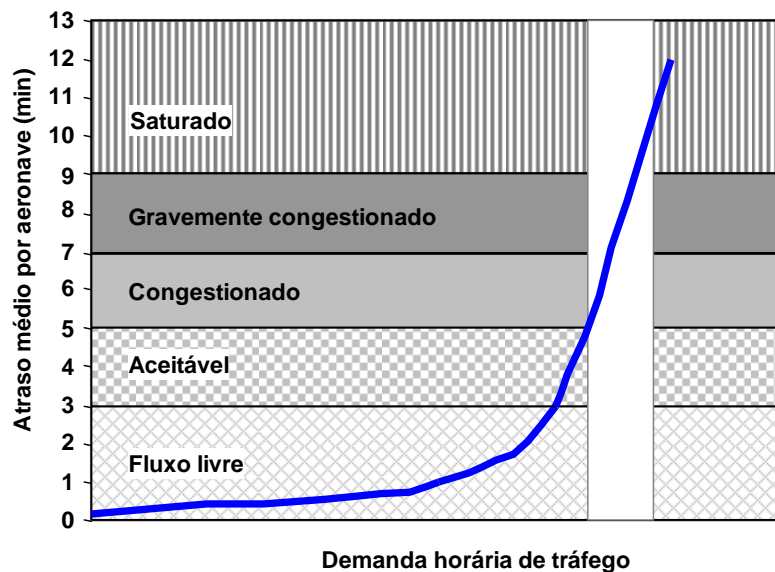


Figura 2.2 - Influência do atraso na capacidade

Fonte: Metropolitan Transportation Commission de São Francisco (44)



### 2.2.1 Fatores que afetam a capacidade e atraso

A Metropolitan Transportation Commission de São Francisco (44) tem considerado basicamente quatro fatores principais que afetam a capacidade de um aeroporto e implicam atraso:

1. Configuração do aeroporto - configuração geométrica relativa das pistas em uso;
2. Picos de demanda - períodos do dia em que a demanda de tráfego é muito alta;
3. Composição de frota - proporção entre os tipos de aeronaves que operam no aeroporto, classificadas principalmente por peso e envergadura;
4. Meteorologia - condições climáticas no aeroporto e a tecnologia de instrumentação disponível;

#### 2.2.1.1 *Configuração do aeroporto*

A configuração do sistema de pistas é, em geral, o fator mais importante para determinar a capacidade de um aeroporto, sendo o mais comum gargalo do sistema aeroportuário como um todo. Quando a capacidade de um sistema de pistas é excedida, o aeroporto invariavelmente começa a sofrer atrasos. A determinação da capacidade é função da separação lateral entre pistas paralelas e do ângulo relativo e da posição de cruzamento entre pistas que se cruzam.

A localização das saídas de pista e a existência de saídas rápidas são aspectos da configuração do aeroporto que estão muito relacionados à capacidade do sistema de pistas. A redução do tempo de ocupação de

pista é hoje uma grande preocupação nos aeroportos muito movimentados e esforços para reduzir esse tempo têm apresentado resultados muito eficazes em termos de aumento de capacidade e redução de atraso.

#### *2.2.1.2 Picos de demanda*

Mesmo havendo grande preocupação com o desempenho do sistema de pistas, sempre há limites de capacidade. É previsto que nos períodos de pico de demanda a capacidade seja excedida e, dependendo do período de tempo em que isto ocorre, resulte na formação de filas e conseqüentemente em atrasos.

A duração do período de pico de demanda é importante para determinar o impacto da formação de filas nos períodos subseqüentes, em razão da velocidade de dissipação das mesmas. Para períodos de pico mais curtos, as filas começam a dissipar-se em seguida, e os atrasos diminuem conforme o volume é reduzido a patamares inferiores à capacidade. Ocorrências de períodos de pico muito extensos podem levar a tempos muito elevados para dissipação das filas, persistindo os atrasos.

O impacto de longos períodos de pico pode levar a um efeito de propagação de “ondas de atraso” que podem ser sentidas por várias horas após o pico efetivo de superação da demanda sobre a capacidade. Nesses casos e ainda quando não se consegue recuperar os atrasos em função da sobreposição de efeitos de picos distintos, o aeroporto pode apresentar um baixo e irrecuperável nível de serviço, ao longo de todo o dia.

### 2.2.1.3 *Composição da frota*

A composição da frota que opera num determinado aeroporto, ou *mix* de frota, afeta o fluxo de pousos e decolagens devido às características de cada categoria de aeronave e a interação entre elas. Há diversas combinações de seqüências de aeronaves liderando e seguindo outras em procedimentos de partida e chegada, para as quais os padrões de separação mínima devem ser respeitados.

As categorias de aeronaves são normalmente estabelecidas em função da magnitude da esteira de turbulência por elas gerada, que por sua vez está relacionada com o tamanho e o peso da aeronave. Uma aeronave de menor porte seguindo uma de maior porte deve ter maior separação por razões de segurança. Ashford & Wright (8) atentam para a importância de levar em consideração esses fatores nas seqüências de chegadas e partidas para o cálculo de capacidade de um sistema de pistas.

Além do aspecto de segurança quanto à esteira de turbulência, a composição da frota entre aeronaves Turbo Fan e Turboélice também influencia a separação nas decolagens, uma vez que os Turboélice têm menor taxa de ascensão, sendo necessário provê-los de maior separação para que possam livrar a rota do Turbo Fan que vem em seguida.

### 2.2.1.4 *Condições meteorológicas*

Dentre os fatores que afetam a capacidade de um aeroporto e implicam atraso, as condições meteorológicas têm uma fundamental importância. Em primeiro lugar, a pista em uso é definida pela direção e intensidade dos ventos. As condições de operação do campo dependem

do teto e visibilidade, podendo ser visual ou por instrumentos, nesse caso com diversos tipos de auxílios, de maior ou menor precisão.

Quando em operação visual há um sensível aumento da capacidade, pois as condições atmosféricas dão mais segurança aos procedimentos e permitem a redução da separação entre as aeronaves. Ainda nesse caso, de acordo com a ICAO (35), eventualmente poderão ser realizadas operações simultâneas em pistas paralelas próximas, caso haja procedimentos e auxílios à navegação previstos para isso.

### **2.3 Modelagem e simulação**

Modelo é uma abstração da realidade, uma representação adaptada de acordo com o problema a ser analisado. Para Gualda (29), as características e a complexidade de um modelo dependem do objeto ou processo sendo representado e do propósito da representação. Ortúzar (52) entende que o objetivo do processo de modelagem não é reproduzir a realidade em todos seus aspectos, o que seria inviável, mas considerar apenas os aspectos relevantes ao sistema delimitado.

Consequentemente, apesar de ser pertinente comparar dois modelos entre si (por exemplo, o estado atual e um estado modificado do mesmo sistema), é difícil reproduzir a realidade em termos absolutos. Mesmo assim, o ESUG (19) conclui que comparar modelos permite avaliar ganhos em relação à situação atual (“fazer nada”).

Na visão de Botter (11), a simulação é o processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos, com o propósito de compreender o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias para a operação do mesmo. Dessa forma, ainda segundo Botter (11), a simulação traz grandes benefícios como:

- ✓ A possibilidade de testar novos procedimentos operacionais, tomadas de decisão, estratégias de uso de pistas de pouso e de rolamento, ou seja, podem ser avaliadas novas estratégias sem comprometer ou intervir nas operações do aeroporto;
- ✓ A possibilidade de testar possíveis configurações de pistas de pouso, pistas de rolamento e terminais do aeroporto antes mesmo de sua construção, bem como alterações nos arranjo físico existente (novas pistas de pouso e de rolamento, terminais, etc.) antes do emprego de recursos para a sua implantação;
- ✓ O controle do tempo, expandindo-o ou comprimindo-o, de forma a acelerar ou não um fenômeno para estudo;
- ✓ A identificação dos gargalos do sistema, ou seja, quais subsistemas, componentes, ou processos limitam sua capacidade;
- ✓ A compreensão de quais variáveis são mais importantes para a capacidade e como essas variáveis interagem.

Entretanto, deve-se ressaltar que, para se obter uma boa análise, requer-se treinamento especializado, qualidade do modelo e capacidade do analista. Além disso, deve-se tomar cuidado com a má interpretação de seus dados, pois uma simulação nunca será igual à realidade.

Utilizando a abordagem sistêmica no desenvolvimento de estudos de simulação, ainda segundo Botter (11), podem ser dados alguns passos em cada fase do projeto:

Fase 1: Criação do modelo base ou *baseline*, que deve representar o sistema atual

- a. Definição do problema e dos objetivos: devem-se definir claramente as metas do estudo, por que se está estudando este problema e quais respostas buscam-se encontrar;
- b. Definição do sistema e de suas restrições: depois de cuidadosa investigação de como o sistema funciona, determinam-se as fronteiras e as restrições a serem usadas no sistema;
- c. Levantamento e preparação dos dados de entrada: os dados requeridos pelo modelo devem ser identificados e levantados em campo ou por consulta aos órgãos competentes. Deve-se ainda proceder a uma formatação dos mesmos para entrada no modelo;
- d. Verificação e validação: é a confirmação de que o modelo é confiável e representa o sistema real. A verificação mostra que o programa computacional desempenhou-se como o esperado e pretendido, e a validação estabelece que o comportamento representa de forma válida o sistema do mundo real que está sendo simulado;

Fase 2: Geração de alternativas

- e. Alteração de procedimentos: pode-se desejar alternativas que se utilizem da infra-estrutura já existente, tentando avaliar o impacto da alteração de procedimentos ou melhorar o desempenho do sistema à custa de mudanças operacionais;
- f. Alteração de infra-estrutura: neste caso a parte física do sistema é modificada, a fim de se avaliar o impacto no seu desempenho;

### Fase 3: Avaliação e seleção das alternativas

- g. Formulação de medidas de efetividade: escolhem-se métricas ou medidas de desempenho para cada subsistema ou para o sistema como um todo, que facilitem a avaliação dos impactos de cada alternativa.
- h. Experimentações: realizam-se “rodadas” do modelo para cada cenário ou alternativa proposta.
- i. Análise e interpretação: realizam-se inferências sobre os dados obtidos pelas simulações de cada alternativa;
- j. Seleção: com base numa análise criteriosa, ponderam-se os fatores intervenientes e decide-se pela melhor alternativa;

## **2.4 Revisão dos modelos de simulação para aeroportos**

Odoni et al. (51) realizaram um levantamento muito amplo acerca dos modelos para avaliação de sistemas de tráfego aéreo e aeroportos. No relatório final do seu estudo há referência para os seguintes tipos de modelos:

- a. Modelos quase analíticos de capacidade aeroportuária e atraso  
Exemplos: FAA Airfield Capacity Model, LMI Runway Capacity Model, DELAYS, AND (Approximate Network Delays);
- b. Modelos de simulação de alto nível de detalhe de operações em aeroportos  
Exemplos: HERMES (HEuristic Runway Movement Event Simulation), The Airport Machine;

- c. Modelos de simulação de alto nível de detalhe de operações no espaço aéreo e aeroportos  
Exemplos: TAAM (Total Airspace and Airport Modeller), SIMMOD;
- d. Modelos de simulação com detalhamento intermediário de operações no espaço aéreo e aeroportos  
Exemplos: NASPAC (National Airspace System Performance Capability), TMAC, FLOWSIM, ASCENT (ATFM 3 System Concept Evaluator for New Technologies);
- e. Modelos de segurança  
Exemplo: TOPAZ (Traffic Organization and Perturbation AnalyZer);
- f. Modelos de resolução de conflitos, medição de carga de trabalho de controladores e gerenciamento do espaço aéreo  
Exemplos: RAMS (Reorganized ATC Mathematical Simulator), BDT (Banc De Test), NARSIM, ASIM (Airspace SIMulation), SDAT (Sector Design Analysis Tool), RATSG (Robust Air Traffic Situation Generator);
- g. Fatores humanos, integração homem/máquina  
Exemplos: MIDAS (Man-Machine Integration, Design, and Analysis System), PUMA, DORATASK;
- h. Modelos de custo-benefício e investimentos  
Exemplos: NARIM (The National Airspace Resource Investment Model), ACIM (The ASAC Air Carrier Investment Model);
- i. Modelos de ruído aeroportuário  
Exemplos: INM (Integrated Noise Model), NOISIM;



A Tabela 2.1, adaptada de Odoni et al. (51), sintetiza de forma concisa a classificação dos modelos analíticos e de simulação para estimativa de capacidade e atraso, alguns dos quais serão brevemente descritos.

Tabela 2.1 - Modelos para capacidade e atraso  
Fonte: Odoni et al. (51)

Nível de detalhe (tipo de estudo)	Objeto do modelo			
	Pátios de aeronaves e pistas de táxi	Pistas e trajetórias de aproximação	Espaço aéreo da Área Terminal	Espaço aéreo em rota
<b>Macroscópico (Análise de políticas e estudos de custo-benefício)</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ LMI Runway Capacity Model*</li> <li>▪ FAA Airfield Capacity Model*</li> <li>▪ DELAYS*</li> <li>▪ AND*</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ASIM</li> <li>▪ SDAT*</li> <li>▪ DORATASK</li> </ul>
<b>Mesoscópico (Análises de fluxo de tráfego e estudos de custo-benefício)</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ NASPAC</li> <li>▪ TMAC</li> <li>▪ FLOWSIM</li> <li>▪ ASCENT</li> </ul>		
<b>Microscópico (Análises detalhadas e projeto preliminar)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ TAAM</li> <li>▪ SIMMOD</li> </ul>			
<b>Idem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ The Airport Machine</li> <li>▪ HERMES</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RAMS</li> </ul>	

\* modelos analíticos

Tomando por base o relatório final do estudo elaborado por Odoni et al. (51), também referenciado por Ribeiro (58), foram selecionadas algumas ferramentas para elaboração de modelos de simulação de capacidade e atraso em aeroportos. Para cada ferramenta,

apresenta-se a seguir uma breve descrição, suas principais aplicações e o resumo da avaliação, compiladas do relatório citado.

#### **2.4.1 HERMES**

Desenvolvido pela British Civil Aviation Authority para avaliar a capacidade de um sistema de pistas, sujeito a variações de demanda, o HERMES (HEuristic Runway Movement Event Simulation) foi criado para permitir também análises de cenários com alterações de infraestrutura. É um modelo específico, com foco nas pistas de um aeroporto, principalmente no aspecto operacional, indicado para casos em que o atraso é extremamente sensível à variação da demanda.

Tomando por base dados reais, tais como trajetórias de voo, o HERMES é capaz de simular com grande precisão a movimentação de aeronaves e os atrasos médios decorrentes das operações. O fato de necessitar de dados de voos reais como entrada no modelo aumenta sua complexidade, porém garante maior precisão nos resultados agregados.

O detalhamento da simulação permite analisar os principais eventos ocorridos durante as fases de pouso e decolagem. Segundo Odoni et al. (51), o HERMES é capaz de atingir uma precisão em relação ao real de 3 a 4 movimentos num período de 24 horas de simulação, extremamente vantajoso se comparado aos concorrentes SIMMOD e TAAM que atingem a precisão de 12 a 24 movimentos no mesmo período.

As principais aplicações realizadas com o HERMES incluem os aeroportos de Heathrow e Gatwick, para os quais o modelo foi projetado, considerando regras específicas desses aeroportos. Contudo, pode também ser utilizado em outros, o que requer maior cuidado na

aplicação. A agregação dos resultados do HERMES, obtidos através da técnica de simulação Monte Carlo, quase sempre implica grandes tempos de processamento para atingir resultados confiáveis.

#### **2.4.2 RAMS**

O RAMS - Reorganised ATC Mathematical Simulator é um modelo desenvolvido pelo Eurocontrol, no Experimental Centre (EEC). O desenvolvimento futuro do software está, contudo, sob responsabilidade de uma empresa chamada ISA Software.

Trata-se de um modelo de simulação *fast-time*, baseado num modelo existente do Eurocontrol chamado EAM (EUROCONTROL Airspace Model) que era utilizado para avaliação de mudanças propostas na estrutura e configuração de setores do espaço aéreo europeu. O RAMS foi desenvolvido principalmente para investigação e análise da estrutura do espaço aéreo, novos conceitos de ATC (Air Traffic Control) e ATM (Air Traffic Management).

É um simulador do grupo dos modelos microscópicos, para análises detalhadas e projeto preliminar, atuando na detecção e resolução de conflitos e carga de trabalho de controladores do espaço aéreo. Baseia-se na geração de trajetórias de voo e na detecção de violações de separação mínima entre aeronaves de acordo com regras pré-estabelecidas no banco de dados do modelo.

#### **2.4.3 The Airport Machine**

Trata-se de uma ferramenta para simulações detalhadas, desenvolvida pela Airport Simulation International (ASI), voltada

principalmente para aspectos relativos às operações no lado aéreo de um aeroporto. Seus cálculos são baseados numa rede de *links* e nós, fornecendo, como principais resultados, fluxos por unidade de tempo e atrasos em cada componente do sistema. Cada *link* suporta apenas uma aeronave por vez; portanto, quando duas aeronaves convergem para o mesmo *link*, há uma priorização, baseada na programação do modelo, para determinar quem ingressará primeiro e quem deverá aguardar, incorrendo em atraso.

Odoni et al. (51) acreditam que The Airport Machine apresenta a vantagem de ter sido utilizado em numerosas aplicações em diversos aeroportos nos Estados Unidos e Europa, sendo que os estudos relevantes mais recentes incluem estratégias alternativas para aumento da capacidade nos aeroportos de Boston e Frankfurt.

Em resumo, ele é capaz de avaliar capacidade e atrasos em aeroportos, proporcionando um detalhamento de projeto. É um pacote computacional em estágio maduro de desenvolvimento, amigável quanto à interface com o usuário, de uso extensivo e com resultados validados. Em comparação com o SIMMOD apresenta a desvantagem de maior custo de aquisição e da necessidade de muito tempo de treinamento. Odoni et al. (51) consideram a interface com o usuário vantajosa em relação ao SIMMOD. Porém, pacotes de interface mais recentes, como o Visual SIMMOD (4), tornam-no competitivo nesse aspecto.

#### **2.4.4 TAAM: Total Airspace & Airport Modeller**

O TAAM é um pacote de simulação detalhado “fast-time” de larga escala para modelagem de sistemas completos de tráfego aéreo, desenvolvido pela The Preston Group (TPG) em cooperação com a Australian Civil Aviation Authority (CAA). Pode ser usado como uma

ferramenta de planejamento ou para condução de análises e estudos de viabilidade, simulando com mais detalhes que os modelos competidores, *gate-a-gate*, sistemas de espaço aéreo e aeroportos.

Uma simulação no TAAM consiste na coleção de dados disponíveis relevantes para o problema, providos pelo usuário, e suas necessidades de modelagem. Os dados de entrada são basicamente o tráfego programado, descrição do ambiente, plano de vôos das aeronaves, controle de tráfego aéreo e regras de controle. Esses dados são utilizados para caracterizar o uso do aeroporto e espaço aéreo, detectar e resolver conflitos, e agregar o cálculo de métricas com seus algoritmos internos e as regras definidas pelo usuário.

A ferramenta é disponibilizada por módulos, cada qual incluindo ferramentas de simulação com interface gráfica, possibilitando visualização em 2D ou 3D do espaço aéreo e do aeroporto, de monitoramento de tráfego aéreo com recursos de simulação e de relatórios, podendo ser usada para gerar gráficos e tabelas a partir dos dados obtidos da simulação. As simulações podem ser interrompidas e reiniciadas para alteração de aspectos chave do modelo, como resolução de conflitos e alocação de recursos do aeroporto, através da edição das regras impostas pelo usuário. A ferramenta proporciona também visualização gráfica animada da simulação.

O TAAM tem tido grandes aplicações desde o início da década passada, desde a adição de pequenas instalações em aeroportos, como *gates*, passando pela formulação de procedimentos em áreas terminais, como a TMA de Londres e a de São Paulo, pela MITRE (48), até a total reformulação de espaços aéreos de um país inteiro.

As principais áreas de aplicação têm sido: capacidade aeroportuária, planejamento de melhorias e ampliação de aeroportos, áreas de degelo, impacto de ruído, impacto de condições climáticas

adversas, projeto de procedimentos de área terminal (SIDs e STARs <sup>4</sup>), projeto de setorização de áreas terminais, avaliação de carga de trabalho de controladores, impacto de novas regras de controle de tráfego aéreo (por exemplo, redução de separação vertical), atrasos globais do sistema, estudos de custo/benefício, impactos de novos sítios aeroportuários, dentre outros.

Em resumo, Odoni et al. (51) consideram o TAAM como uma das mais poderosas ferramentas de larga escala e alto nível de detalhamento para simulações “fast-time” de sistemas completos de tráfego aéreo. Por ser um sistema que trabalha com simulação de trajetórias em 4D (três dimensões espaciais e uma temporal), proporciona maior realismo que os concorrentes, que em geral trabalham com sistemas baseados em malha, como é o caso do SIMMOD.

Com o TAAM é possível simular, por exemplo, re-roteamento dinâmico, a fim de evitar conflitos com outras aeronaves. Entretanto, Odoni et al. (51) acreditam que isso ainda não seja suficiente para modelagens completas de Vão Livre, ou seja, sem restrições de rotas. Outras vantagens sobre os competidores incluem a possibilidade de se considerar condições meteorológicas adversas, indicando as aeronaves afetadas por estas condições, através da entrada de dados padronizados do tipo SIGMET <sup>5</sup>.

Odoni et al. (51) consideram os recursos de prevenção de conflitos limitados. Os conflitos são detectados por meio de um recurso de projeção “fantasma” tempo-espacial das trajetórias das aeronaves. Quando o TAAM realiza uma verificação de prevenção de conflitos, ele

---

<sup>4</sup> SID – Standard Instrument Departure (Saída Padrão por Instrumento)

STAR – Standard Terminal Arrival Route (Rota Padrão de Aproximação Terminal)

<sup>5</sup> SIGMET - Significant Meteorological Information. Mensagens que informam ou prevêm as formações de nuvens do tipo Cumulus Nimbus (desenvolvimento e deslocamento), formações de gelo, ondas de montanha ou qualquer outro fenômeno que possa afetar a segurança dos vôos.

checa se uma ação que resolva o conflito previsto entre as duas aeronaves envolvidas não resulta em novos conflitos com aeronaves na proximidade. Caso as condições não sejam aceitas, ele rejeita a ação e tenta outra. O TAAM não é capaz de movimentar mais de uma aeronave ao mesmo tempo, o que implica muitas vezes a consecução de novos conflitos na tentativa de evitar um existente, concluem Odoni et al. (51).

#### **2.4.5 SIMMOD**

O SIMMOD, *Airport and Airspace Simulation Model*, foi desenvolvido em 1980 pela *Federal Aviation Administration* (FAA) e é por ela aceito como uma ferramenta padrão. Pode ser utilizado para simular em detalhes desde as operações em solo de aeronaves num aeroporto, num aeroporto e seu espaço aéreo adjacente, num determinado espaço aéreo isoladamente ou até mesmo um sistema regional de aeroportos e o espaço aéreo relacionado.

Trata-se de uma ferramenta sofisticada para auxílio à tomada de decisão de planejadores, projetistas e administradores de aeroportos, de tráfego aéreo e de empresas aéreas, na medida em que facilita estudos e avaliações nesses âmbitos. Com o SIMMOD é possível considerar uma ampla gama de aspectos envolvidos na operação do transporte aéreo.

A potencialidade da modelagem e simulação com o SIMMOD permite que se pergunte: “o que aconteceria se...?” em qualquer aspecto das operações de aeronaves, abrangendo sistemas desde os *gates* até uma rede de aeroportos, com todo o espaço aéreo. Isso permite avaliar alternativas e comparar soluções, podendo-se posteriormente estimar o custo versus benefício de cada alternativa.

O SIMMOD tem-se mostrado útil para análises numa ampla gama de estudos relacionados a aeroportos e espaço aéreo, dentre eles:

- ✓ Aeroportos e espaço aéreo: identificação e solução de problemas de capacidade, impacto do crescimento da demanda, novos procedimentos de solo e espaço aéreo, alterações na infraestrutura do aeroporto, impacto de novo aeroporto, determinação da capacidade teórica do aeroporto, impacto de novos tipos de aeronave e mudanças na *composição* da frota, regras de separação do controle de tráfego aéreo, etc.
- ✓ Operações de linhas aéreas: melhoria do planejamento de vôos reduzindo atrasos em solo e em rota, operações em *hubs*, correção de problemas de operação, impacto de regulamentação, aquisição de novos tipos de aeronaves e verificação de custos de infra-estrutura aeronáutica.

O aeródromo e o espaço aéreo no SIMMOD são representados por redes de *links* e nós. As aeronaves movem-se nesta rede de links e nós e sempre que há convergência de aeronaves para ocupar um determinado elemento ao mesmo tempo as estratégias operacionais programadas no modelo determinam qual aeronave ocupará o elemento e qual será preterida, incorrendo em atraso.

Suas principais medidas de desempenho e saídas são o tempo de percurso das aeronaves, fluxos e capacidade de processamento por unidade de tempo, atrasos e consumo de combustível. Os resultados podem ser detalhados até individualmente para as aeronaves.

Grande parte da dificuldade de elaboração e simulação de um modelo com o SIMMOD reside no desenvolvimento da rede na qual as aeronaves se movimentarão. Isso porque cada alternativa ou rota possível deve ser construída, e cada um dos seus elementos deve ser caracterizado por seus devidos atributos.



As possibilidades de aplicação do SIMMOD são as mais diversas possíveis, contando com centenas de usuários em todo o mundo. Isso porque o modelo tem contado com significativo suporte e incentivo de uso por parte da FAA, bem como pelos grupos de usuários que se formaram, merecendo destaque o NASUG (North American SIMMOD Users Group) e o ESUG (European SIMMOD Users Group).

A maioria das aplicações do SIMMOD tem sido relacionada com os impactos da capacidade e atrasos sobre uma variedade de alternativas operacionais e de infra-estrutura em aeroportos. Incluem também estudos sobre reconfiguração de espaço aéreo (por exemplo, áreas terminais) para redução de atraso, consumo de combustível ou melhorar a eficiência do sistema.

Odoni et al. (51) concluem que o SIMMOD é possivelmente a ferramenta existente mais poderosa para micro-simulação das operações em solo de aeronaves num aeroporto, permitindo um grau de detalhamento variável conforme o desejado pelo usuário (que pode incluir a simulação de operações de *push-back*, ocupação de *gates*, procedimento de degelo, tratoramento entre posições de pátio, etc.).

A principal fraqueza apontada por Odoni et al. (51) para o SIMMOD é a necessidade de intenso treinamento para conseguir certa familiaridade com o modelo. Além disso, para evitar possíveis inconsistências, os usuários devem ter bons conhecimentos de controle e gerenciamento de tráfego aéreo e operações aeroportuárias. Um exemplo disso é a incapacidade do SIMMOD de detectar conflitos laterais e verticais entre aeronaves (detecta apenas ao longo da sua trajetória de *links* e nós). Isso leva o analista a tomar muito cuidado ao criar a malha, provendo as separações necessárias, evitando conflitos que certamente não seriam considerados pelo modelo.

Os principais concorrentes do SIMMOD são o TAAM e o RAMS. O TAAM, enquanto possibilita também análises tanto em solo quanto no espaço aéreo, tem um alto custo de aquisição. Já o RAMS propõe-se a aplicações relacionadas ao espaço aéreo apenas.

## **2.5 Escolha do SIMMOD como ferramenta de simulação**

O desenvolvimento de uma nova ferramenta, a partir de programação computacional, como o fizeram Gotteland (26) e Zhong (79), não faz parte do escopo deste trabalho. Também foi descartada inicialmente a escolha de pacotes genéricos de simulação, como é o caso do ARENA, utilizado no desenvolvimento de modelos para simulação do lado aéreo de aeroportos por Ribeiro (58) e pelo LPT/EPUSP (41).

O SIMMOD é aceito pela FAA como uma ferramenta padrão. É amplamente usado devido à sua simplicidade de aprendizado e aplicação, apresentando menor custo em comparação a outros softwares.

Diversas análises em aeroportos americanos foram realizadas por diferentes grupos de estudo de capacidade, utilizando como ferramenta o SIMMOD. Dentre esses estudos, destacam-se na utilização do SIMMOD: os estudos sobre os aeroportos de Dallas-Fort Worth (66), Atlanta (67), Houston (67), Las Vegas (69), Minneapolis-Saint Paul (70), New Orleans (71), Philadelphia (71), Portland (72), Raleigh-Durham (74), Salt Lake City (74) e Seattle-Tacoma (75).

Periodicamente, a FAA - Office of System Capacity elabora relatórios compilando os resultados de cada grupo, para cada aeroporto. A publicação do 2003 ACE Plan (20) contém um resumo das conquistas

mais significativas e objetivos de curto prazo dos programas da FAA, onde também são apresentadas novas tecnologias e discutidas várias abordagens para aumento da capacidade do espaço aéreo e aeroportos. É relevante dizer que tais estudos da FAA são amplamente utilizados por órgãos de administração aeroportuária, companhias aéreas, organizações ligadas à aviação e universidades.

Destacam-se também os estudos realizados pela Metropolitan Transportation Commission (44), da área da baía de São Francisco, Califórnia, EUA. O foco principal foi a análise de capacidade dos aeroportos e espaço aéreo da região. A modelagem e simulação do sistema no SIMMOD serviram de base para avaliar a capacidade e atraso na situação vigente da infra-estrutura e procedimentos. Tendo sido constatado que o sistema operava no limite da capacidade, foram simulados cenários que contemplaram alternativas para aumento da capacidade no médio prazo (10 anos) e longo prazo (20 anos).

O autor desta dissertação tem contato com o SIMMOD desde o ano 2000, quando começou a utilizar o *software* da ATAC Corporation, denominado SIMMOD Plus!, consultando o material do curso CACI (12) e Transolutions (64). No ano de 2002 iniciou um processo de cooperação acadêmica com a AirportTools, que estava então começando o desenvolvimento do Visual SIMMOD, uma nova ferramenta para utilização do SIMMOD.

Atualmente o pacote do Visual SIMMOD encontra-se em estágio maduro de desenvolvimento e é comercializado pela AirportTools. O pesquisador conseguiu uma licença acadêmica do produto com total apoio e suporte por parte do desenvolvedor, facilitando assim a escolha por esta ferramenta para desenvolvimento da pesquisa. A disponibilidade de documentação aberta e detalhada, como o SIMMOD Reference Manual (2), SIMMOD Tutorial (3) e Visual SIMMOD Documentation (4), também pesaram na escolha do modelo.

Para orientar novos estudos realizados com o SIMMOD, o ESUG - European SIMMOD Users Group elaborou o SIMMOD Study Guide (19), que é mantido pelo Eurocontrol <sup>6</sup>. Este trabalho procurou seguir as recomendações desse grupo, que tem se destacado na utilização da ferramenta.

## **2.6 Conclusões do capítulo**

Neste capítulo realizou-se um levantamento na literatura sobre o problema de configuração do lado aéreo de aeroportos, passando pela abordagem sistêmica da questão, a definição de capacidade e atraso e a aplicação de técnicas de modelagem e simulação. Após a revisão dos principais modelos existentes, justificou-se a escolha do SIMMOD. No capítulo seguinte suas principais características serão aprofundadas, na medida que essa ferramenta constituirá o núcleo da metodologia proposta para aplicação ao Aeroporto de Guarulhos.

---

<sup>6</sup> O EUROCONTROL - European Organisation for the Safety of Air Navigation desenvolve, coordena e planeja as estratégias de gerenciamento de tráfego aéreo e seus planos de ação na Europa.

### 3. METODOLOGIA PROPOSTA

Apesar de todo o potencial do SIMMOD, apresentado no capítulo anterior e que será mais detalhado no presente capítulo, ele é apenas uma ferramenta. O *software* recebe dados de entrada sobre o sistema em estudo e proporciona uma infinidade de dados de saída, que no entanto precisam ser interpretados. Um procedimento para levantamento e preparação dos dados de entrada, verificação/validação do modelo base e a avaliação das alternativas é fundamental para o sucesso da análise. A contribuição que este trabalho visa a oferecer à literatura é justamente sistematizar tudo isso, permitindo ao analista a seleção da melhor alternativa para o problema que se propõe.

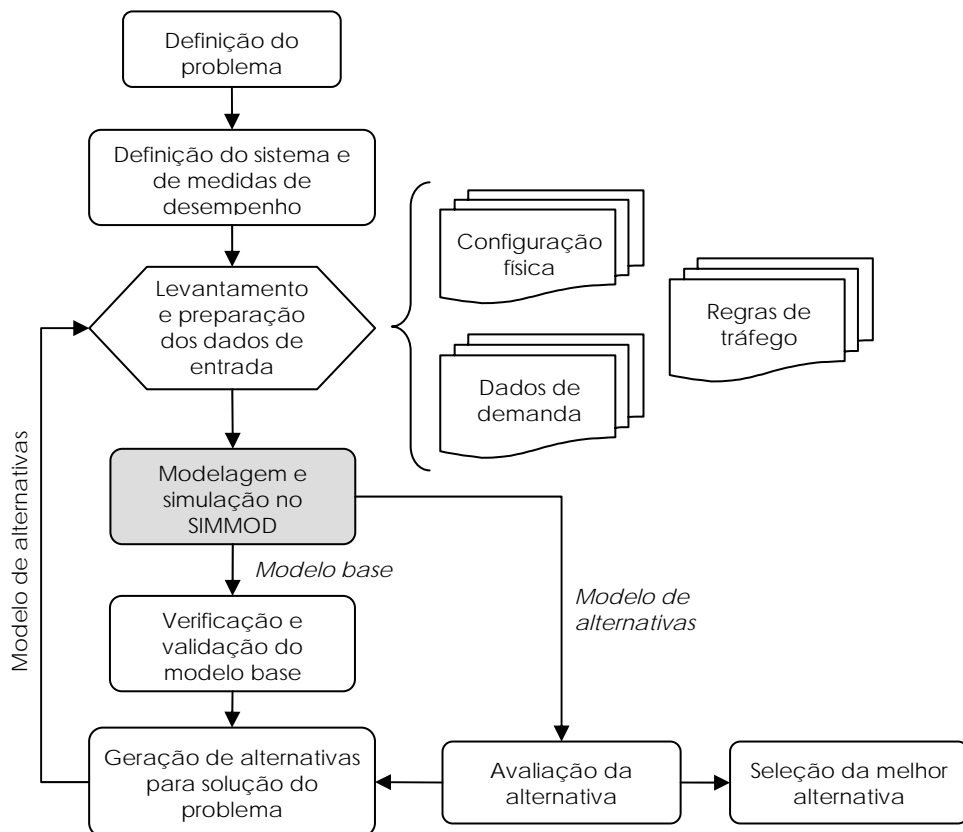


Figura 3.1 - Fluxograma simplificado da metodologia proposta

Essa metodologia, que associa a abordagem sistêmica ao emprego de técnicas de simulação com o SIMMOD, baseia-se nas recomendações do ESUG (19).

### 3.1 Características do SIMMOD

O SIMMOD é uma ferramenta de modelagem e simulação que trabalha com estatísticas probabilísticas de eventos discretos. É probabilístico enquanto os parâmetros de entrada para definição das regras do sistema podem ser definidos por distribuições de probabilidade. Trabalha com eventos discretos porque a movimentação das entidades, bem como as variáveis que dizem respeito ao estado do sistema, é calculada passo-a-passo (não são contínuas), verificando a interação entre aeronaves e resolvendo conflitos a cada passo.

Os dados de entrada do modelo podem ser assim agrupados:

- ✓ Dados físicos: referentes ao aeroporto em si (pistas de pouso e de rolamento, posições de estacionamento de aeronaves nos pátios, etc.) e aqueles referentes ao seu espaço aéreo adjacente (retas de aproximação final e de decolagem);
- ✓ Procedimentos: de táxi, nas saídas e chegadas padrão e em rota;
- ✓ Dados das aeronaves: distribuições estatísticas de probabilidade de velocidades de pouso, decolagem e cruzeiro, de tempos de manobras e *pushback*, dimensões, tipo de propulsão (turbofan, turbo-hélice), peso e consumo de combustível, etc.
- ✓ Regras: separação e restrições de tráfego, restrições do espaço aéreo, seqüenciamento, preferências e restrições para pistas, táxis e *gates*;
- ✓ Tráfego aéreo: planos de vôos e horários, fixos e rotas, vento em rota, etc.

Esses dados serão explicitados no item 3.4.1.

### 3.1.1 Lógica de funcionamento

O SIMMOD representa um aeroporto ou espaço aéreo como uma série de nós, conectados por *links*. Um nó é um ponto num sistema de coordenadas, onde o SIMMOD avalia a posição de uma aeronave em relação a outra no sistema. Um *link* define o caminho entre dois nós. As aeronaves movem-se de um nó a outro somente por um *link* definido entre eles.

Os nós em solo (*ground nodes*), pertencentes ao aeroporto, e os nós no espaço aéreo (*airspace nodes*) formam grupos separados e são tratados de forma segregada no SIMMOD. Os nós em solo descrevem locais no aeroporto, como *gates*, pontos de espera, interseções de *taxiways*, etc. Os nós no espaço aéreo descrevem pontos como: fixos de navegação, entradas em órbitas de espera, confluências de rotas, interface com um aeroporto, etc.

Analogamente aos nós do modelo, os *links* em solo (*ground links*) e os *links* no espaço aéreo (*airspace links*) também são tratados separadamente. Os *links* em solo usualmente representam pistas de táxi, pistas de pouso ou qualquer outro tipo de caminho de movimentação terrestre das aeronaves. Os *links* no espaço aéreo representam rotas. Cada componente real, como uma pista ou uma rota, pode ser representada por vários nós e *links* agrupados.

As trajetórias das aeronaves na rede podem ser especificadas pelo usuário, para cada par origem-destino, ou determinadas internamente pelo modelo, de acordo com o algoritmo do caminho mínimo de Dijkstra <sup>7</sup>. Esse algoritmo, batizado com o nome do seu desenvolvedor, o cientista da computação Edsger Dijkstra, é um

---

<sup>7</sup> A formulação matemática do algoritmo de Dijkstra, bem como exemplos de sua aplicação, podem ser encontrados em Ahuja et al. (1) e Cormen et al. (15).

algoritmo que resolve o problema do caminho mínimo num grafo orientado, de arcos com pesos não negativos (Cormen et al., 15).

O algoritmo de Dijkstra é bastante adequado ao SIMMOD, pois a estrutura de nós e *links* do modelo pode ser considerada como um grafo orientado, em que os pesos ou custos de cada arco são sempre positivos, medidos normalmente em termos do tempo ou distância de percurso <sup>8</sup>.

A estrutura de nós e *links* é calculada por um modelo de simulação de eventos discretos, onde a passagem do tempo se dá por um modelo matemático, onde cada mudança de estado ocorre em pontos discretos no tempo. Esses pontos são aqueles onde um evento ocorre, sendo que um evento é uma ocorrência instantânea que muda as variáveis de estado do sistema.

Um exemplo simples, formulado pelo ESUG (19) para entender o funcionamento desse processo, trata da análise de uma pista e seu ponto de espera. Uma aeronave entrando na fila para decolagem é um evento. O SIMMOD calcula o efeito desse novo evento no sistema existente e modifica ou acrescenta variáveis resultantes desse evento antes de considerar o próximo evento. Suponha que se deseje estimar o atraso médio das aeronaves nesta fila para entrada na pista. As variáveis de estado para esse modelo mais simples possível incluiriam o estado da pista (ocupada ou livre), o número de aeronaves na fila e o momento em que cada aeronave entra na fila. O status da pista é necessário para determinar quando uma aeronave pode avançar no ponto de espera, passando à frente na frente da fila ou ingressando na pista.

---

<sup>8</sup> Sobre a utilização do algoritmo de Dijkstra para otimização de operações no lado aéreo de aeroportos, ver a tese de doutorado de Gotteland (26).



Continuando o exemplo anterior, suponha que uma aeronave decole e que não haja aeronaves pousando, ou seja, a pista esteja livre para outra decolagem. Quando uma aeronave decola, o SIMMOD verifica o estado da fila do ponto de espera. Se não há aeronaves esperando na fila, a pista continua livre; caso contrário, a primeira aeronave em espera na fila ocupa a pista e decola. O momento em que cada aeronave entra na fila é utilizado para calcular seu atraso, que será definido como a diferença entre o tempo em que ela ingressou na pista para decolar e o tempo em que ela entrou na fila de espera.

Nesse exemplo há dois eventos distintos: a entrada na fila e a saída da pista. A entrada na fila é um evento porque causa uma mudança nas variáveis de estado do sistema, concretamente significa o acréscimo de uma unidade na variável que representa o número de aeronaves na fila, ou a mudança de status da pista, de livre para ocupada, no caso de não haver fila. Analogamente, a saída da pista é um evento porque causa uma mudança em seu status, de ocupada para livre, ou diminui em uma unidade o comprimento da fila.

O programador de eventos e o relógio da simulação trabalham juntos para processar os eventos na seqüência adequada, passo-a-passo. Em cada passo o modelo “pula” o intervalo de tempo em que nenhum evento ocorre. Esta forma de simulação é também conhecida como *fast-time simulation*, porque cada evento é processado estritamente de acordo com a ordem de sua “aparição” no programador de eventos, o que resulta num menor tempo real de simulação.

Se dois eventos são programados para ocorrer num mesmo tempo, o SIMMOD prioriza um deles e os processa em seqüência, sem andar o relógio da simulação. A prioridade dada a um dos eventos pode ser rastreada no registro da simulação, que lista todos os eventos em ordem cronológica. Quando o processamento de um evento termina (o que inclui a atualização das variáveis de estado alteradas pelo evento) o

programador de eventos é verificado para o próximo evento. Cada evento pode causar o acréscimo de novos eventos, criando um processo de reação em cadeia, que é muito comum numa simulação típica. Os “eventos externos”, definidos pelo usuário na entrada de dados no modelo, podem causar muitas séries de eventos interativos subsequentes.

Geralmente não se obtém vantagens em se considerar as aeronaves individualmente, o que leva a agrupá-las em categorias de acordo com suas características que podem influenciar na análise, como velocidades típicas de pouso, decolagem, em táxi e em cruzeiro, pesos máximos de decolagem, envergadura, etc. Na prática, de quatro a seis categorias são definidas e todas as variáveis estatísticas e parâmetros de entrada no modelo são produzidos por categoria. O SIMMOD ainda propõe três possibilidades de classificação, sendo uma para agrupamento no espaço aéreo e duas para o solo.

O critério de seleção de categorias para o espaço aéreo é a velocidade. Dentro desse critério, o usuário define o número de categorias que desejar. O critério para a classificação em solo é o peso máximo de decolagem. Nesse caso, há categorias pré-definidas pelo SIMMOD: monomotor, bimotor, jato e *wide-body*. Esse critério governa a separação em solo entre as aeronaves. A outra classificação, na qual o critério de seleção é deixado à livre escolha do usuário, governa as distribuições de probabilidade para características operacionais e desempenho das aeronaves, como distância de rolamento em pouso e em decolagem, tempo de serviço nos *gates*, etc.

### **3.2 Definição do sistema**

Seguindo a abordagem sistêmica, apresentada no item 2.1, cabe agora identificar o sistema que será objeto de estudo. Em poucas palavras, o sistema que será estudado é aquele denominado por Horonjeff and McKelvey (32) como o lado aéreo do aeroporto, ilustrado na Figura 2.1. Dessa forma, serão estudadas as configurações físicas, os procedimentos e os movimentos de aeronaves que ocorrem na região interna à fronteira do sistema.

### **3.3 Medidas de desempenho**

A avaliação de desempenho de um componente ou subsistema de interesse é, em geral, realizada por meio de indicadores. Um indicador, nesse contexto, expressa de forma qualitativa um fenômeno que representa uma mudança desejada no efeito que o sistema tem sobre seus usuários. A FAA (24) entende que quantificação de um indicador, de forma particular, é chamada de métrica, ou medida de desempenho. Assim, uma métrica fornece uma medida para um indicador.

Para o problema da avaliação operacional do lado aéreo de um aeroporto, a FAA (24) cita como mais comuns os seguintes indicadores:

- ✓ Atraso/eficiência do sistema: pode ser entendido como o tempo, acima do ótimo, que uma operação leva para ser completada. Se uma atividade ocorre ou não dentro do tempo previsto, planejado ou esperado, também em termos de eficiência no consumo de combustível de um determinado voo;

- ✓ Capacidade do sistema: a habilidade do sistema de suportar o número de usuários saindo e entrando no mesmo. É um conceito que pode ser estendido aos subsistemas e seus componentes.

Para cada indicador pode haver várias métricas, que são medidas definidas em termos de tempo, número de operações, distância, ou outros fatores relevantes. Métricas podem ser obtidas a partir de dados operacionais de campo ou por meio de ferramentas de modelagem. Por exemplo, o atraso de uma aeronave em procedimento de decolagem pode ser mensurado em função da diferença entre o horário real de calços fora e o horário planejado pela companhia aérea, disponibilizado no HOTRAN (Horário do Transporte Aéreo). Por outro lado, ferramentas computacionais como o SIMMOD fornecem diretamente estimativas do atraso inerente a cada procedimento.

Sendo as métricas elementos quantificáveis, é necessário que elas sejam bem escolhidas para cada estudo particular, de tal forma que possam representar de forma acurada diferenças entre o modelo básico (situação atual) e as alternativas propostas. A Tabela 3.1, adaptada de FAA - Airspace Management Handbook (24), mostra a relação entre algumas métricas de interesse neste trabalho com seus respectivos indicadores:

Tabela 3.1 - Indicadores do sistema e suas métricas  
Fonte: FAA - Airspace Management Handbook (24)

<b>Indicadores do sistema</b>		<b>Métricas</b>
Atraso/ eficiência	Atraso em rota	Tempo médio de voo em rota
	Atraso no pouso	Tempo médio de voo no pouso
	Atraso na decolagem	Tempo médio de voo na decolagem
	Atraso em solo	Tempo médio de táxi na chegada
		Tempo médio de táxi na saída
	Custo para o usuário	Consumo médio de combustível
Capacidade aeroportuária		Capacidade de utilização para pousos, decolagens e mista

### 3.4 Sistemática da análise de aeroportos

Assim como este trabalho, estudos de aeroportos utilizando o SIMMOD freqüentemente focam na movimentação de aeronaves em processo de chegada, desde a aproximação final até o desembarque dos passageiros, incluindo todas as etapas intermediárias, e na movimentação de aeronaves em partida, desde o embarque dos passageiros até o ponto extremo da trajetória de decolagem, incluindo todas as etapas intermediárias.

Obviamente, como qualquer modelo, o SIMMOD tem suas limitações. Apesar de ser capaz de modelar até mesmo operações no espaço aéreo (em rota e em áreas terminais) ele não pode simular tudo. Porém, é suficientemente abrangente para fornecer uma idéia precisa do tráfego das aeronaves e dos pontos de congestionamento ou gargalos do sistema real.

A consagrada utilização do SIMMOD em estudos de aeroportos típicos geralmente tem por objetivos básicos o aumento da capacidade ou a diminuição do atraso de algum subsistema em particular ou de todo o sistema aeroportuário. Podem ser considerados “aeroportos típicos” para estudo com o SIMMOD, segundo o critério do ESUG (19), aqueles que possuem de uma a três pistas, processando de 300 a 800 movimentos diários e de 30 a 80 movimentos nos períodos de pico.

Uma grande variedade de questões relativas ao movimento das aeronaves num aeroporto pode ser analisada. Pode-se avaliar a capacidade de sistemas atuais ou os efeitos da construção de nova infra-estrutura, tais como um sistema de pistas, *taxiways*, pátios de aeronaves, entre outros. Além disso, pode-se também avaliar os efeitos decorrentes da mudança de procedimentos operacionais.

A viabilidade da utilização do SIMMOD em análises de problemas aeroportuários pressupõe alguns conhecimentos por parte do analista, dentre os quais o ESUG (19) inclui:

- ✓ Conhecimento de como o aeroporto é operado (estrutura do tráfego, regras de gerenciamento da pista, regras de movimentação em solo, etc.).
- ✓ Conhecimento na área de informática (basicamente quanto ao funcionamento de bancos de dados e manipulação de seus arquivos).
- ✓ Conhecimento básico de estatística descritiva e das distribuições de probabilidade, a fim de processar a imensa quantidade de parâmetros que devem ser inseridos no modelo e compreender os resultados produzidos.
- ✓ Conhecimento de como o SIMMOD funciona e das técnicas de simulação em geral, a fim de interpretar as saídas do software, em um dado estudo.

Quanto à estruturação de um trabalho envolvendo o SIMMOD, o cronograma de elaboração do mesmo e o tempo total consumido estão associados ao tipo de problema a ser resolvido, a escala de grandeza e a clareza do mesmo, assim como a complexidade da lógica a ser adotada para modelar o sistema a fim de bem caracterizar seu funcionamento.

O estudo para acréscimo de uma *taxiway* não pode ser comparado ao acréscimo de uma nova pista, que requer a redefinição dos procedimentos de estratégias quase integralmente. Outros fatores também influem na estruturação do estudo, como a disponibilidade de dados, o número de iterações da simulação que forneça resultados estatisticamente confiáveis, a quantidade de pessoas trabalhando no projeto, a capacidade computacional, etc.

### 3.4.1 Levantamento e preparação dos dados de entrada

O planejamento de um estudo, em particular quanto aos dados de entrada necessários para o modelo, é essencial para sua qualidade final. Embora o SIMMOD ofereça diversas possibilidades de aquisição automática de dados, tais como dados provenientes de radar e de programação de vôos de empresas aéreas, uma campanha de levantamento de dados em campo acompanhada de discussões com o pessoal operacional do aeroporto dá uma idéia melhor da realidade.

Os dados de entrada necessários ao modelo podem ser agrupados em três classes:

- ✓ Dados físicos: são os dados relativos àquilo que não se move, ou seja, que faz parte da configuração física do aeroporto ou espaço aéreo. Esse tipo de dado será geralmente fornecido na forma de um desenho para cada cenário a ser testado, fornecido em arquivo vetorial (tipo CAD) ou imagem matricial. Tais dados incluem a representação gráfica das instalações (pistas, *taxiways*, pátios, *gates*, etc.), como também as saídas e chegadas padrão (SIDs e STARs) com suas restrições de altitude;
- ✓ Dados de demanda: são os dados dinâmicos, daqueles elementos que se movem, isto é, as definições de todos os vôos a serem simulados. Tais dados podem ser entrados no modelo na forma de uma lista de vôos com identificação, tempo e detalhes da rota. Podem representar movimentações atuais ou mesmo uma previsão de níveis de tráfego futuros.

Dentro desta classe de dados também estão incluídos os dados estatísticos provenientes de levantamentos de campo: atrasos em solo em relação aos horários programados, número de aeronaves processadas num determinado período (pousando, decolando, por

pista, etc.), tempo de ocupação de pista, distribuição de distâncias de táxi, distribuição de tempos de serviço em solo, número de aeronaves na fila de decolagem, distribuição de tempos para cruzamento de pista, etc.

Uma vez que a validação do modelo e as conclusões da análise dependem da escolha de uma dia apropriado de movimentação ou de um período de tráfego significativo, esse período deve ser representativo do pico de tráfego do aeroporto. Diz-se representativo quanto à porcentagem por categoria de aeronave, ao período de saturação parcial ou total da capacidade e ainda quanto à proporção entre chegadas e saídas, buscando-se evitar uma situação particular. Deve também ser bem conhecido, a tal ponto que permita uma comparação com o modelo (por meio de métricas), e aprovado pela equipe de trabalho.

A maioria dos valores levantados não pode ser utilizada pura e simplesmente de forma bruta para entrada de dados no modelo. De acordo com as necessidades do modelo e para levar em conta o aspecto probabilístico do SIMMOD, é necessário agrupar as informações por categoria de aeronave, transformar os dados obtidos em distribuições de probabilidades, submetê-los a testes de aderência, convertê-los para a lógica do SIMMOD e colocá-los no formato compatível com o software.

- ✓ Regras de tráfego: constituem, basicamente, procedimentos e restrições impostas no modelo. Incluem critérios de separação longitudinal entre aeronaves no espaço aéreo, velocidades de táxi, prioridades nas interseções e convergências de trajetórias, lógica do espaço aéreo (descrição precisa dos procedimentos e interação entre eles, como critérios de seqüenciamento) e lógica do solo (utilização das *taxiways*, gerenciamento das filas, atribuição de



aeronaves a pátios ou gates, gerenciamento do cruzamento de pistas, etc.).

Quanto ao aspecto metodológico, para definição dos critérios de separação entre aeronaves pousando e decolando, propõe-se uma análise dos dados reais de operação do aeroporto, confrontando-os com envelopes teóricos de capacidade.

### **3.4.2 Verificação e validação do modelo base**

A validação do modelo é necessária para torná-lo utilizável na prática. O grande objetivo desta etapa é verificar se os resultados produzidos pelo modelo são coerentes com a realidade das operações do aeroporto simulado, por meio de métricas. É verificada a conformidade dos valores obtidos com aqueles observados na situação real, por meio de medições em campo, tais como atrasos, movimentação de aeronaves por hora, por pista, por operação, etc.

A aderência do modelo às regras de gerenciamento de tráfego, tanto em espaço aéreo quanto em solo, são também validadas. Esta etapa conta principalmente com o recurso de animação gráfica dos resultados, que pode ter sua velocidade controlada a fim de observar a movimentação em tempo real, acelerado ou retardado. Obviamente a animação é uma ferramenta de auxílio à análise e não pode ser tomada por si só para esta tarefa. A animação ajuda a identificar os problemas (em geral os conflitos) que depois devem ser resolvidos com ferramentas específicas, que consideram a lógica implementada para o gerenciamento de prioridades no solo e no espaço aéreo.

A metodologia aqui proposta segue os seguintes passos para verificação e validação do modelo base:

1. Verificação gráfica do modelo animado: utilização da ferramenta *Animator* para observação da movimentação geral das aeronaves no que diz respeito à coerência com as regras de tráfego modeladas, detecção de eventuais conflitos de tráfego, *gridlocks*<sup>9</sup>, etc.
2. Validação no sistema de pistas: comparação gráfica da movimentação na pista, para pousos, decolagens e operações totais por hora, entre os dados reais e resultado da simulação.
3. Validação no pátio de aeronaves: comparação gráfica da taxa de ocupação média das posições de pátio, agrupadas segundo um critério consistente.
4. Validação dos tempos de percurso/atrasos: representação gráfica da composição dos tempos de percurso e atrasos médios, hora-a-hora, para chegadas e saídas. Verificação da consistência da sobreposição gráfica dos atrasos com os movimentos horários.

### **3.4.3 Avaliação de alternativas**

Diz-se na atividade de planejamento que quando o problema já surgiu então é tarde demais para resolvê-lo. Muitas vezes, ou pelo menos assim deveria sê-lo, a motivação para o estudo de um determinado problema nasce da previsão de que ele poderá ocorrer no futuro. Esse é o caso dos aeroportos, em que os estudos de demanda permitem antever possíveis desbalanceamentos entre capacidade e demanda. Neste contexto, na avaliação de possíveis soluções para um determinado problema, é necessário comparar as alternativas entre si e

---

<sup>9</sup> *Gridlock* pode ser entendido como um conflito entre aeronaves em solo que o SIMMOD não é capaz de resolver, causando o bloqueio de nós ou *links* e a parada da simulação.

com a situação atual (*do nothing*) para projeções crescentes de tráfego futuro.

Nesta fase, propõem-se que o modelo base e os modelos de alternativas sejam acrescidos de demanda, passo a passo, seguindo hipóteses pré formuladas, até atingir a capacidade prática do aeroporto, em função de um atraso médio estabelecido como tolerável. Dessa forma, os modelos poderão ser comparados graficamente com a evolução do atraso médio com o volume horário e a evolução do atraso médio com o volume diário.

### **3.5 Conclusões do capítulo**

Neste capítulo foi apresentada a metodologia do estudo, que associa a abordagem sistêmica a técnicas de simulação com o Visual SIMMOD. A aplicação dessa sistemática será feita para o Aeroporto de Guarulhos. Para tanto, no próximo capítulo serão apresentadas algumas características relevantes desse aeroporto. No capítulo 5 é mostrada a aplicação propriamente dita, com a modelagem realizada.

## 4. CARACTERÍSTICAS DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE SÃO PAULO/ GUARULHOS

Uma vez apresentada a metodologia do trabalho e escolhido o aeroporto para aplicação da mesma, este capítulo apresenta as características do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos que serão consideradas na elaboração do modelo no SIMMOD, descrito no capítulo 5.

O Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos, batizado com o nome do Governador André Franco Montoro, está localizado no município de Guarulhos, Estado de São Paulo. Pode ser considerado a “porta de entrada” no Brasil, consolidando-se hoje como seu principal aeroporto internacional. Hoje o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos opera praticamente como um centralizador de passageiros e cargas, atendendo todo o Brasil. Os recentes estudos realizados pelo IAC (46 e 47) apontam para o crescente potencial de demanda desse aeroporto, como mostra a Figura 4.1.

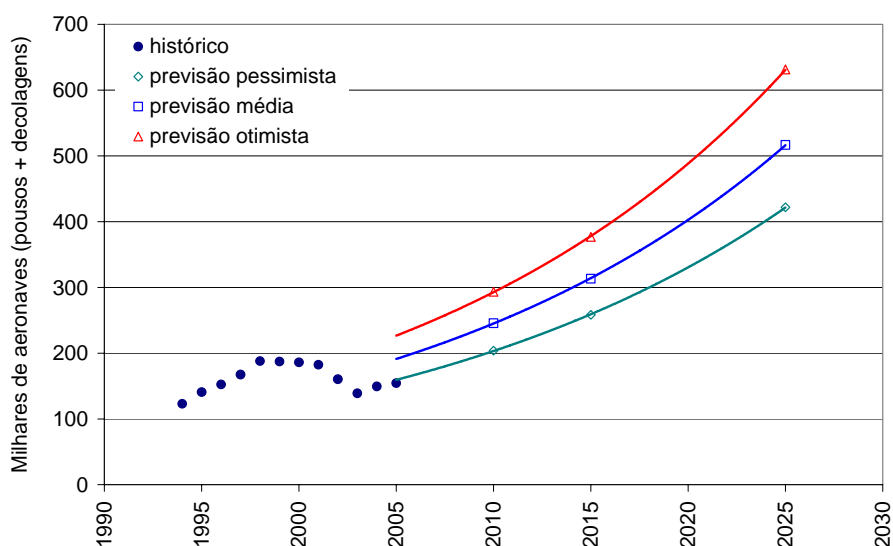


Figura 4.1 - Demanda histórica e prevista do Aeroporto de Guarulhos  
Fonte: IAC (46 e 47)

## **4.1 Plano diretor**

O Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos foi concebido inicialmente, conforme seu primeiro Plano Diretor elaborado pela COPASP, para atender às demandas da área da Grande São Paulo correspondentes aos vôos domésticos, que utilizavam o Aeroporto de Congonhas, e de vôos internacionais com origem e destino ao Cone Sul, servindo também como alternativa ao Aeroporto Internacional de Viracopos - Campinas.

Esse Plano Diretor, cujo horizonte de projeto seria 1998, estimava nesse ano a demanda de passageiros em 28,5 milhões de passageiros/ano, sendo 23,1 milhões em vôos domésticos e 5,4 milhões em vôos internacionais. O movimento anual de aeronaves foi estimado em 313.100 movimentos. A fim de atender esta demanda, o Plano Diretor contemplava a necessidade de pelo menos duas pistas paralelas, capazes de operar independentemente.

Após um estudo de alternativas foi selecionada uma configuração de pistas a ser implantada por fases. Numa primeira fase, o sistema seria composto por duas pistas paralelas e dependentes, separadas por 375 m, capazes de atender à demanda até o ano de 1998, considerando a previsão do aumento do tamanho médio das aeronaves e a evolução dos sistemas de aproximação por instrumentos. Após o ano de 1998, o Plano Diretor previa o acréscimo de uma 3ª pista no setor norte do Aeroporto, atrás dos Terminais de Passageiros, que teria afastamento das outras pistas o suficiente para operar independentemente, somente para operações de pousos.

## 4.2 Infra-estrutura atual

A Figura 4.2, integrante do plano diretor do aeroporto, mostra de forma geral as principais áreas do sítio.

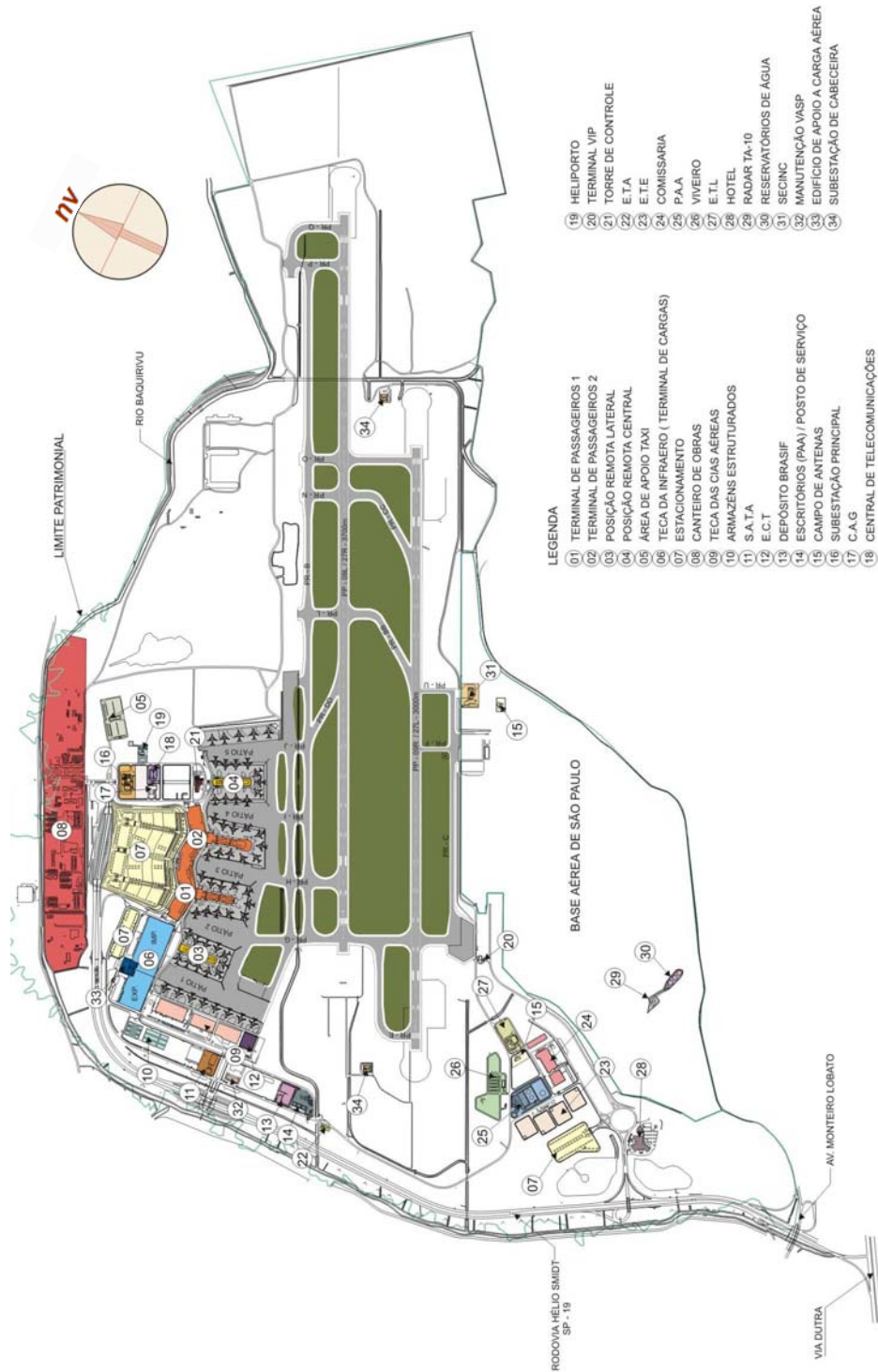


Figura 4.2 - Planta geral do Aeroporto de Guarulhos  
Fonte: INFRAERO

A foto aérea do aeroporto apresentada na Figura 4.3 é bastante ilustrativa, pois nela podem-se identificar todos os subsistemas classificados por Horonjeff and McKelvey (32), sendo eles: acesso-egresso, estacionamento de veículos e vias de circulação interna, terminais de passageiros e de carga, pátios de aeronaves, *taxiways* e pistas.



Figura 4.3 - Visão aérea do Aeroporto de Guarulhos  
Fonte: INFRAERO

#### 4.2.1 Sub-sistema pátio de aeronaves

O atual pátio destinado à aviação regular no aeroporto de Guarulhos tem área total de 367.750 m<sup>2</sup>. A área de pátio adjacente ao terminal de passageiros está dividida basicamente em:

- ✓ Pátios do TPS 1: posições de estacionamento em torno do *finger* do terminal 1, comportando até 12 aeronaves, sendo 7 para Boeing 747-400, 3 para Airbus A340-600 e 2 para Boeing 767-300, servidas por pontes de embarque. As posições são denominadas pela *taxiway* “G”, com numeração par e pela *taxiway* “H”, com numeração ímpar.

- ✓ Pátios do TPS 2: posições de estacionamento em torno do *finger* do terminal 2, comportando 12 aeronaves, sendo 7 para Boeing 747-400, 3 para Airbus A340-600 e 2 para Boeing 767-300, servidas por pontes de embarque. As posições são denominadas pela *taxiway* “H”, com numeração par e pela *taxiway* “I”, com numeração ímpar.
- ✓ Pátios da posição remota lateral: posições remotas que em geral são ocupadas por aeronaves de passageiros nas posições denominadas pela *taxiway* “G”, com numeração ímpar (adjacente ao *finger* do TPS 1), e por aeronaves cargueiras nas posições denominadas pela *taxiway* “F”, com numeração par (adjacente ao TECA). Comportam de 11 a 13 aeronaves, dependendo do porte das mesmas (apenas as três “posições da cabeça” acomodam aeronaves do porte do Boeing 747).
- ✓ Pátios da posição remota central: posições remotas que em geral são ocupadas por aeronaves de passageiros nas posições denominadas pela *taxiway* “I”, com numeração par (adjacente ao *finger* do TPS 2), e nas posições denominadas pela *taxiway* “J”, com numeração ímpar. Comportam de 11 a 13 aeronaves, dependendo do porte das mesmas (apenas as três “posições da cabeça” acomodam aeronaves do porte do Boeing 747).
- ✓ Pátios do terminal de carga: posições remotas destinadas a aeronaves de carga aérea, denominadas pela *taxiway* “F”, com numeração ímpar, e também com numeração par a partir da posição F-12, inclusive. Comportam até 10 aeronaves cargueiras do porte do Boeing 747.
- ✓ Pátio de apoio: posições remotas que em geral são ocupadas por aeronaves de passageiros nas posições denominadas pela *taxiway* “J”, com numeração par (adjacente à posição remota central). Esse pátio é muito versátil, possuindo diversas possibilidades de configuração para acomodação de pequenas aeronaves (do porte



do EMB-120 Brasília), até 4 aeronaves de porte grande e 1 de porte médio.

O aeroporto ainda conta com um pátio VIP e o pátio da Base Aérea de São Paulo, ambos localizados no lado oposto aos TPS, em relação às pistas.

Há também um projeto em andamento para ampliação do pátio na ilha próxima à posição remota lateral, que pretende oferecer 12 posições remotas de aeronaves, dispostas radialmente, sendo 7 para 747-400, 3 para Airbus A340-600 e 2 para 767-300.

A Figura 4.4 ilustra esta breve descrição do pátio de aeronaves.

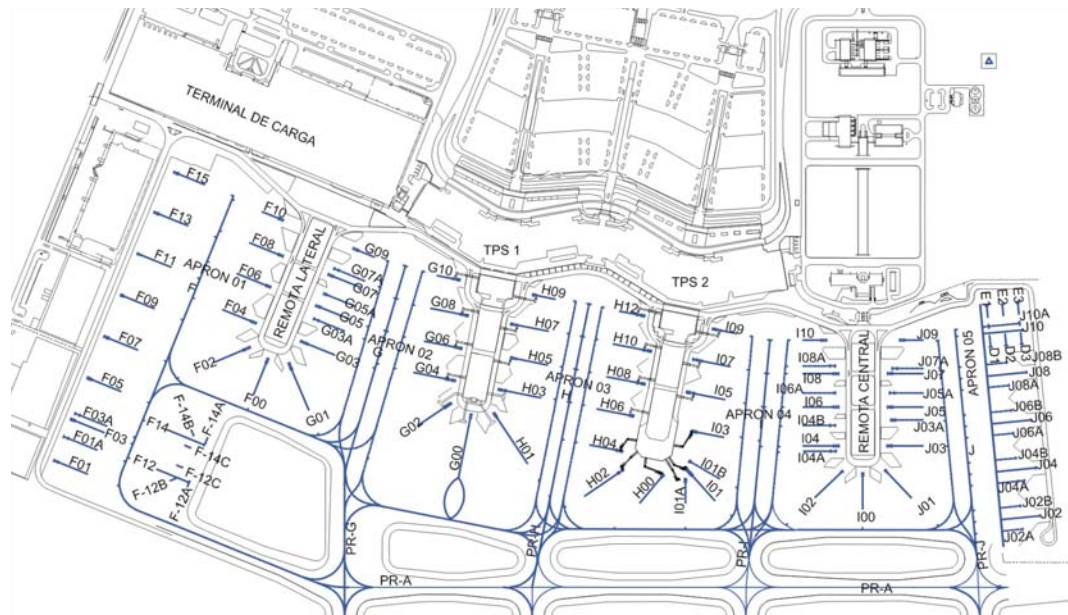


Figura 4.4 - Posições atuais de estacionamento no pátio de aeronaves  
Fonte: INFRAERO

#### 4.2.2 Sub-sistema pistas de táxi

O sistema de pistas de táxi, ou *taxiways*, visa atender a movimentação das aeronaves em evolução entre as posições de estacionamento e a pista de decolagem, entre as próprias posições de

estacionamento, ou entre “rampas” para funções diversas. É composto por *taxiways* adjacentes aos pátios de aeronaves que se prolongam até as pistas de pouso e decolagem ou até *taxiways* paralelas às mesmas.

Em relação às pistas de pouso e decolagem, há também saídas de alta velocidade, ou saídas rápidas, que são elementos que proporcionam às aeronaves livrarem a pista com menor tempo de ocupação.

As pistas de táxi e suas respectivas características são apresentadas na Figura 4.5, extraída do AIP-MAP (13), que representa a configuração do lado aéreo do aeroporto.

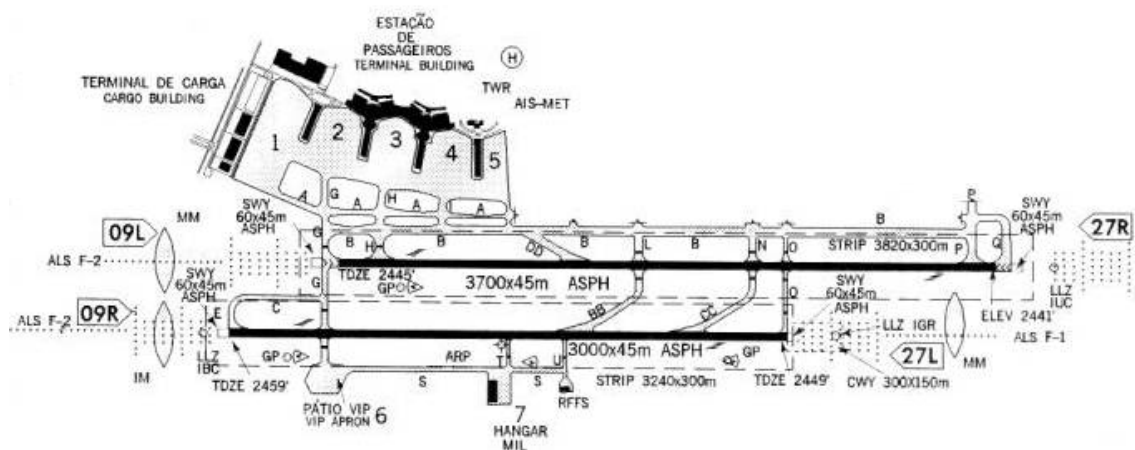


Figura 4.5 - Configuração do lado aéreo do aeroporto de Guarulhos  
Fonte: AIP-MAP (13)

### 4.2.3 Sub-sistema pistas de pouso

O sistema de pistas de pouso e decolagem é composto por duas pistas paralelas entre si, espaçadas por 375,17m (entre eixos), decaladas em 590m entre as cabeceiras 09R/09L e 1.140m entre as cabeceiras 27L/27R.

As principais características da pista 09L/27R são:

- ✓ Comprimento: 3.700m
- ✓ Largura: 45m
- ✓ Pavimento: flexível (concreto asfáltico), com tratamento superficial do pavimento para facilitar a drenagem (*grooving*)
- ✓ Coordenadas das cabeceiras:
  - 09L: 23°26'02" S e 46°28'58"W
  - 27R: 23°25'28" S e 46°26'53"W
- ✓ Área de parada (*stopway*) nas cabeceiras 09L e 27R: 60 x 45m
- ✓ Zona livre de obstáculos (*clearway*) na cabeceira 27L: 300 x 150m

As principais características da pista 09R/27L são:

- ✓ Comprimento: 3.000m
- ✓ Largura: 45m
- ✓ Pavimento: flexível (concreto asfáltico), com tratamento superficial do pavimento para facilitar a drenagem (*grooving*)
- ✓ Coordenadas das cabeceiras
  - 09R: 23°26'18" S e 46°29'12"W.
  - 27L: 23°25'50" S e 46°27'30"W.
- ✓ Área de parada (*stopway*) nas cabeceiras 09R e 27L: 60 x 45m

A Tabela 4.1 mostra as distâncias declaradas e os auxílios visuais das pistas.

Tabela 4.1 - Distâncias declaradas e auxílios<sup>10</sup>

<b>Pista</b>	<b>TORA (m)</b>	<b>ASDA (m)</b>	<b>TODA (m)</b>	<b>LDA (m)</b>	<b>Auxílios</b>	
09R	3.000	3.060	3.300	3.000	PAPI	ALS CAT II
27L	3.000	3.060	3.000	3.000	PAPI	ALS CAT I
09L	3.700	3.760	3.700	3.610	PAPI (2,97°)	ALS CAT II
27R	3.700	3.760	3.700	3.640	PAPI (3,36°)	ALS CAT I

### 4.3 Conclusões do capítulo

Este capítulo apresentou características do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos, oferecendo uma breve visão do seu plano diretor e dos aspectos da atual infra-estrutura do lado aéreo que serão considerados na elaboração do modelo no SIMMOD, descrito no capítulo seguinte.

---

<sup>10</sup> TORA: *take-off run available* (corrida de decolagem disponível)

ASDA: *accelerate-stop distance available* (distância de aceleração e parada disponível)

TODA: *take-off distance available* (distância de decolagem disponível)

LDA: *landing distance available* (distância de pouso disponível)

## 5. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO AEROPORTO DE GUARULHOS

A utilização do SIMMOD depende de um pacote computacional para construção da rede de *links* e nós, para preparação dos dados de entrada, edição de parâmetros para corrida das simulações, elaboração de relatórios de resultados, etc. Neste trabalho foi utilizado o Visual SIMMOD da AirportTools, que integra um conjunto de ferramentas projetadas para trabalhar com o “motor” do SIMMOD, versão da FAA.

### 5.1 Modelo base (*baseline*)

A modelagem do aeroporto de Guarulhos no SIMMOD iniciou-se com a construção de um cenário que representa a situação atual do aeroporto, denominado *baseline*, a partir do qual todos os demais terão origem. Esse cenário é o mais importante no processo de modelagem e simulação, pois visa representar a realidade do aeroporto na sua configuração atual quanto aos aspectos físicos, de tráfego e regras. Esse cenário precisa ser devidamente validado para que as demais etapas do estudo tenham prosseguimento.

#### *Cenário GRU\_B*

- ✓ Configuração física: *do nothing*, ou seja, será considerada a mesma infra-estrutura atual.
- ✓ Dados de demanda: aumento da demanda atual em intervalos de 10% até atingir o limite da capacidade.

### 5.1.1 Configuração física

O layout do aeroporto foi importado para o software e a estrutura de *links* e nós do modelo foi criada sobre esta base. A Figura 5.1 mostra essa representação física do modelo, sobre a qual as aeronaves realizarão seus movimentos.

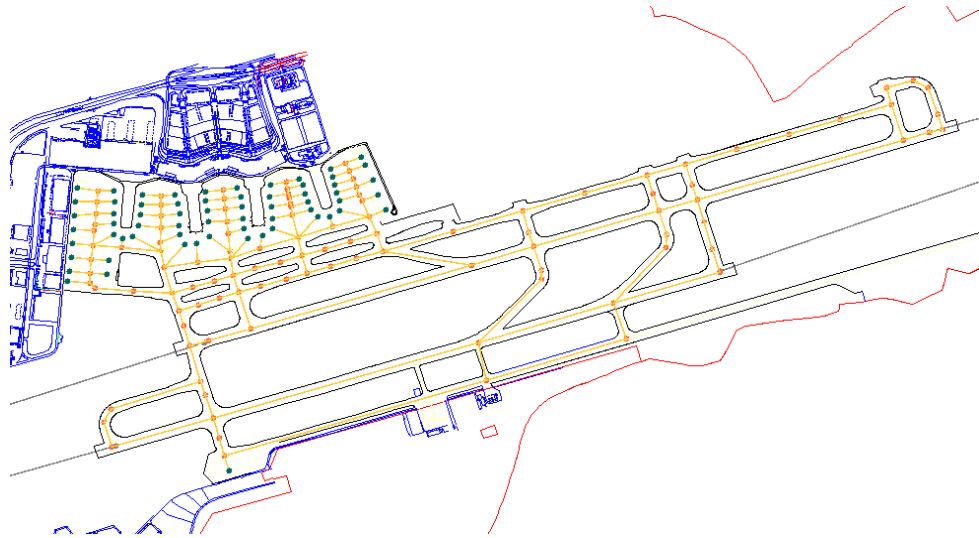


Figura 5.1 - Planta utilizada no SIMMOD para o modelo base

### 5.1.2 Dados de demanda

A escolha de uma base de dados de demanda para carregar o modelo é sempre uma tarefa árdua, exigindo a representatividade do perfil de demanda do aeroporto. Autores divergem quanto aos critérios para escolha do dia a ser considerado conveniente para realizar as análises desejadas.

Quanto à fonte de dados de vôos, Ribeiro (58) apontou para a maior acurácia dos registros da torre quanto ao instante de chegada e saída das aeronaves no aeroporto. Também mostrou a conveniência de

comparar os dados com o HOTRAN, disponibilizado pelo Comando da Aeronáutica (14).

Santana (60), no que diz respeito ao dia representativo para inserção de dados de demanda no modelo, identificou o mês com maior número de operações de aeronaves no histórico disponível e utilizou o dia pico desse mês. Esta movimentação foi então comparada com a presente, a fim de validar esses dados.

Barros (9) também realiza sua análise para a movimentação de um dia de operação do aeroporto, considerando a programação de vôos de um dia de julho de 1992 porque esse mês de é o de maior movimento de aeronaves no AISP/GRU. A disponibilidade de dados foi o que o levou a utilizar a programação de 1992 ao invés da de 1993.

Hupalo (33), na sua análise da Área de Controle Terminal São Paulo (TMA-SP), justifica a escolha de um determinado dia pela observação de um número de movimentos acima do normal, registrados pelo radar. Pese ainda a escolha desta mesma base de dados num estudo semelhante, realizado por uma empresa de consultoria norte americana, para o DAC.

No presente estudo, escolheu-se a movimentação de aeronaves no aeroporto no dia 13 de janeiro de 2001, registrada pela torre de controle, por algumas razões consideradas convenientes. Esse dia apresentou uma movimentação intensa de aeronaves, registrando um fechamento de 578 movimentos/dia e 48 movimentos na hora pico. Os dados fornecidos pela Gerência de Navegação Aérea da Infraero são apresentados no “Anexo A - Dados de pista, para entrada no modelo base”, para entrada no modelo base.

A Figura 5.2 mostra o perfil dessa demanda.

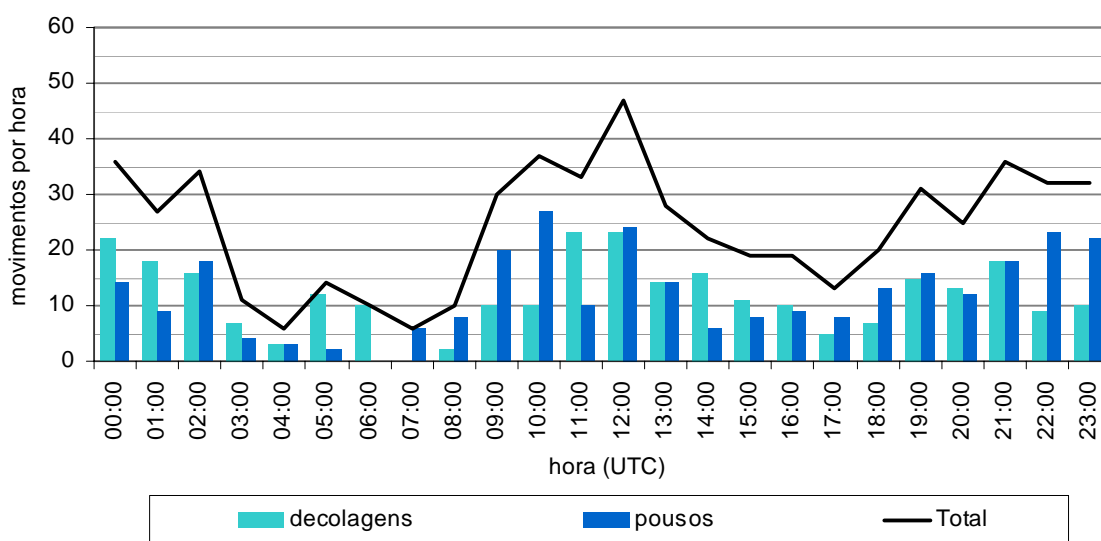


Figura 5.2 - Perfil da demanda no dia selecionado

As razões de conveniência foram: em primeiro lugar a movimentação intensa; em segundo lugar a existência de um estudo semelhante a este com a mesma base de dados, desenvolvido no LPT - Laboratório de Planejamento de Transportes (PTR/EPUSP), porém realizado com a ferramenta ARENA, proporcionando a oportunidade de comparação de resultados; por último, mas não menos importante, foi possível levantar dados suficientes desse dia para realizar as análises.

A Tabela 5.1, elaborada a partir dos dados fornecidos pela Torre de Controle (apresentados no Anexo A) mostra a incidência de uso de pista, por regra de voo e por tipo de movimento. A distribuição dos movimentos por regra de voo e uso de pista L ou R nesse banco de dados parece apresentar inconsistência, fato admitido pela pessoa responsável pela recuperação dos registros da Torre.

A regra é indicada por dois valores, sendo o primeiro a condição da aeronave e o segundo a condição do campo (I = instrumento e V = visual). Como esse indicador não foi utilizado na análise, estas informações foram desconsideradas. O mesmo ocorreu com o uso de pista L ou R, onde no lugar de utilizar as informações do banco de dados, foi assumida a estratégia vigente de operação, onde a maior



pista é utilizada quase sempre para decolagens, enquanto a menor para pousos.

Quanto ao uso das cabeceiras, pode-se notar que a cabeceira 09 foi utilizada em quase 80% do tempo. Uma conversa com os controladores de tráfego aéreo confirmaram esse valor.

Tabela 5.1 - Uso de pista por movimento e regra de vôo

<b>regra</b>	<b>cabeceira</b>	<b>ARR</b>	<b>DEP</b>	<b>TOTAL</b>	<b>%</b>
<b>II</b>	<b>09</b>	118	85	203	35,1%
	<b>27</b>	63	55	118	20,4%
<b>IV</b>	<b>09</b>	101	135	236	40,8%
	<b>27</b>	0	0	0	0,0%
<b>VV</b>	<b>09</b>	3	5	8	1,4%
	<b>27</b>	0	0	0	0,0%
<b>VI</b>	<b>09</b>	7	3	10	1,7%
	<b>27</b>	2	1	3	0,5%
<b>Movimentos</b>		<b>294</b>	<b>284</b>	<b>578</b>	<b>100%</b>

A Tabela 5.2 mostra os tipos de aeronave que operaram no dia escolhido e como estas foram agrupadas para entrada de dados no modelo, segundo classes e suas respectivas composições.

Tabela 5.2 - Classes de aeronaves e composição de frota

<b>Classe</b>	<b>Tipo de aeronave</b>	<b>Valor %</b>
GA	Aeronaves pequenas, monomotor/bimotor (prop) pesando 12.500 libras (ex. LEAR35, GIV, C208, C650, BEC58P, CNA500)	2,4%
SML	Aeronaves pequenas, monomotor/bimotor (prop) pesando de 12.500 a 100.000 libras (ex. E120 e ATR42)	8,5%
LRG	Aeronaves grandes pesando de 100.000 a 300.000 libras (ex. B707, B727, B737, A319, A320, A321, FK100)	63,3%
HVY	Aeronaves muito grandes pesando acima de 300.000 libras (ex. B767, B747, B777, DC10, MD11, A300, A330)	25,8%

### 5.1.3 Regras de tráfego

Foram realizadas diversas visitas ao aeroporto e conversas com o pessoal operacional, principalmente na torre de controle. Nessas conversas puderam-se apreender vários aspectos relevantes na operação que foram fundamentais para a inserção de procedimentos e restrições no modelo. Entre eles, incluem-se velocidades de táxi, prioridades nas interseções e convergências de trajetórias, utilização das *taxiways*, gerenciamento das filas, atribuição de aeronaves a pátios ou *gates*, gerenciamento do cruzamento de pistas, entre outros.

Parte fundamental das regras de tráfego é a separação entre aeronaves nas operações de pouso e decolagem. A capacidade do sistema de pistas é função direta dos critérios de separação estabelecidos e, por isso, mereceram maior atenção dentre os dados de entrada do modelo. Apesar de haver critérios bem definidos pelos órgãos de controle de tráfego aéreo, realizou-se uma análise dos dados reais de operação do aeroporto, confrontando-os com envelopes teóricos de capacidade.

Utilizando como referência os dados de movimentação do mês inteiro de janeiro de 2001, do qual foi escolhido o dia 13 para a simulação completa no SIMMOD conforme justificado anteriormente, os pares horários de decolagem e pouso (DEP, ARR) foram plotados num plano cartesiano. A soma das coordenadas de cada ponto representa o número total de movimentos em uma hora de operação real do aeroporto nesse período. Neste mês, o máximo de movimentos diários foi de 590 pousos e decolagens, no dia 23.

A fim de confrontar as operações reais com capacidades teóricas do sistema de pistas, foram desenhados envelopes de capacidade para conjuntos de critérios de separação. Basicamente, as variáveis

consideradas como critérios de separação são: a separação, em milhas náuticas, entre duas aeronaves na reta final de aproximação (APP) e a separação, em segundos, entre duas aeronaves decolando (DEP). Em todos os casos optou-se por definir que a distância de 4NM entre uma aeronave chegando e a cabeceira é suficiente para a liberação de uma decolagem. Esses dados valem para regras de voo por instrumentos.

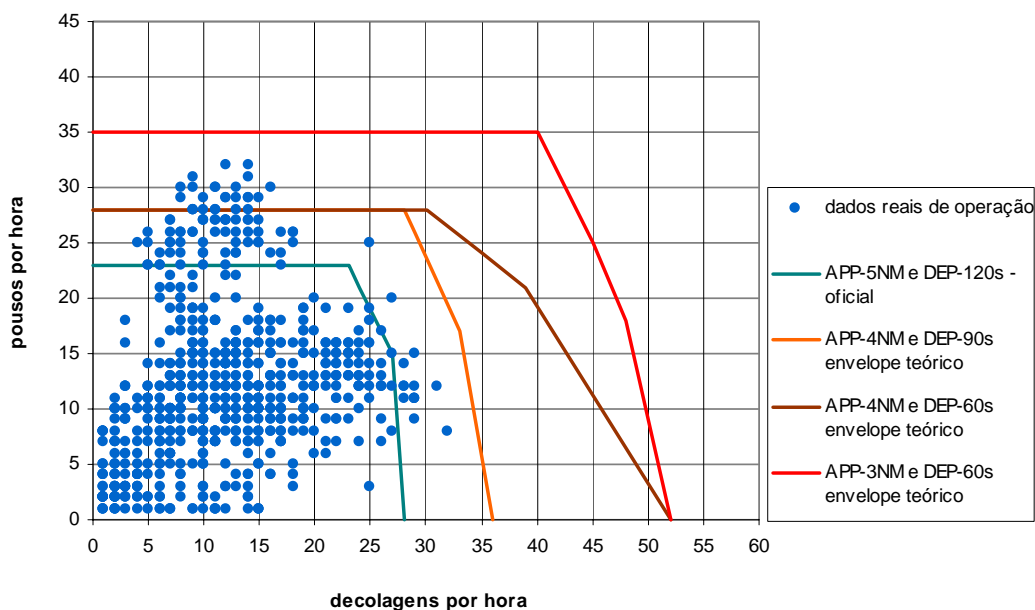


Figura 5.3 - Operação real e envelopes teóricos de capacidade - SBGR

Esses envelopes teóricos de capacidade do sistema de pistas foram construídos com base num modelo de capacidade de aeroportos desenvolvido pela FAA, denominado ACM - Airfield Capacity Model. O ACM vem sendo utilizado há mais de 25 anos pela FAA para estimativas preliminares de capacidade horária de aeroportos. Trata-se de um modelo computacional de resultados expeditos, com processamento analítico e estocástico. O modelo considera somente as pistas e a trajetória final de aproximação.

A separação de 375m entre eixos das pistas do Aeroporto de Guarulhos não permite operações simultâneas. A estratégia de operação predominante, em situações normais, utiliza a pista 09L/27R para decolagens, por ser mais extensa, e a pista 09R/27L para pousos. A

utilização das pistas 09 é mais vantajosa, aproveitando a decalagem de 590m entre cabeceiras. Essa forma de proceder permite o ingresso de uma aeronave para decolagem na pista, enquanto é realizado um pouso na outra. A decolagem pode ser liberada quando a outra aeronave confirmar o pouso, quer dizer, rejeitar a hipótese de arremetida.

A construção dos envelopes permitiu verificar que em muitos casos a operação real supera o capacidade teórica com os critérios oficiais. Isso pode ocorrer devido a alguns fatores:

- ✓ Variação estatística normal: a capacidade é definida como a média de operações na hora pico. Bons controladores tentam otimizar as operações, fazendo melhor que a “média”.
- ✓ As regras de ATC não foram modeladas corretamente: os procedimentos podem ser aplicados de forma mais flexível que o oficial.
- ✓ Parâmetros diferentes de entrada: por exemplo, podem ocorrer diferentes composições de frota para determinadas horas.

O que interessa neste momento é escolher um conjunto de critérios como dados de entrada na simulação, que possam representar melhor os procedimentos adotados pelos controladores. Assim sendo, optou-se por aqueles que, utilizados no modelo de simulação do SIMMOD, proporcionaram resultados mais consistentes com os envelopes que melhor cobriram os dados de operação real.

A alocação das aeronaves às posições de pátio no modelo foi realizada por meio de distribuições de probabilidade para cada empresa aérea e categoria de aeronave. Convém dizer que o problema de alocação de aeronaves em posições de pátio consiste num tarefa muito mais complexa e digna de aprofundamento, dadas as condições dinâmicas do processo.

## 5.2 Estudo de alternativas

Após a validação do modelo base (a ser detalhado no Capítulo 6), o interesse passa a ser testar novos cenários, alternativos à situação atual. Barros (9) avaliou, basicamente, três alterações: a construção da pista de rolamento PR-A, a entrada em operação da área de hangares e a operação do aeroporto em sua configuração final prevista no plano diretor original. Santana (60) analisou as hipóteses de adição da terceira pista de pousos e decolagens e o terceiro terminal de passageiros, conjugando-os com diferentes estratégias operacionais.

O presente estudo pretende verificar a sensibilidade da ferramenta SIMMOD, avaliando intervenções menores na infraestrutura, propostas pela INFRAERO, e confrontá-las com diversos níveis de demanda previstos para o futuro. A Figura 5.4 mostra essas intervenções:

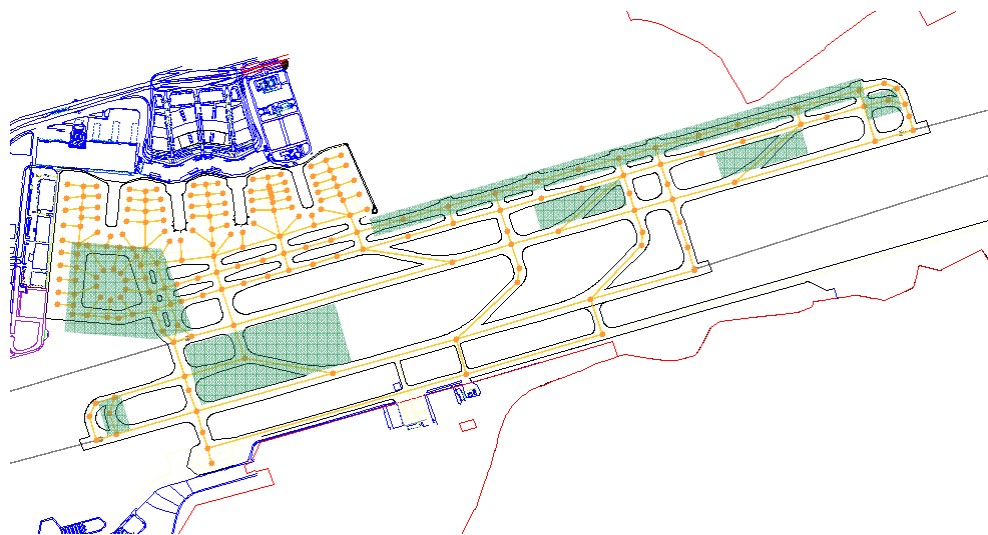


Figura 5.4 - Intervenções na infra-estrutura, testadas nas alternativas

Inicialmente foi modelado um cenário de alternativas contendo todas as melhorias propostas na Figura 5.4.

*Cenário GRU\_PRA*: todas as melhorias propostas

- ✓ Configuração física: implantação de todas as melhorias (pátio de permanência remoto, duplicação da pista de rolamento PR-G<sup>11</sup>, implantação da pista de rolamento PR-F, das saídas de velocidade PR-EE, PR-FF, pista de rolamento PR-R, complementação da pista de rolamento PR-A e prolongamento da PR-B no trecho entre PR-P e PR-Q).
- ✓ Dados de demanda: aumento da demanda atual em intervalos de 10% até atingir a capacidade prática.

Após a realização das análises de sensibilidade, poderia ser importante uma avaliação individual das melhorias, por meio de complementação do estudo com os seguintes cenários:

*Cenário GRU\_ALT1*

- ✓ Configuração física: duplicação da pista de rolamento PR-G e implantação da pista de rolamento PR-F.
- ✓ Dados de demanda: aumento da demanda atual em intervalos de 10% até atingir a capacidade prática.

*Cenário GRU\_ALT2*

- ✓ Configuração física: implantação das saídas de velocidade PR-EE, PR-FF e pista de rolamento PR-R.
- ✓ Dados de demanda: aumento da demanda atual em intervalos de 10% até atingir a capacidade prática

---

<sup>11</sup> Essa nomenclatura encontra-se na Figura 4.5 (pág. 65).

### *Cenário GRU\_ALT3*

- ✓ Configuração física: complementação da pista de rolamento PR-A e prolongamento da PR-B (trecho entre PR-P e PR-Q).
- ✓ Dados de demanda: aumento da demanda atual em intervalos de 10% até atingir a capacidade prática.

#### **5.2.1 Modelagem do Cenário GRU\_PRA**

O Cenário GRU\_PRA representa todas as intervenções em infraestrutura propostas na Figura 5.4 (pág. 76). Os dados de demanda são os mesmos utilizados no modelo base. As principais mudanças de procedimentos nesse cenário foram:

- ✓ Fila de espera para decolagem: a duplicação da pista de rolamento “G” permitiu a formação de fila dupla para decolagem pela cabeceira 09L, o que demandou novas regras para o ponto de espera e ingresso na pista.
- ✓ Taxiamento: a duplicação da pista de rolamento “G” também permitiu o estabelecimento de “mão” e “contramão” para o fluxo de entrada e saída do pátio no alinhamento do *Apron 02*. O mesmo ocorreu com as pistas de rolamento “A” e “B”, a primeira operando no sentido da cabeceira 27 para o pátio e a segundo no sentido contrário.
- ✓ Alocação de posições de pátio: a introdução de novas posições remotas num pátio em configuração circular demandou a formulação de novas regras para a sua utilização.

Será visto no capítulo seguinte que, após a realização das análises de sensibilidade do cenário GRU\_PRA e subsequente

comparação com o modelo base, não houve necessidade de avaliar individualmente as melhorias propostas para a infra-estrutura. Portanto, os cenários GRU\_ALT1, GRU\_ALT2 e GRU\_ALT3 foram descartados.

### **5.3 Conclusões do capítulo**

Neste capítulo foi mostrada a etapa de modelagem no SIMMOD da *baseline* e dos cenários de alternativas do Aeroporto de Guarulhos, conforme proposto na metodologia. Os principais dados de entrada foram explicitados, tais como a configuração física, os dados de demanda e as regras a serem impostas ao modelo. No capítulo seguinte serão analisados os resultados das simulações.



## **6. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO**

Seguindo a metodologia proposta, este capítulo apresenta a verificação e validação do modelo base, ou seja, a confirmação de que o modelo é confiável e representa o sistema real. Em seguida, foram realizadas comparações entre esta *baseline* e os cenários de alternativas. Aspectos referentes à confiança estatística dos resultados são apresentados no Apêndice B - Análise estatística dos resultados.

### **6.1 Verificação e validação do modelo base**

A verificação e validação do modelo base foi a confirmação necessária para prosseguimento no estudo, já que o modelo é considerado confiável e representa o sistema real. O primeiro passo foi observar a animação gráfica da simulação, verificando a movimentação geral das aeronaves, a coerência com as regras de tráfego modeladas, existência de conflitos, etc.

Após essa verificação gráfica inicial, passou-se a realizar uma análise quantitativa dos resultados do modelo, com a comparação das operações reais realizadas no dia escolhido, durante um período de 24 horas ininterruptas, com os valores obtidos pelo modelo base. A validação do modelo foi confirmada sob três aspectos: sistema de pistas, pátio de aeronaves e tempos de percurso/atrasos.

#### **6.1.1 Verificação e validação no sistema de pistas**

A Figura 6.1 mostra hora-a-hora a evolução dos movimentos de aeronaves, contabilizados nas pistas, separados em pousos (ARR) e

decolagens (DEP), bem como o total de operações (ARR + DEP). Os resultados obtidos pela simulação ficaram muito próximos do observado na realidade.

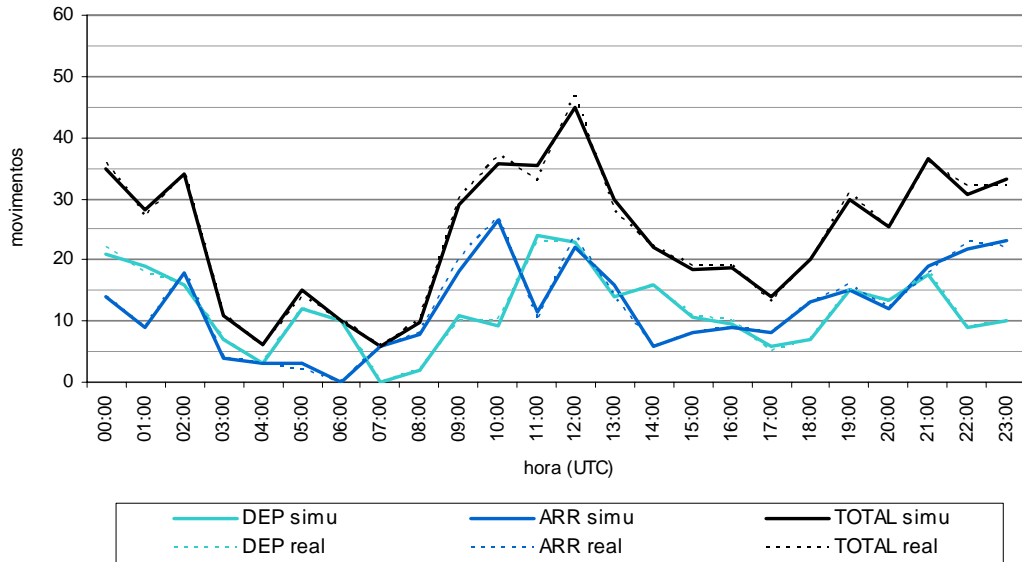


Figura 6.1 - Comparação da movimentação na pista - operações por hora

Para evidenciar as pequenas diferenças entre a movimentação real e a simulada, foi elaborado o gráfico representado na Figura 6.2, contabilizando-as hora a hora. Quando o valor da diferença de operações é positivo significa que a simulação não atingiu o valor esperado (real), enquanto diferenças negativas indicam que a simulação superou o valor esperado.

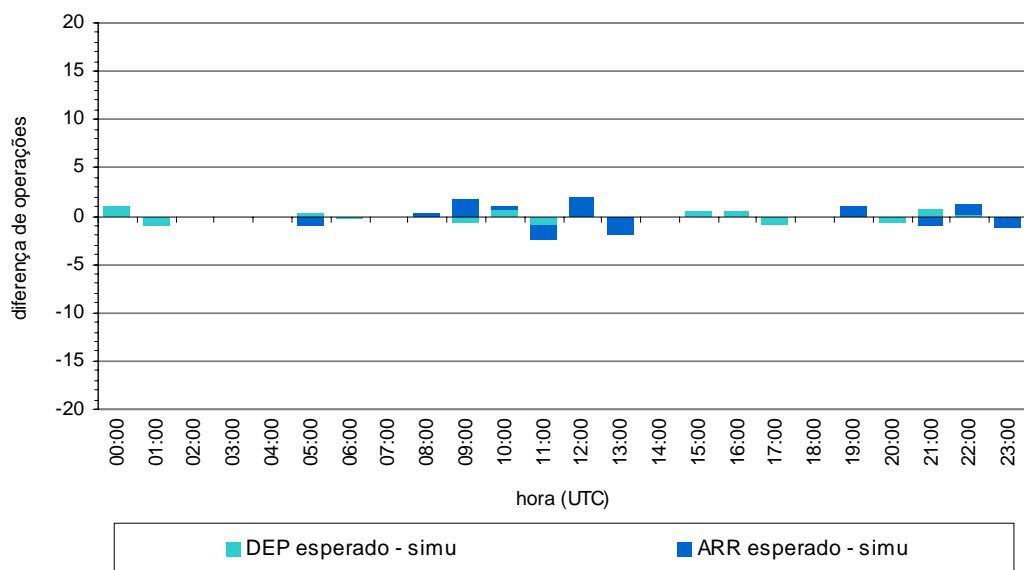


Figura 6.2 - Diferenças entre real e simulado - hora-a-hora

Merece especial atenção o fato de que as diferenças não são necessariamente números inteiros. Isso se deve à natureza estocástica do modelo, que oferece valores diferentes para cada iteração. Portanto, os resultados apresentados como as diferenças entre as operações reais e simuladas consideram a média de movimentos de 10 iterações do modelo.

A Figura 6.3 mostra diferenças acumuladas entre movimentos reais e simulados, a partir dos mesmos dados representados na Figura 6.1. Esse gráfico ajuda a entender se o modelo está conseguindo recuperar nos intervalos horários posteriores o déficit ou superávit de operações em relação aos dados reais. Assim fica demonstrado que o comportamento do modelo é o de compensar as diferenças no decorrer do tempo, dando confiança à análise que se pretende realizar.

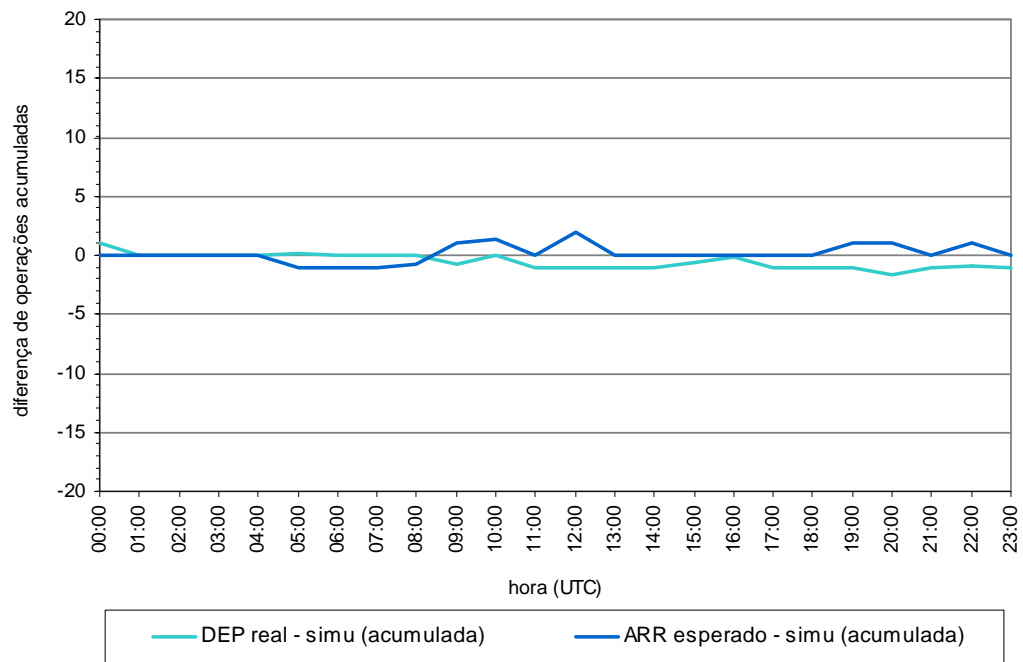


Figura 6.3 - Diferenças acumuladas entre real e simulado - hora-a-hora

Visando ao refinamento desses resultados foi elaborada uma nova análise, contabilizando os movimentos a cada 15 minutos.

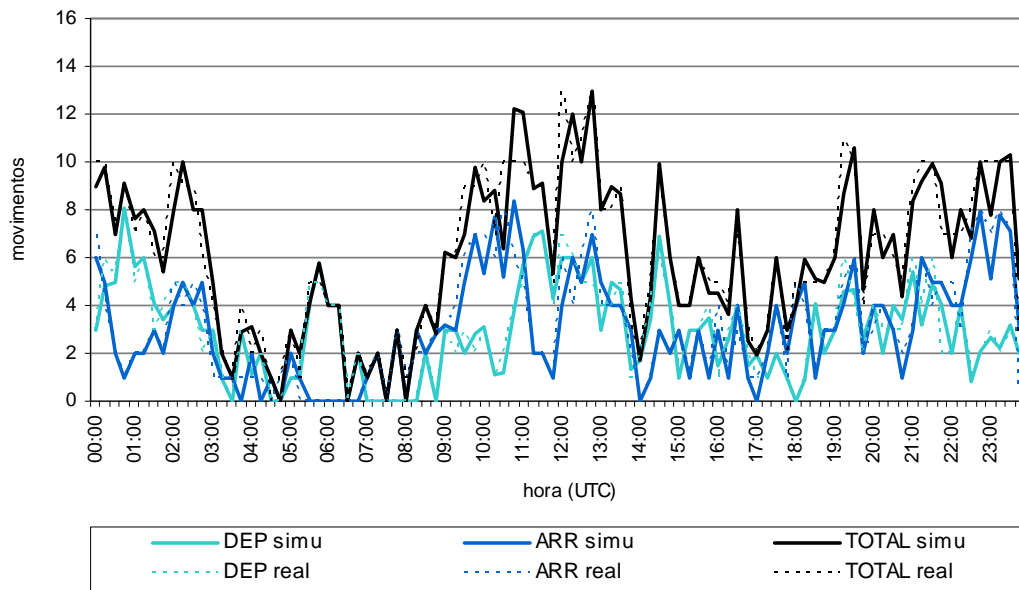


Figura 6.4 - Comparação demanda real e simulada - bloco de 15min.

A Figura 6.4 mostra a evolução dos movimentos de aeronaves, contabilizados nas pistas, em blocos de 15 minutos. O refinamento evidencia que há pequenas discrepâncias entre o simulado e o real.

Para uma melhor visualização desses resultados, os pousos e decolagens foram indicados em gráficos separados, a seguir apresentados.

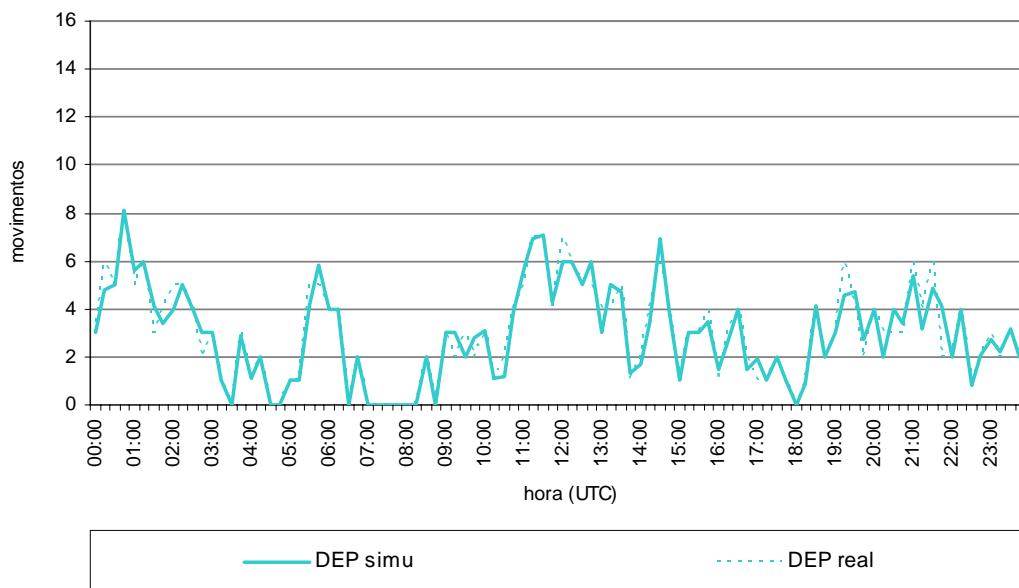


Figura 6.5 - Comparação - saídas por bloco de 15min.

O critério de separação entre decolagens no aeroporto, segundo informações levantadas na torre de controle, é de 120 segundos, podendo ser diminuído dependendo da seqüência de aeronaves. O tempo adotado no modelo foi de 90 segundos para todas as categorias de aeronave, pelas razões já explicitadas no item 0. Facilmente chega-se a um limite para esses movimentos num bloco de 15 minutos, que na melhor das hipóteses, quando as saídas não dependem da separação infringida pelas chegadas na outra pista, é de 10 decolagens. A Figura 6.5 mostrando o resultado da aplicação do critério no modelo.

O critério de separação entre pousos não é definido por tempo, mas sim por distância. A distância entre aeronaves na reta de aproximação final, que é alimentada pelo Controle de Aproximação da Área Terminal São Paulo (APP-SP), é de 5 milhas náuticas, independentemente do tipo de aeronave. Nesse caso, a determinação da capacidade não é imediata, pois há uma composição de aeronaves com diferentes velocidades e seqüência aleatória.

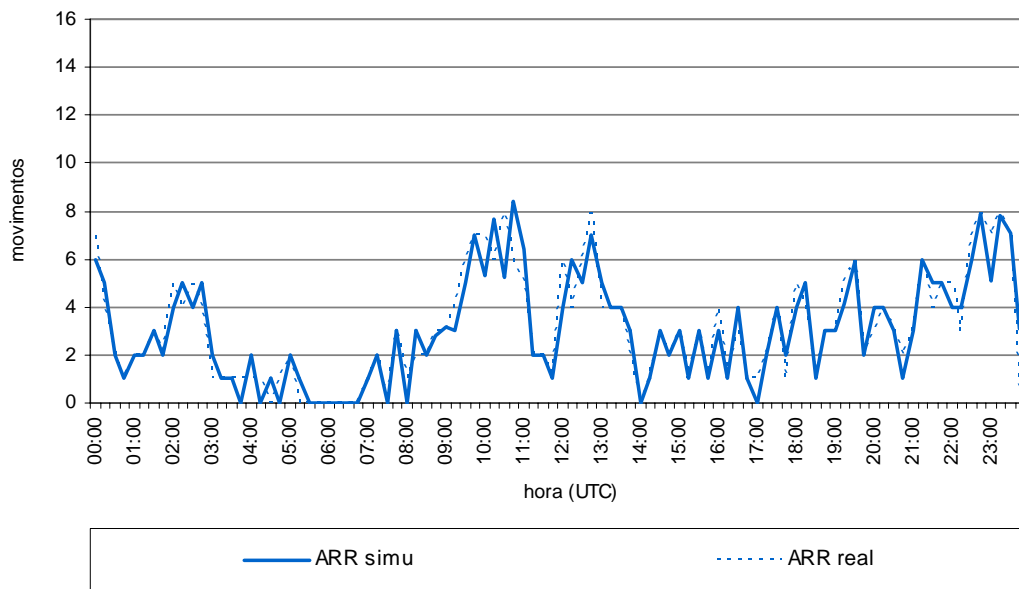


Figura 6.6 - Comparação - chegadas por bloco de 15min.

Pode-se fazer um cálculo expedito da capacidade de pousos, considerando a composição de aeronaves operando no aeroporto, chegando-se a um tempo médio ponderado de 1 minuto e 55 segundos

entre aeronaves. Portanto, num bloco de 15 minutos conseguiriam pousar em torno de 8 aeronaves. A Figura 6.6 mostra o resultado da aplicação do critério de separação no modelo.

A Figura 6.7 é semelhante à Figura 6.2, com o refinamento em intervalos de 15 minutos.

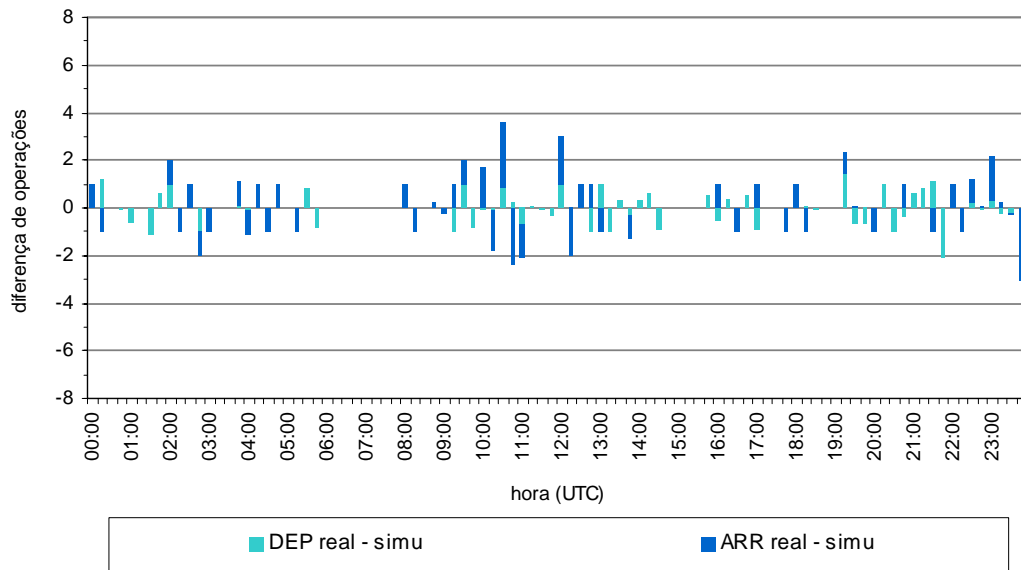


Figura 6.7 - Diferenças entre real e simulado - bloco de 15min.

A Figura 6.8 mostra o acúmulo das diferenças entre movimentos reais e simulados, a partir dos mesmos dados representados na Figura 6.5 e Figura 6.6. Com o refinamento do intervalo de agregação dos resultados observa-se que o modelo tem certa dificuldade de compensar as diferenças no decorrer do tempo. Porém é preciso admitir que, ao se realizar comparações com intervalos de 15 minutos, operações reais ocorridas nos extremos de um intervalo podem facilmente entrar nos intervalos adjacentes na simulação.

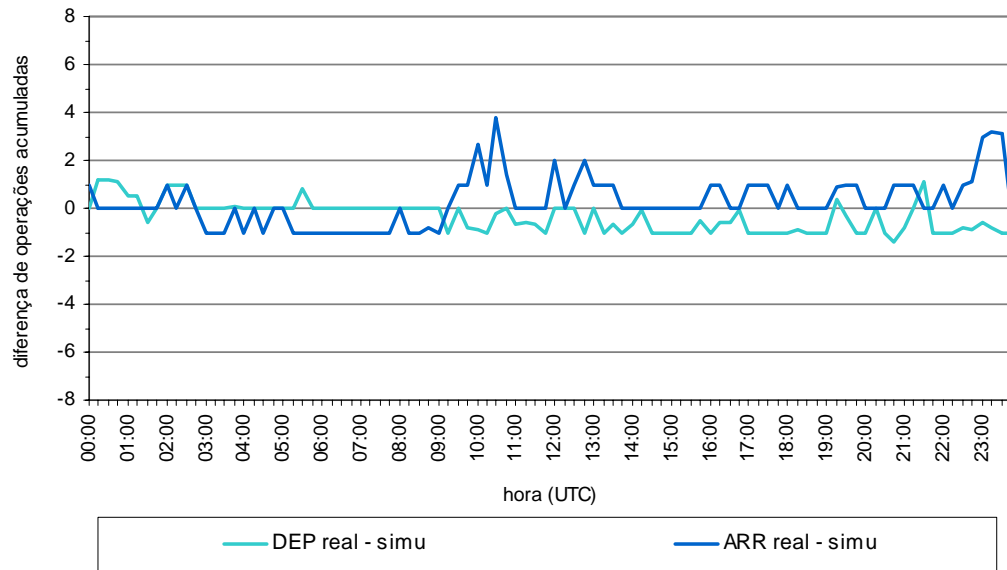


Figura 6.8 - Diferenças acumuladas entre real e simulado - bloco de 15min.

Ainda confrontando as operações reais com as simuladas, a dispersão (X, Y) dos pares (decolagem, pouso) da Figura 6.9 mostraram que os critérios de separação utilizados na simulação, baseados em envelopes de capacidade teórica do sistema de pistas, representaram adequadamente a realidade. Foi possível, portanto, embutir na modelagem a variação estatística normal e a flexibilização dos critérios aplicados pelos órgãos de ATC.

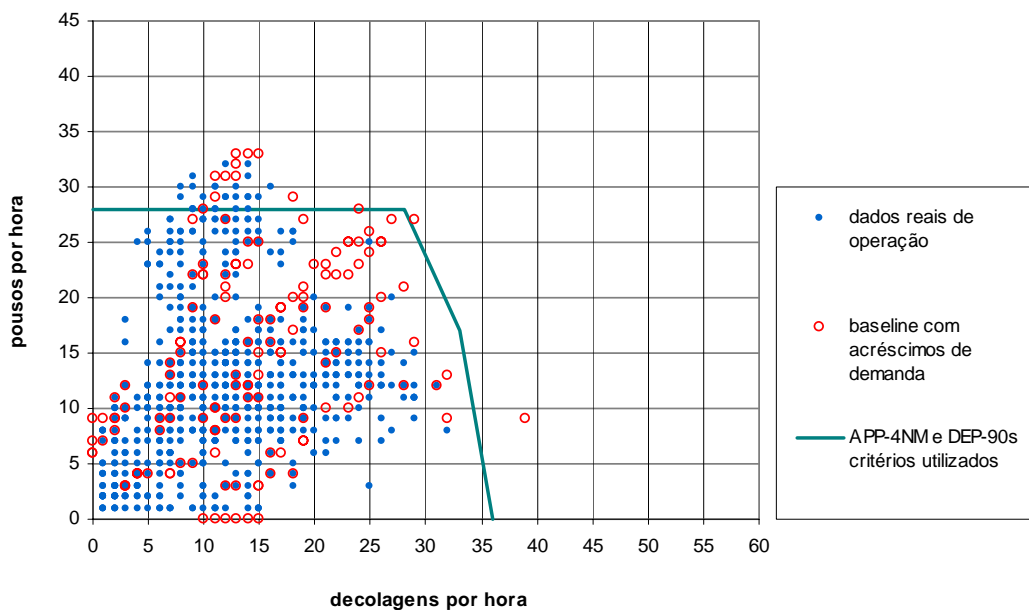


Figura 6.9 - Operação real, simulada e envelope de capacidade - SBGR

### 6.1.2 Verificação e validação no pátio de aeronaves

Complementando a validação do modelo no sistema de pistas, procurou-se uma forma de verificar os resultados no pátio de aeronaves, a fim de aumentar a abrangência das possíveis análises futuras utilizando o modelo proposto.

Estabeleceu-se como critério para validação a taxa de ocupação média das posições de pátio, definida como o tempo em que a posição permaneceu ocupada dividido pelo tempo total do período analisado (24 horas). O aeroporto possui um plano para alocação de aeronaves às posições porém, como esse procedimento é dinâmico, optou-se por agrupar as posições no modelo da seguinte forma:

- ✓ Posições de carga: utilizadas mais frequentemente por aeronaves cargueiras, considerando as posições do *apron* 1, exceto da remota lateral<sup>12</sup>.
- ✓ Remota lateral: posições localizadas na remota lateral. São utilizadas por aeronaves de companhias aéreas com instalações no TPS 1 e que não tenham conseguido posições dotadas de ponte de embarque nesse terminal ou por aeronaves que, após o desembarque, necessitem de permanência no aeroporto.
- ✓ TPS1 (dom.): posições do TPS 1 localizadas no *apron* 3, via taxiway “H”, que são predominantemente utilizadas por aeronaves em vôos domésticos.
- ✓ TPS1 (intl.): posições do TPS 1 localizadas no *apron* 2, via taxiway “G”, que são predominantemente utilizadas por aeronaves em vôos internacionais.

---

<sup>12</sup> Essa nomenclatura encontra-se na Figura 4.4 (pág. 64).



- ✓ TPS2 (dom.): posições do TPS 2 localizadas no *apron* 3, via taxiway “H”, que são predominantemente utilizadas por aeronaves em vôos domésticos.
- ✓ TPS2 (intl.): posições do TPS 1 localizadas no *apron* 4, via taxiway “I”, que são predominantemente utilizadas por aeronaves em vôos internacionais.
- ✓ Remota central: posições localizadas na remota central. São utilizadas por aeronaves de companhias aéreas com instalações no TPS 2 e que não tenham conseguido posições dotadas de ponte de embarque nesse terminal ou por aeronaves que, após o desembarque, necessitem de permanência no aeroporto.
- ✓ Pátio apoio: posições de pátio pouco utilizadas por aeronaves que estejam efetivamente operando. São mais utilizadas por aeronaves com longa permanência.

As considerações acima não refletem exatamente a operação real do aeroporto durante todo o período simulado, uma vez que as posições dos TPS 1 e 2 são flexíveis, podendo-se aumentar ou diminuir o número de *gates* domésticos e internacionais de acordo com a demanda. O procedimento é realizado com o deslocamento de uma porta posicionada na cabeça dos *fingers*, abrindo passagem para a parte interna ou externa do mesmo.

Contudo, esse agrupamento fornece uma base para comparação de taxas de ocupação média das posições como pode ser observado na Figura 6.10.

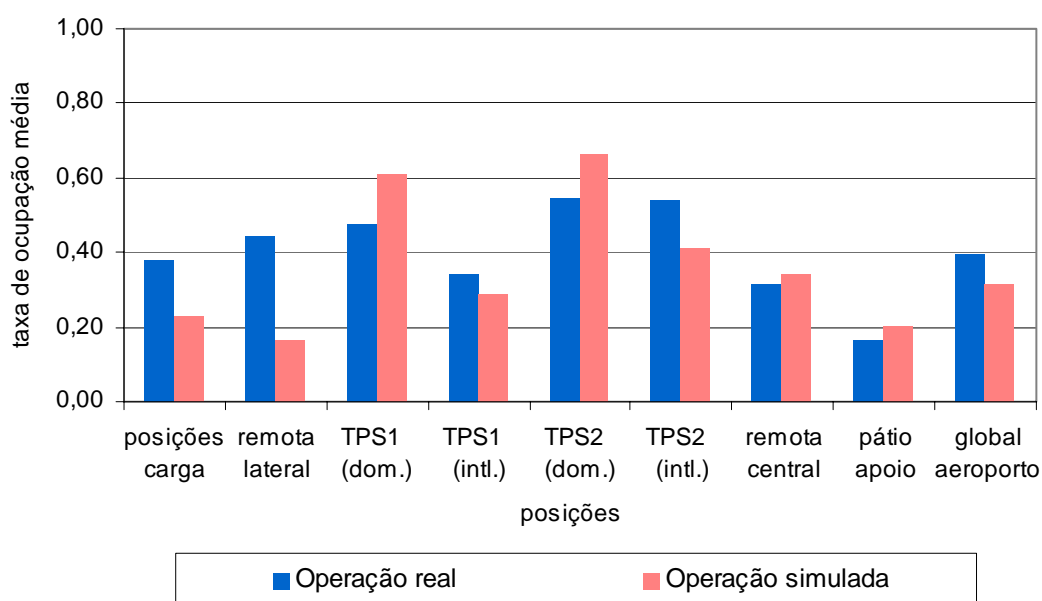


Figura 6.10 - Comparação da ocupação das posições de páteo

Os resultados obtidos pela simulação afastaram-se razoavelmente da realidade da operação do aeroporto no dia selecionado por algumas razões:

- ✓ Não foi possível considerar na simulação um procedimento muito usual no Aeroporto de Guarulhos, que consiste no tratoramento de aeronaves de posições com ponte de embarque (TPS 1 e 2) para posições remotas, principalmente a lateral, e vice-versa. Esse procedimento apresenta vantagens tanto para a INFRAERO, que maximiza o aproveitamento das pontes de embarque quando aeronaves terão um tempo maior de permanência, quanto para as empresas aéreas, que pagam taxas menores nas posições remotas. Para amenizar esse problema, foi aumentado o tempo de *turnaround* das aeronaves para que não fossem ejetadas precocemente da simulação. Tudo isso explica o déficit da taxa de ocupação média da remota lateral e o superávit do TPS 1 na simulação.
- ✓ O relativo desbalanceamento entre as posições domésticas e internacionais nos TPS 1 e 2 deve-se à limitação do modelo, já referida, de não considerar a flexibilidade da cabeça dos *fingers*.

- ✓ Algumas aeronaves permaneceram, na realidade, em posições de carga durante um período maior que o simulado. Foram calçadas antes do horário de início da simulação e liberadas após o horário de término da simulação. Isso quer dizer que, na realidade, efetivamente ocuparam as posições o dia inteiro, porém não foram injetadas na simulação.

### **6.1.3 Verificação e validação dos tempos de percurso/atrasos**

Além da validação da contagem de operações de aeronaves nas pistas e da taxa de ocupação média das posições de pátio, a análise dos tempos de percurso e atrasos em cada etapa da movimentação das aeronaves é importante para se entender onde ocorrem os gargalos de capacidade do sistema. O maior interesse do estudo reside nas movimentações das aeronaves em solo. Assim sendo, foi conveniente observar como os atrasos aí ocorrem, principalmente por tipo de movimento (chegada ou saída) e como se distribuem entre as aeronaves e ao longo do dia.

Foram realizadas 10 iterações do modelo, a partir de uma mesma semente, sendo que para cada iteração registraram-se os tempos de percurso e atrasos de cada aeronave, em cada etapa do percurso. Analisados os tempos de percurso e atrasos em solo, uma forma gráfica de representar a intensidade da participação do atraso no tempo total que as aeronaves levam para realizar o movimento de saída é empilhar os tempos, como representado nas figuras abaixo.

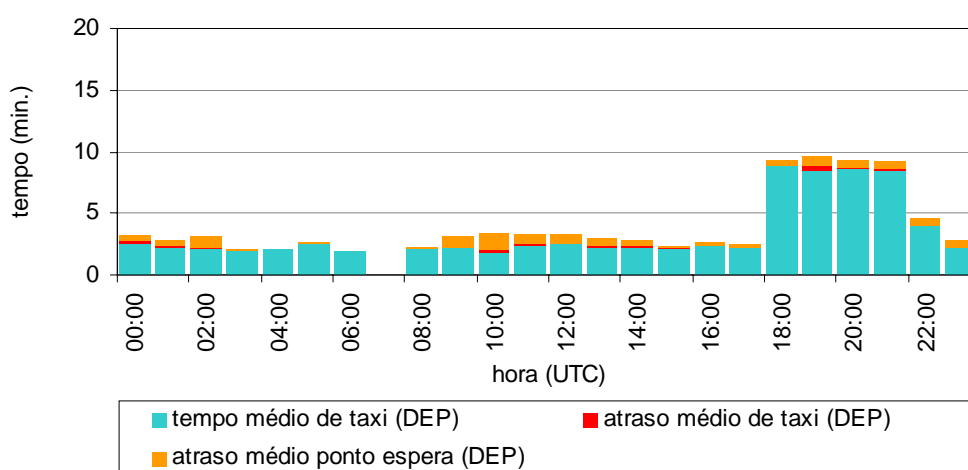


Figura 6.11 - Composição dos tempos de operação nas saídas (min./op.)

Os tempos médios de táxi nas saídas entre as 18h00 e 22h00 são notoriamente maiores devido à mudança de uso de cabeceira. Até então a pista 09L estava sendo utilizada para decolagens e a 09R para pousos, quando se passou a utilizar a 27R para decolagens e a 27L para pousos. Esta situação é desfavorável para as saídas, com aumento o tempo de táxi até a cabeceira e a espera na fila de decolagem.

O atraso de táxi representa o tempo que uma aeronave é retardada desde a saída da posição de pátio até ocupar o ponto de espera para decolagem. O atraso no ponto de espera, predominante durante a maior parte do dia, representa o tempo que a primeira aeronave na fila espera para decolar. Na estratégia predominante de operação do Aeroporto de Guarulhos, essa situação se dá quando a aeronave já está alinhada na pista, aguardando a liberação da torre.

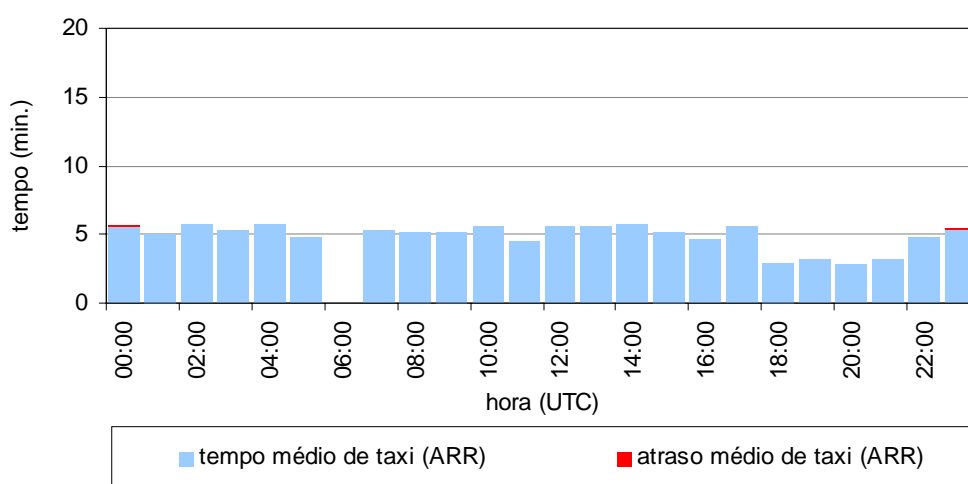


Figura 6.12 - Composição dos tempos de operação nas chegadas (min./op.)

Outra forma de verificar a consistência da distribuição dos atrasos no decorrer da simulação é comparar sua intensidade com o número de movimentos, para cada intervalo de tempo. Realizando uma análise hora-a-hora, estabeleceu-se o critério de contabilizar os dados da seguinte forma:

- ✓ Saídas: contabilizam-se os atrasos a partir do instante em que a aeronave libera o *gate* (o que equivaleria ao “calços fora”).
- ✓ Chegadas: contabilizam-se os atrasos a partir do instante em que a aeronave toca a pista.

A adoção desses critérios permitiu a elaboração dos três gráficos apresentados abaixo. Observa-se tendência de maiores atrasos com o maior movimento no aeroporto, o que era esperado. Os picos de atraso nas saídas antecedem os picos de movimento na pista, já que o atraso ocorre antes do ingresso na pista, e os picos de atraso nas chegadas sucedem os movimentos na pista, já que o atraso é registrado após o toque.

Fica evidente que, em decorrência da priorização dos pousos, o atraso na saída é predominante, obrigando as aeronaves em movimento

de saída a aguardarem na fila para ingresso na pista. Quanto ao acesso ao pátio de aeronaves, porém, o critério é priorizar as saídas, liberando assim as posições para as aeronaves que chegam. Essa forma de proceder é utilizada pela torre de controle do aeroporto.

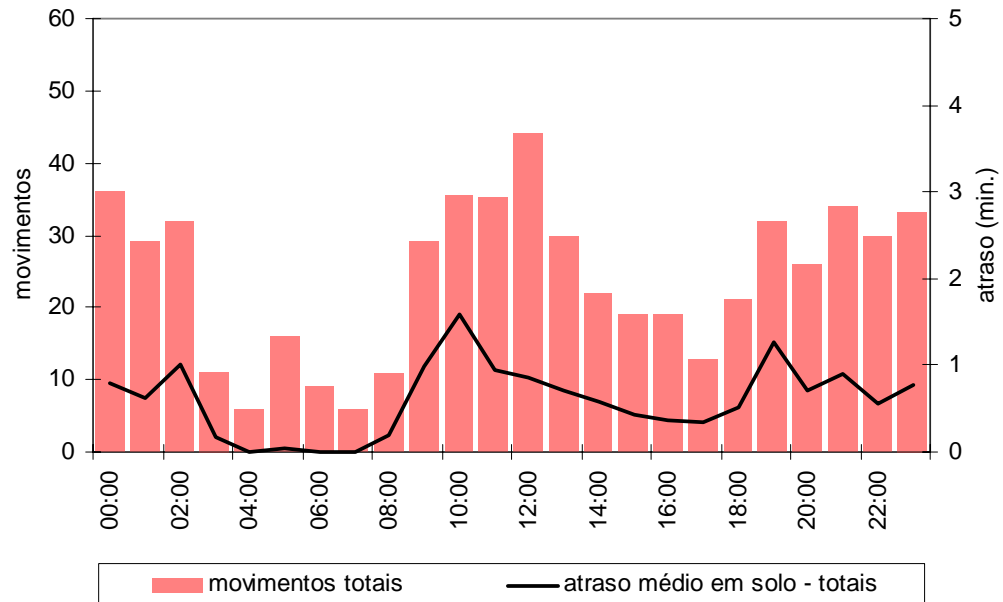


Figura 6.13 - Diagrama de atrasos médios totais x demanda

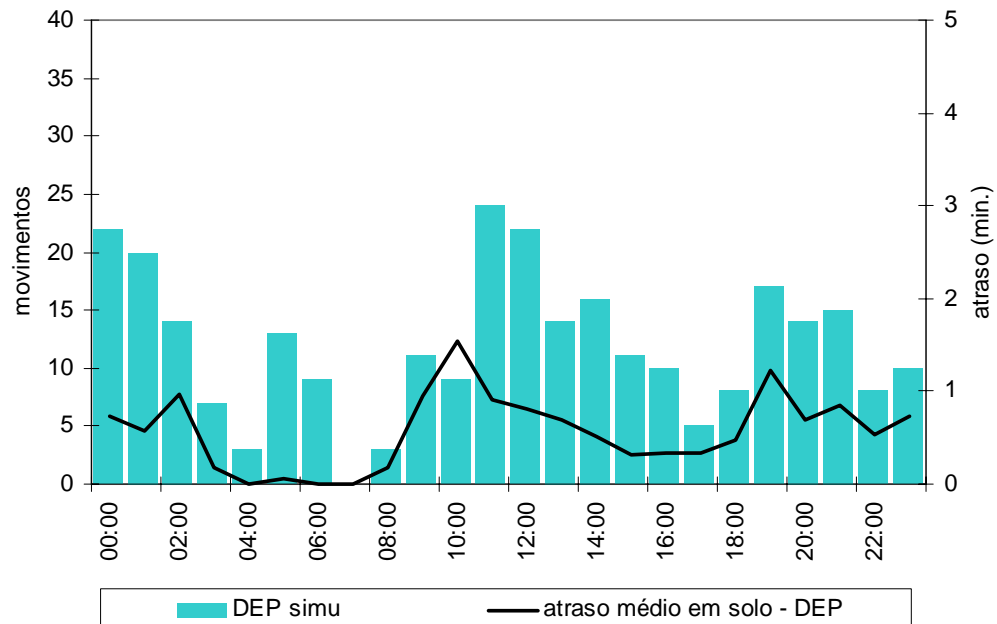


Figura 6.14 - Diagrama de atrasos médios nas saídas x demanda

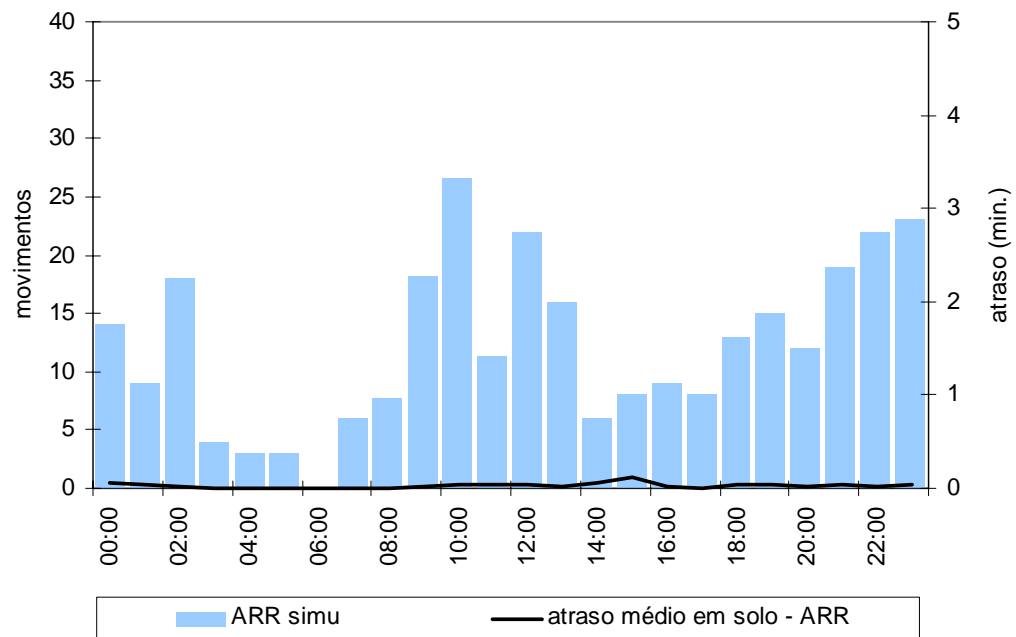


Figura 6.15 - Diagrama de atrasos x demanda (chegadas)

Ordenando de forma decrescente os atrasos em solo de cada aeronave e dispendo-os em seqüência, observa-se que 40 aeronaves são responsáveis por cerca de 80% do atraso nas chegadas, o que pode ser visto na Figura 6.16. Das 294 aeronaves chegando, 93 são responsáveis por todo o atraso. Contudo, a magnitude do atraso de cada aeronave é pequena.

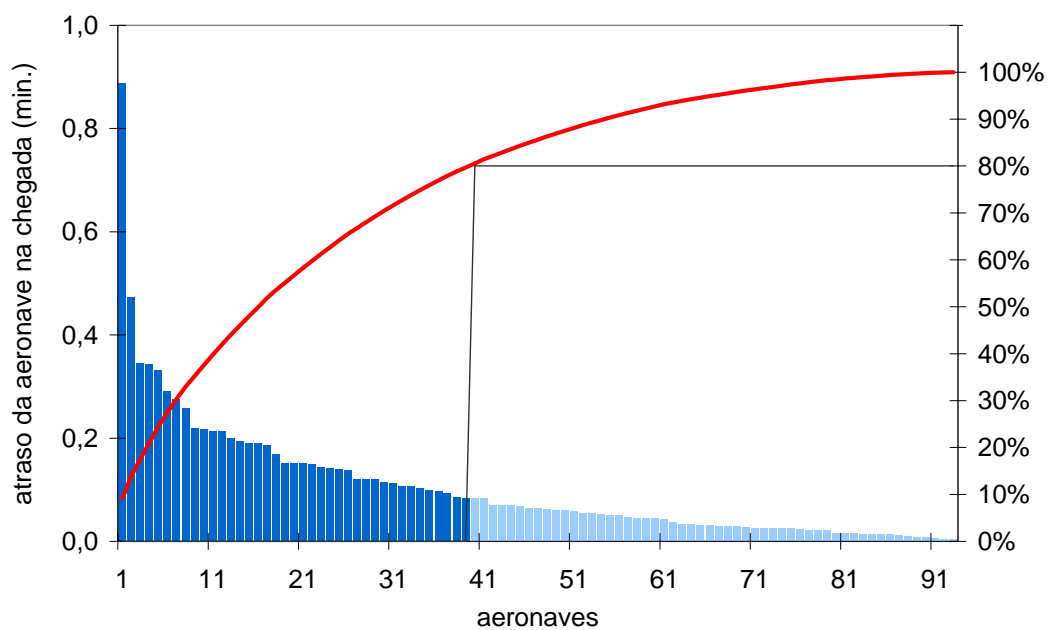


Figura 6.16 - Diagrama de atrasos individuais e acumulados na chegada

O mesmo foi realizado para as aeronaves na saída, observando-se que pouco menos de 50 aeronaves são responsáveis por cerca de 50% de todo o atraso nas saídas (Figura 6.17). Os atrasos nas saídas estão distribuídos entre mais aeronaves que nas chegadas, sendo que quase todas incorrem em algum atraso.

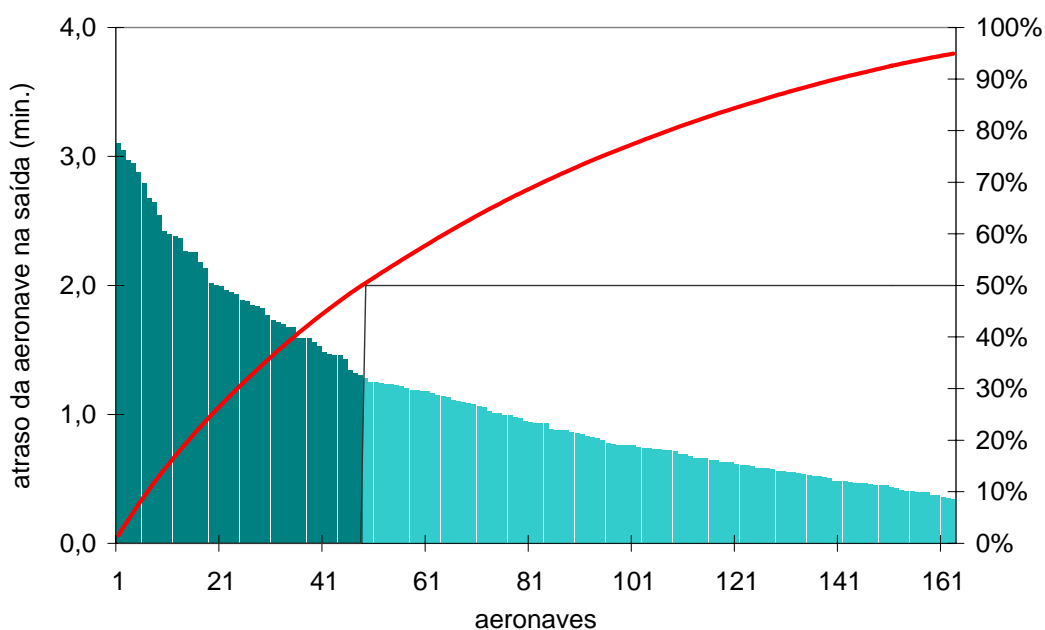


Figura 6.17 - Diagrama de atrasos individuais e acumulados na saída

## 6.2 Acréscimo de demanda nos modelos

### 6.2.1 Hipóteses adotadas

O crescimento da demanda para representar horizontes futuros de operação do aeroporto talvez seja uma das questões de maior complexidade no planejamento aeroportuário. Inúmeras hipóteses, motivadas por diversas naturezas de argumentos, poderiam ser utilizadas. No entanto, no que tange o escopo deste trabalho, procurou-se estabelecer algumas premissas simplificadoras para esse crescimento.



Fez-se conveniente a hipótese de que o aumento de demanda não causasse uma mudança substancial no padrão horário base. Em outras palavras, optou-se por não alterar desproporcionalmente a movimentação, quer achatando os “picos” quer subindo os “vales”, para facilitar a comparação entre os níveis de crescimento de demanda. Isso significa que o aspecto visual do perfil de demanda deverá ser o mesmo para todos os níveis de acréscimo.

Além dessa característica do perfil global da demanda diária, outra hipótese adotada foi a de manutenção da composição da frota de aeronaves operando, conforme apresentada na Tabela 5.2 (pág. 72).

### 6.2.2 Resultados da simulação do modelo base

Rodando o modelo base com acréscimos de demanda em passos de 10%, adotando as hipóteses acima formuladas, obteve-se o gráfico apresentado na Figura 6.18, válido para a hora pico de movimentos, comparável à Figura 2.2 (pág. 23).

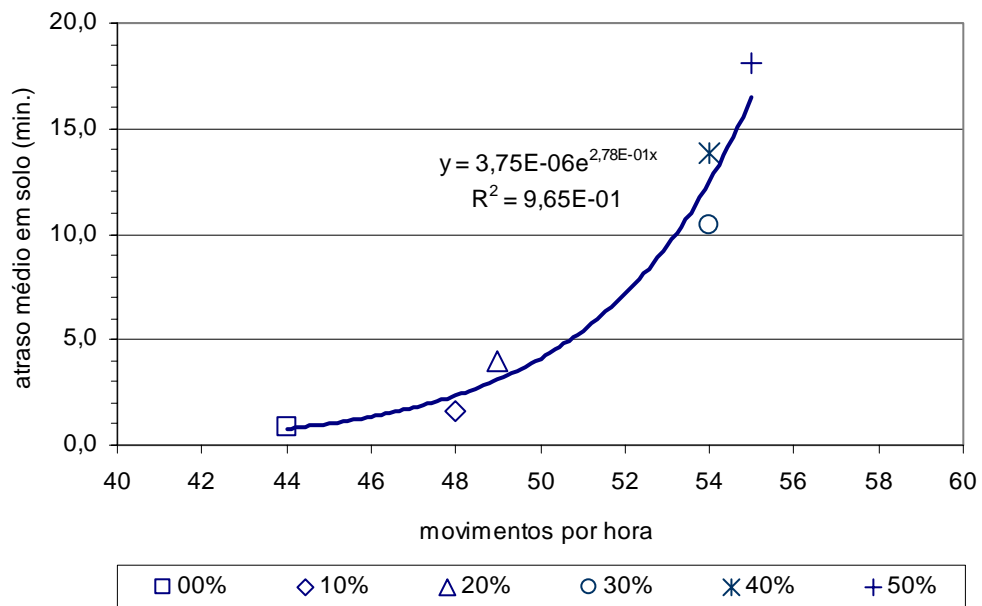


Figura 6.18 - Evolução do atraso com o volume horário - modelo base

Observa-se tendência de aumento exponencial do atraso médio em solo com o volume horário de operações. A faixa de operação aceitável, segundo o critério do U.S. Department of Transportation (65) e adotado também pelo Metropolitan Transportation Commission de São Francisco (44), tem por limite superior 5 minutos de atraso médio. Utilizando a equação apresentada na Figura 6.18, para as condições explicitadas anteriormente, a capacidade prática horária do Aeroporto de Guarulhos pode ser estimada em 51 movimentos (pousos + decolagens).

Utilizando o mesmo procedimento, porém extrapolando-a para a movimentação diária<sup>13</sup>, obteve-se o gráfico apresentado abaixo.

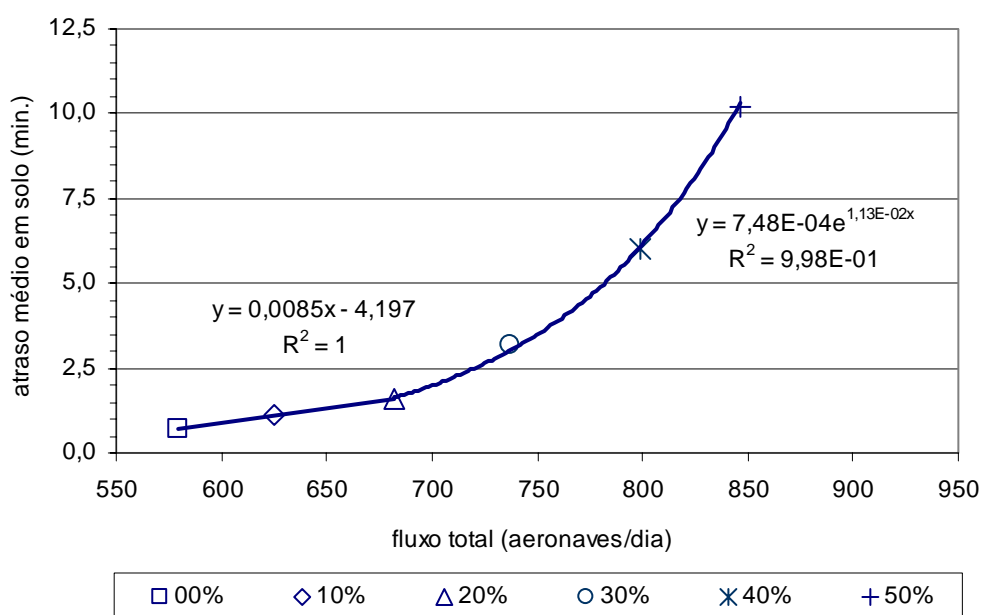


Figura 6.19 - Evolução do atraso com o volume diário - modelo base

Os três primeiros pontos do gráfico mostram um comportamento de crescimento do atraso médio em solo linear com o fluxo total. Nessa faixa de demanda, os atrasos atingem cerca de 1 minuto e meio em média. A partir daí o crescimento do atraso com o fluxo total torna-se exponencial, atingindo valores médios diários da ordem de 10 minutos.

<sup>13</sup> Devido à necessidade de obtenção de valores inteiros para o acréscimo horário de demanda no modelo, para cada categoria de aeronave, o fluxo total não corresponde exatamente à aplicação do percentual indicado sobre a movimentação diária base.

Nessas condições, utilizando a equação apresentada na Figura 6.19, a capacidade prática diária do Aeroporto de Guarulhos pode ser estimada em 780 movimentos (pousos + decolagens).

### 6.2.3 Resultados da simulação da alternativas GRU\_PRA

O procedimento realizado com o modelo base foi repetido no modelo de alternativa GRU\_PRA. Foram realizados acréscimos de demanda em passos de 10%, adotando as mesmas hipóteses do modelo base, de onde obteve-se o gráfico apresentado na Figura 6.20, válido para a hora pico de movimentos.

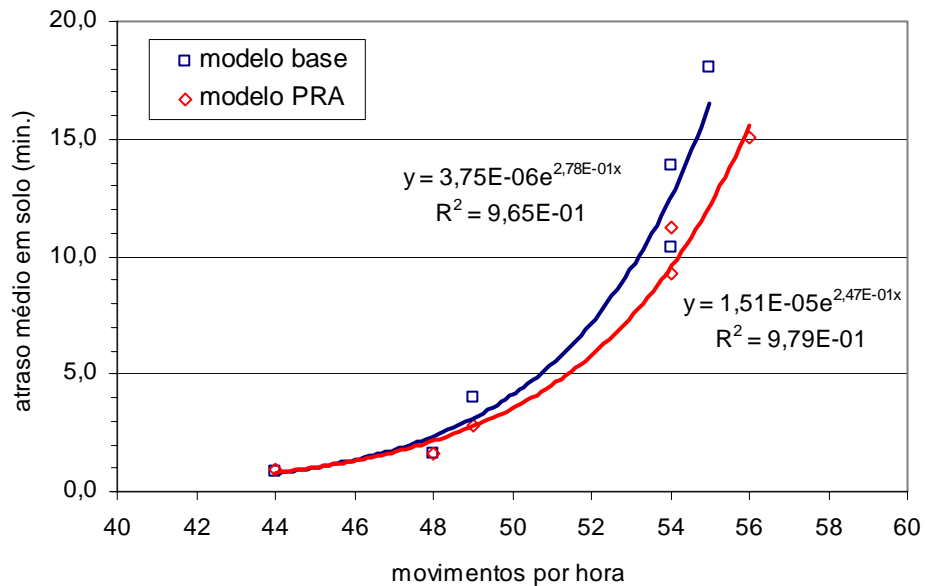


Figura 6.20 - Evolução do atraso com o volume horário - comparação

Assim como observado no modelo base, há uma tendência de aumento exponencial do atraso médio em solo com o volume horário de operações. Utilizando a equação do modelo GRU\_PRA, apresentada na Figura 6.20, para as mesmas condições do modelo base, e admitindo o critério do U.S. Department of Transportation (65), de 5 minutos de atraso médio, a capacidade prática horária do Aeroporto de Guarulhos no cenário GRU\_PRA pode ser estimada em 51 movimentos (pousos +

decolagens. Isso não representa um ganho em capacidade, porém uma redução de atraso médio em 1 minuto, em relação ao modelo base.

Da mesma forma, extrapolando os resultados para a movimentação diária, obteve-se o gráfico apresentado abaixo.

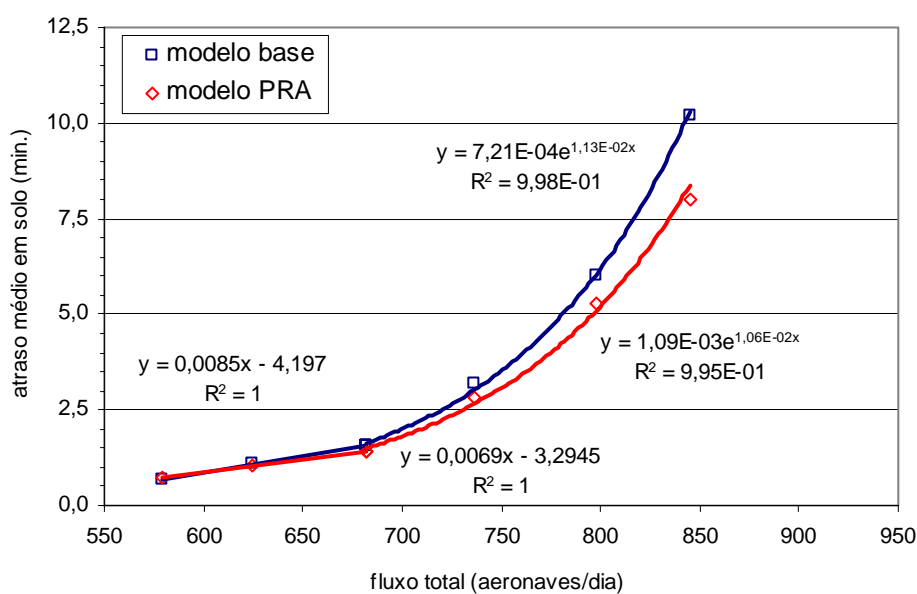


Figura 6.21 - Evolução do atraso com o volume diário - comparação

O mesmo padrão de comportamento constatado no modelo base é observado no modelo GRU\_PRA. Os três primeiros pontos do gráfico mostram um comportamento de crescimento do atraso médio em solo linear com o fluxo total, a partir dos quais o crescimento do atraso torna-se exponencial. Neste caso fica também evidenciada uma razoável diminuição do atraso no modelo GRU\_PRA em relação ao modelo base para os mesmos valores de fluxos totais. Nessas condições, utilizando a equação apresentada na Figura 6.21, a capacidade prática diária do Aeroporto de Guarulhos no cenário GRU\_PRA pode ser estimada em 790 movimentos (pousos + decolagens). Isso representa um ganho de 10 movimento diários em relação ao modelo base.

Em ambos os casos houve um pequeno ganho na capacidade prática, porém uma considerável redução de atraso para os mesmos

patamares de fluxo. Essa conclusão fica mais evidente no Apêndice A - Comparativo de resultados.

### **6.3 Conclusões do capítulo**

A análise apresentada neste capítulo consistiu na verificação dos resultados, mostrando que o desempenho do SIMMOD foi consistente com o esperado. A validação estabeleceu que o comportamento do modelo representou de forma válida o sistema do mundo real, quer dizer, o lado aéreo do Aeroporto de Guarulhos. Essa validação ocorreu em termos de movimentação na pista, utilização das posições de pátio e tempos de percurso/atrasos.

A aplicação da metodologia proposta ao caso do Aeroporto de Guarulhos permitiu chegar aos seguintes resultados e conclusões:

- a. O modelo base, que representa o aeroporto na sua configuração física e operacional atual, foi validado e pode ser utilizado em pesquisas futuras;
- b. A constatação de pequenas diferenças entre a movimentação real e a simulada na pista conferiu confiança à análise (Figura 6.1 à Figura 6.8);
- c. A simulação gerou resultados de movimentação no pátio de aeronaves que se afastaram razoavelmente da realidade da operação do aeroporto no dia selecionado (Figura 6.10). Isso indica que o modelo tem limitações nesse aspecto;
- d. A composição dos tempos de percurso e atrasos em solo obtidos pela simulação do modelo base foram consistentes com a realidade (Figura 6.11 e Figura 6.12);

- e. A distribuição dos atrasos no decorrer da simulação do modelo base apresentou consistência com o número de movimentos, para cada intervalo de tempo (Figura 6.13 à Figura 6.15);
- f. Os atrasos em solo nas chegadas estão concentrados em poucas operações: de 294 chegadas, 40 aeronaves são responsáveis por cerca de 80% do atraso (Figura 6.16). Contudo, a magnitude do atraso nas chegadas é pouco significativa.
- g. Os atrasos em solo nas saídas também são concentrados: 48 aeronaves são responsáveis por cerca de 50% de todo o atraso nas saídas (Figura 6.16). Porém os atrasos nas saídas estão distribuídos entre mais aeronaves que nas chegadas, sendo que quase todas incorrem em algum atraso;
- h. O acréscimo de demanda no modelo base permitiu estimar a capacidade prática horária do Aeroporto de Guarulhos em 51 movimentos (pousos + decolagens). A capacidade prática diária pôde ser estimada em 780 movimentos (pousos + decolagens). Conforme Figura 6.18 e Figura 6.19;
- i. Da mesma forma, para o modelo GRU\_PRA, a capacidade prática horária do Aeroporto de Guarulhos foi estimada em 51 movimentos (pousos + decolagens). A capacidade prática diária pôde ser estimada em 790 movimentos (pousos + decolagens). Apesar de não haver aumento de capacidade para este modelo, observa-se redução de atraso médio em 1 minuto em relação ao modelo base, conforme Figura 6.20 e Figura 6.21;
- j. As melhorias propostas e simuladas no modelo GRU\_PRA não proporcionaram aumento significativo da capacidade prática, porém promoveram uma significativa redução dos atrasos médios. Isso ocorre principalmente para níveis de demanda 20% acima da movimentação utilizada como base, o que representa

cerca de 700 movimentos diários ou 51 movimentos na hora-pico. Conforme Apêndice A - Comparativo de resultados;

- k. A metodologia é adequada ao problema de configuração do lado aéreo de aeroportos.

É importante mencionar que o pesquisador apresentou todos os resultados alcançados neste capítulo à Gerência de Navegação Aérea - NAGR, da Superintendência Regional do Sudeste - SRGR, em 17 de novembro de 2006, obtendo boa recepção quanto à aderência do modelo e dos resultados à operação real.

## **7. RESUMO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

O objetivo deste estudo foi apresentar uma metodologia para avaliação operacional de intervenções no lado aéreo de aeroportos e aplicá-la a um caso prático. Para tanto, foram identificadas ferramentas aplicáveis aos problemas complexos de análise de configurações aeroportuárias no lado aéreo; selecionado o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos para aplicação da metodologia; avaliados os resultados desta aplicação e verificada sua viabilidade.

A principal contribuição deste trabalho diz respeito à proposição e utilização de uma seqüência de procedimentos para estruturar um modelo de simulação e explorar o potencial do SIMMOD para análise de configurações aeroportuárias, especialmente no que diz respeito ao levantamento e preparação dos dados de entrada, verificação/validação de um modelo base e da avaliação das alternativas de solução para o problema.

Adicionalmente, a aplicação da metodologia ao Aeroporto de Guarulhos apresentou resultados importantes, que poderão ser utilizados como subsídio a futuras tomadas de decisão pelas autoridades competentes. A capacidade prática horária do aeroporto foi estimada, assim como os tempos de percurso e atrasos para diferentes volumes de demanda.

A metodologia proposta com utilização do SIMMOD mostrou-se adequada para análises sistemáticas dos problemas tratados. Entretanto, recomenda-se:

1. Maior aprofundamento na modelagem do pátio de aeronaves, considerando na simulação o tratoramento de aeronaves de posições com ponte de embarque (TPS 1 e 2) para posições



remotas, principalmente a lateral, e vice-versa. (questão tratada na pág. 89);

2. Simulação de cenários com interdições de pistas de rolamento e/ou pista de pouso para realização de obras no aeroporto;
3. Avaliação dos impactos no Aeroporto de Guarulhos com a transferência de vôos do Aeroporto de Congonhas;
4. Proposição de novas regras de tráfego (incluindo separação entre aeronaves) e avaliação dos impactos na capacidade e atraso;
5. Aplicação da metodologia proposta a outros aeroportos brasileiros, destacando-se o caso do Aeroporto de Congonhas.

## 8. BIBLIOGRAFIA

1. Ahuja, R.K., Magnanti, T.L., Orlin, J.B. Network flows, theory, algorithms and applications. Prentice Hall, 1993.
2. Airporttools. SIMMOD Reference Manual, online. Disponível em: <<http://www.airporttools.com/SIMMOD/docs/index.html>>. Acesso em: 2 de outubro de 2004.
3. Airporttools. SIMMOD Tutorial, online. Disponível em: <<http://www.airporttools.com/JSIMMOD/Documentation/other/howto/tutorial/primer.html>>. Acesso em: 2 de outubro de 2004.
4. Airporttools. Visual SIMMOD Documentation, online. Disponível em: <<http://www.airporttools.com/apecs/sdk/vs/docs/index.html>>. Acesso em: 2 de outubro de 2004.
5. Almeida, A. R. M., Mendes, B. V. M., Santana, E S M, Hupalo, M. F., Guedes, E. P., Feitosa, M. V. M. Air traffic delay cost in Brazil: a methodological proposal based on real data and a comparison with a simulation based methodology. ATRS 2005 Proceedings, Rio de Janeiro, Brazil.
6. Almeida, P. M S. Utilização de simulação na análise de componentes de terminais de passageiros de aeroportos brasileiros. Dissertação (Mestrado) - ITA, São José dos Campos, 1998.
7. Ashford, N. et al. Airport Operations. John Wiley & Sons, New York, 1984.
8. Ashford, N., Wright, P. Airport Engineering. John Wiley & Sons, 3<sup>th</sup> ed., New York, 1992.
9. Barros, A. G. Análise de capacidade do lado aéreo do Aeroporto Internacional de São Paulo Guarulhos. Dissertação (Mestrado) - ITA, São José dos Campos, 1994.
10. Botter, R. C. Planejamento portuário: modelo para análise operacional do sistema porto associado a níveis de serviço. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.
11. Botter, R. C. Tratamento de dados em modelos de simulação discreta. 2002. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
12. CACI. The SIMMOD PLUS! Reference Manual. Sunnyvale, CA, 2000.

13. Comando da Aeronáutica. AIP-MAP. Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo, Rio de Janeiro, 2004.
14. Comando da Aeronáutica. HOTRAN - Horário de Transporte Aéreo. Departamento de Aviação Civil, Rio de Janeiro, 2001.
15. Cormen, Th.H., Leiserson, Ch.E., Rivest, R.L. Introduction to Algorithms. MIT Press & McGraw-Hill, 1991.
16. Coscarelli, C. H. Estudos de capacidade da infra-estrutura aeroportuária brasileira: análise do emprego de novas tecnologias de simulação. Dissertação (Mestrado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
17. Daniel, Joseph I. Benefit-cost analysis of airport infrastructure: the case of taxiways. Department of Economics, University of Delaware, Delaware, DE, USA Journal of Air Transport Management 8 (2002) 149-164.
18. De Neufville, R. Airport Systems Planning - A critical look at the methods and experience. Center for Transportation Studies, Massachusetts Institute of Technology. The MacMillan Press, London, 1976.
19. European SIMMOD Users Group - ESUG. SIMMOD Study Guide. Sixth DRAFT - 15/10/99, updated and maintained by Eurocontrol
20. FAA - Federal Aviation Administration. 2003 ACE Plan - Aviation Capacity Enhancement Plan. Office of System Capacity, Department of Transportation, Washington, DC, 2003.
21. FAA - Federal Aviation Administration. Airport benefit-cost analysis guidance. Department of Transportation, Washington, DC, 1999.
22. FAA - Federal Aviation Administration. Airport Capacity and Delay. Advisory Circular AC-150/5060-5. Department of Transportation, Washington, DC, 1999.
23. FAA - Federal Aviation Administration. Airport Master Plans. Advisory Circular AC-150/5070-6A. Department of Transportation, Washington, DC, 1985.
24. FAA - Federal Aviation Administration. Airspace management handbook - version 1.0. Department of Transportation, Washington, DC, 2000.
25. Feitosa, M V. M. Um modelo de simulação para terminais de passageiros em aeroportos regionais brasileiros. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2000.

26. Gotteland, J. B. Optimisation du trafic au sol sur les grands Aéroports. Tese de Doutorado, Institut National Polytechnique de Toulouse, Laboratoire d'Optimisation Globale de l'École Nationale de l'Aviation Civile, 2004. Disponível em: <<http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000076/01/gotteland.pdf>>. Acesso em: 18 de julho de 2006.
27. Gualda, N. D. F. Botter, R. C., Sansone, O. R. F. Simulation-based analyses of aircraft passenger bridges installation at São Paulo Congonhas Airport. ATRS Proceedings, Rio de Janeiro, Brazil, 2005.
28. Gualda, N. D. F. Modeling the Airport Terminal Buildings for Capacity Evaluation Under Level-of-Service Criteria. Ph.D. Dissertation - The University of Texas, Austin, 1978.
29. Gualda, N. D. F. Terminais de Transportes: contribuição ao planejamento e ao dimensionamento operacional, Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
30. Guffey, D. Runway Capacity Enhancement - Federal Aviation Administration's ACE Plan (Airport Capacity Enhancement Plan). FAA-ASC-100, 1997.
31. Herrera G. Alfonso. Simulation of aeronautical operations at the International Airport of Mexico City (IAMC). ATRS Proceedings, Rio de Janeiro, Brazil, 2005.
32. Horonjeff, R., McKelvey, F. X. Planning and Design of Airports. McGraw-Hill, N.Y., 4<sup>th</sup> ed., 1994.
33. Hupalo, M. F. Análise da área de Controle Terminal São Paulo (TMA-SP) por meio de simulação (*fast time simulation*). Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2003.
34. Hupalo, M. F., Feitosa, M. V. M, Santana, E. S. M, Silva, R. A. e Porto, P. P. Aspectos relacionados com a determinação da capacidade de sistemas de pistas de pouso. I Simpósio de Transporte Aéreo - SITRAER, ITA, São José dos Campos, 2000.
35. ICAO. Aerodrome Design and Operations. Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Vol. I, Third Edition - July 1999.
36. ICAO. Air Traffic Services. Annex 11 to the Convention on International Civil Aviation. Thirteenth Edition - July 2001.
37. ICAO. Rules of the Air. Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation. Ninth Edition - July 1990.

38. Kanafani, A. Operational Procedures to Increase Runway Capacity. *Transportation Engineering*, vol. 109, n° 3, 1983.
39. Kleijnen, J. P. C. Verification and Validation of Simulation Models. *European Journal of Operation Research* 82, pp. 145-162, 1995.
40. Lopes, D. R. Contribuição à modelagem do problema do planejamento da operação de pátios de aeronaves em aeroportos. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.
41. LPT/EPUSP - Laboratório de Planejamento e Operação de Transportes. Estudos de demanda, capacidade, acessibilidade e auditoria ambiental dos aeroportos de Congonhas, Guarulhos e Viracopos. Relatórios de circulação restrita, 2002.
42. Martinelli, J. C. N. Avaliação de metodologias de cálculo do número de posições de estacionamento de aeronaves nos pátios. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.
43. Meredith, D., Wong, K. W., Woodhead, R. W., Wortman, R. H. *Design and Planning of Engineering Systems*. Prentice Hall College, Inc., New Jersey, 1973.
44. Metropolitan Transportation Commission - MTC (São Francisco). *Regional Airport System Plan. Update 2000. Volume III - Regional Airport Capacity and Delay*. September 2000.
45. Ministério da Aeronáutica. *Anuário do Transporte Aéreo. Vol. I - Dados Estatísticos*. DAC - Departamento de Aviação Civil, 2001.
46. Ministério da Aeronáutica. *Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros*. Departamento de Aviação Civil, Rio de Janeiro, 2003.
47. Ministério da Aeronáutica. *Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros*. Departamento de Aviação Civil, Rio de Janeiro, 2005.
48. MITRE Corp. *Airports and Airspace System Planning for the São Paulo Region, Task 2: Analysis of Current Operations*. Departamento de Aviação Civil, Rio de Janeiro, 2001.
49. MITRE Corp. *Demand dependence of throughput and delay at New York La Guardia Airport*. McLean, Virginia, April 2001.
50. MITRE Corp. *TAAM Best Practices Guidelines*, Mitre Technical Report, McLean, Virginia, September 2001.
51. Odoni, A. R. et al. "Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts". *International Center for Air Transportation*, Massachusetts Institute of Technology, March

1997. Disponível em: <<http://web.mit.edu/aeroastro/www/labs/AATT/index.htm>> Acesso em: 13 de dezembro de 2005.
52. Ortúzar, J. D., Willumsen L. G. Modelling Transport. John Wiley & Sons, New York, 3ª ed., 2001.
  53. Pereira, B. D., Silva, C. M, Guedes, E. P. e Feitosa, M V. M. Análise de capacidade da área de movimento do aeroporto Santos Dumont via modelo de simulação por computador. Anais do XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Gramado, v. 1, p. 31-39, 2000.
  54. Pereira, B. D., Silva, C. M, Guedes, E. P. e Feitosa, M. V. M. Estudo dos atrasos na Área Terminal São Paulo: situação atual e futura via modelo de simulação. Anais do XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Campinas, v. 3. p. 157-161, 2001.
  55. Pereira, B. D., Silva, C. M., Guedes, E. P. e Feitosa, M. V. M. Aeroporto Santos Dumont: análise de propostas de melhorias na infra-estrutura aeroportuária via modelo de simulação. Anais do XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Campinas, v. 3 p. 151-155, 2001.
  56. Peres, A. E. Modelos para avaliação de capacidade de pistas com operações semi-dependentes: aplicação ao Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1992.
  57. Pietrantonio, H., Sansone O. R. F., Gualda, N. D. F. Operational analyses of the Guarulhos Airport apron service road system. ATRS Proceedings, Rio de Janeiro, Brazil, 2005.
  58. Ribeiro, F. R. Modelo de simulação para análise operacional de pátio de aeroportos. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
  59. Rodrigues, A. L. Uma contribuição ao estudo da infra-estrutura aeronáutica: proposta de um modelo de simulação para a ocupação do pátio de estacionamento de aeronaves. Dissertação (Mestrado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.
  60. Santana, E. S. M. Análise de Novos Cenários Operacionais para o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2002.
  61. Scheel, T. Análise da capacidade do lado aéreo do Aeroporto Internacional de Campinas utilizando SIMMOD. Trabalho de Graduação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2000.

62. Siewerdt, E. Gestão de aeroportos e espaços aéreos no limite de suas capacidades. II Simpósio de Transporte Aéreo - SITRAER, ITA, São José dos Campos, 2001.
63. Targa, D. Uma Ferramenta automatizada no auxílio à alocação de slots para o problema de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo brasileiro. Dissertação (Mestrado), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2001.
64. TransSolutions. The Airport and Airspace Simulation Model. Basic SIMMOD Training. Fort Worth, TX. 2000.
65. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. Report to Congress, National Plan of Integrated Airport Systems (1998-2002). March 1999.
66. U.S. Department of Transportation. Dallas-Fort Worth International Airport, Short-Term Capacity Enhancement Plan. September 1994.
67. U.S. Department of Transportation. Hartsfield Atlanta International Airport, Capacity Enhancement Plan Update. December 1995.
68. U.S. Department of Transportation. Houston Intercontinental Airport, Airport and Airspace Capacity Enhancement Plan. September 1993.
69. U.S. Department of Transportation. Las Vegas McCarran International Airport, Capacity Enhancement Plan. September 1994.
70. U.S. Department of Transportation. Minneapolis-Saint Paul International Airport, Capacity Enhancement Plan. December 1993.
71. U.S. Department of Transportation. New Orleans International Airport, Airport Capacity Enhancement Plan. June 1992.
72. U.S. Department of Transportation. Philadelphia International Airport, Airport Capacity Enhancement Plan. September 1991.
73. U.S. Department of Transportation. Portland International Airport, Capacity Enhancement Plan. October 1996.
74. U.S. Department of Transportation. Raleigh-Durham International Airport, Airport Capacity Enhancement Plan, August 1991.
75. U.S. Department of Transportation. Salt Lake City International Airport, Airport Capacity Enhancement Plan, March 1991.

76. U.S. Department of Transportation. Seattle-Tacoma International Airport. Capacity Enhancement Plan Update, July 1995.
77. Voss, William R., Hoffman, Jonathan. Analytical Identification of Airport and Airspace Capacity Constraints. 3<sup>rd</sup> USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Napoli, June 2000.
78. Wells, A. T. Airport Planning & Management. 2<sup>nd</sup> edition, TAB Books, 1992.
79. Zhong, C. Modeling of airport operations using an object-oriented approach. PhD. Dissertation - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 1997.



## APÊNDICE A - COMPARATIVO DE RESULTADOS

### Comparação gráfica da composição dos tempos de operação.

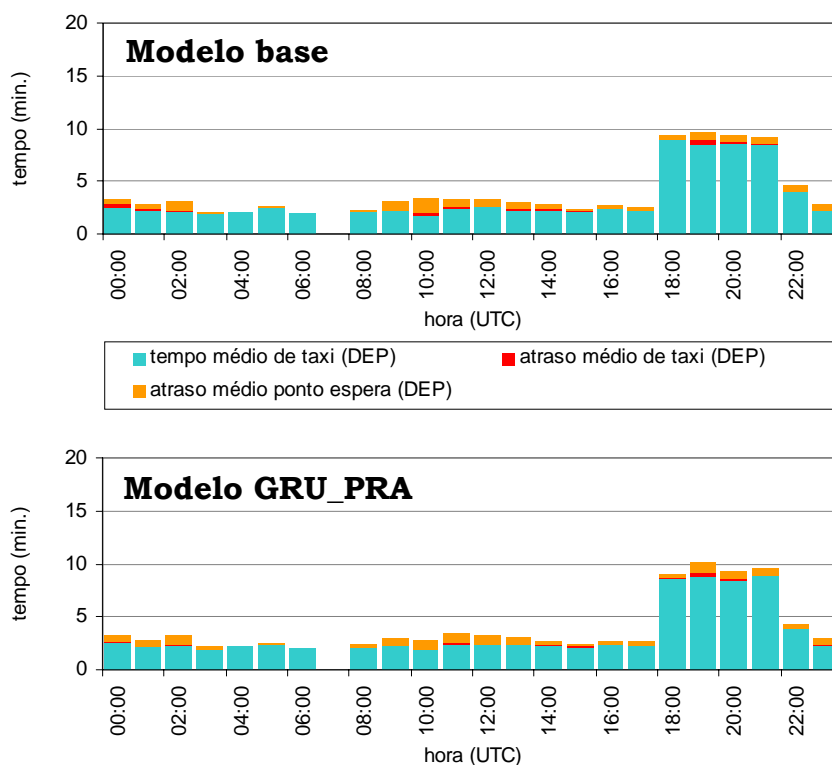


Figura A.1 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 579 mov./dia

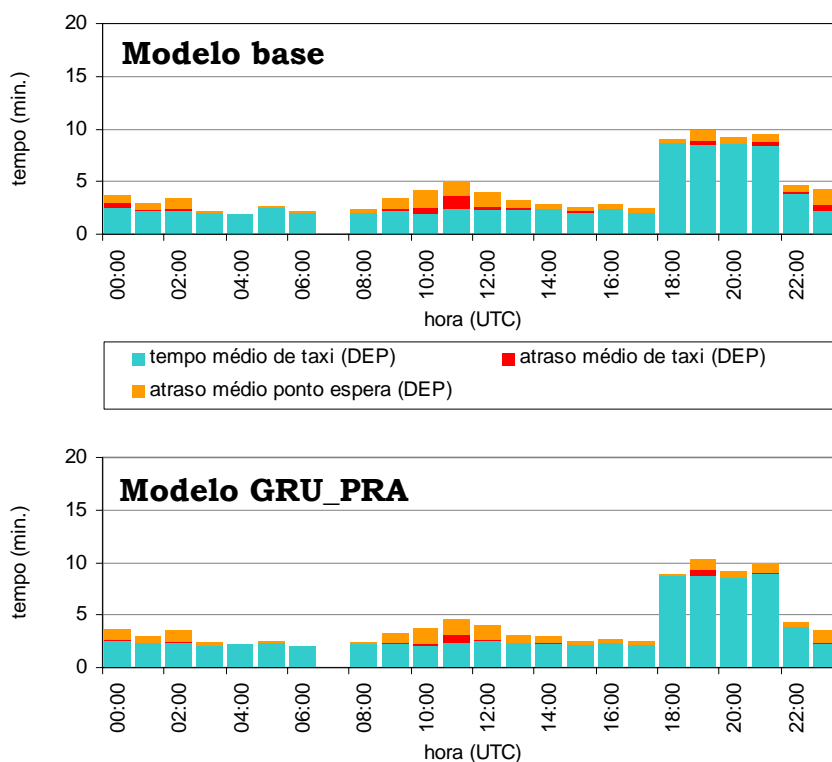


Figura A.2 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 625 mov./dia

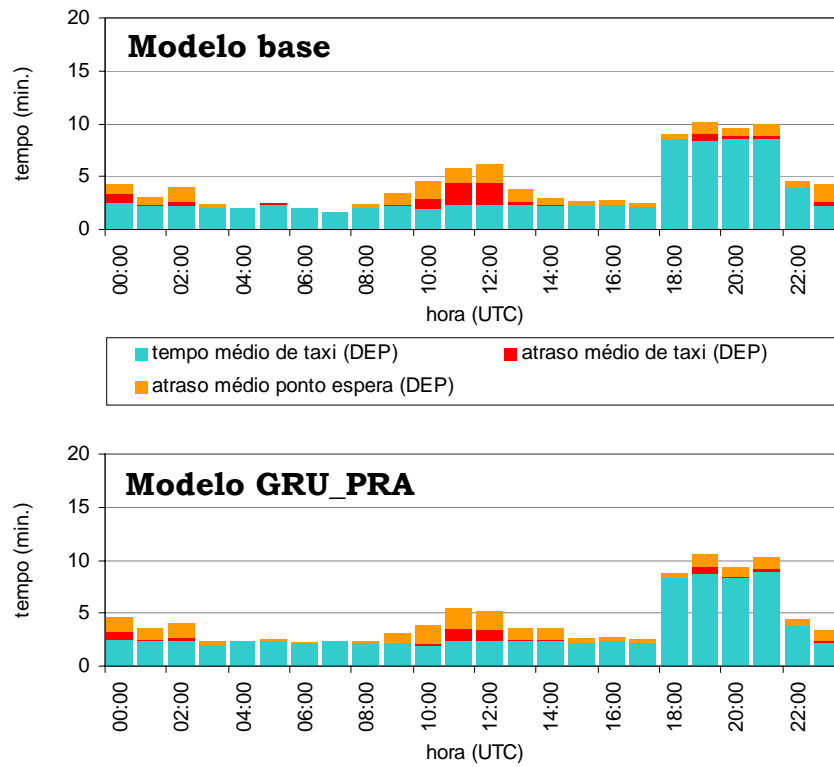


Figura A.3 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 682 mov./dia

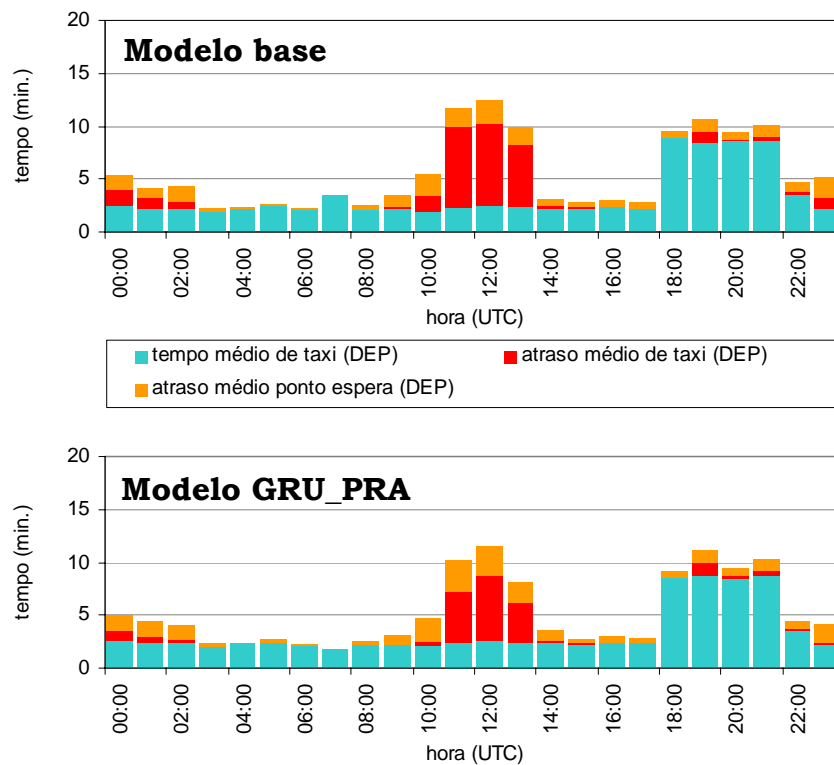


Figura A.4 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 736 mov./dia

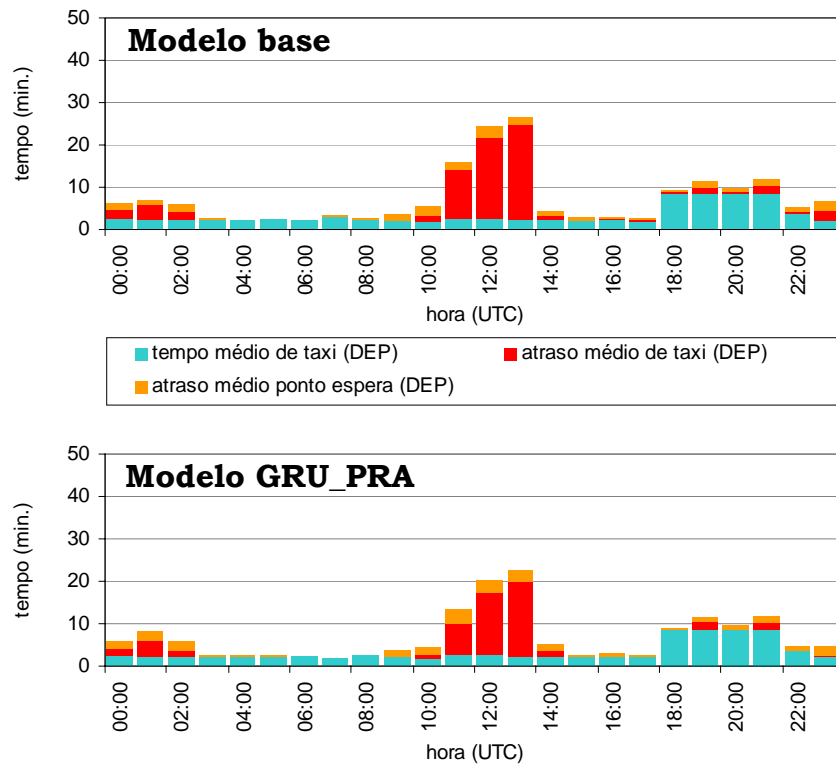


Figura A.5 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 798 mov./dia

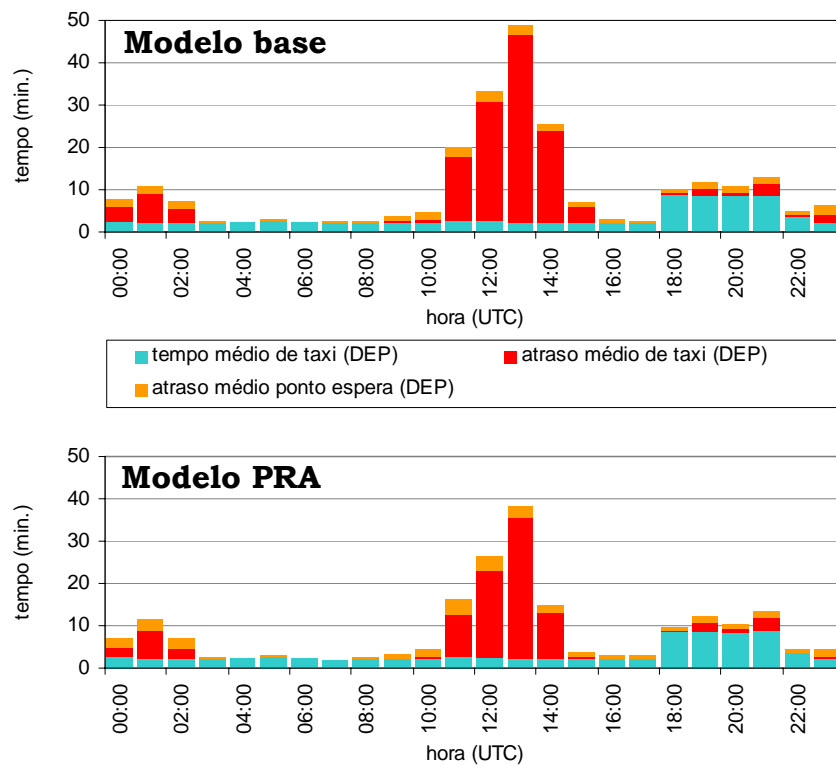


Figura A.6 - Comparação de tempos nas saídas (min./op.) - 845 mov./dia

### Comparação gráfica da distribuição dos atrasos x movimentos.

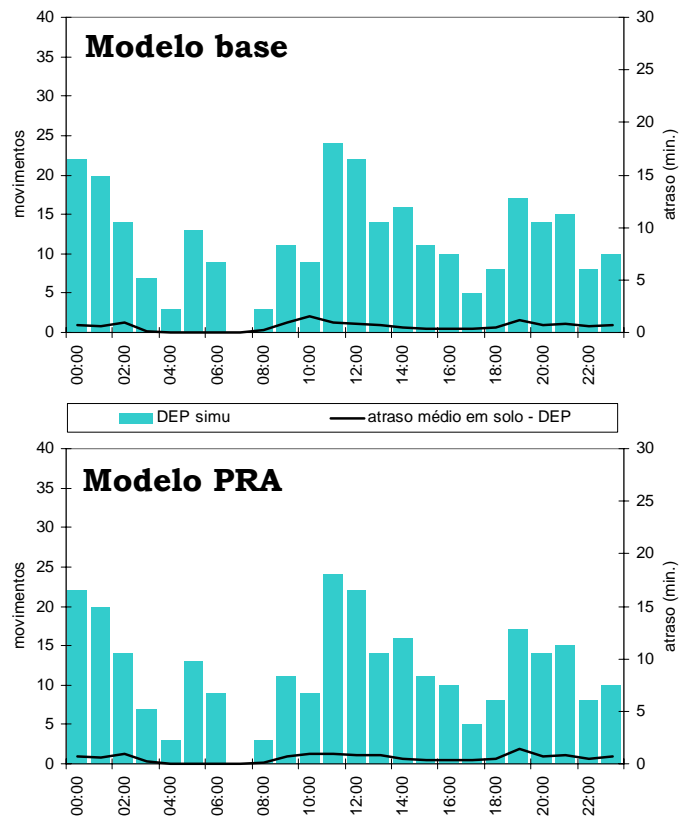


Figura A.7 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 579 mov./dia

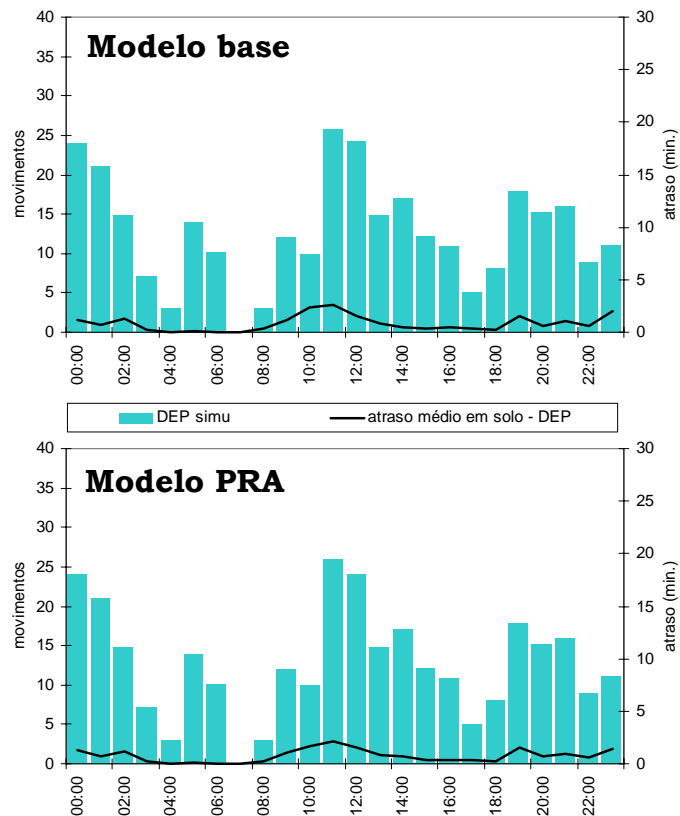


Figura A.8 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 625 mov./dia

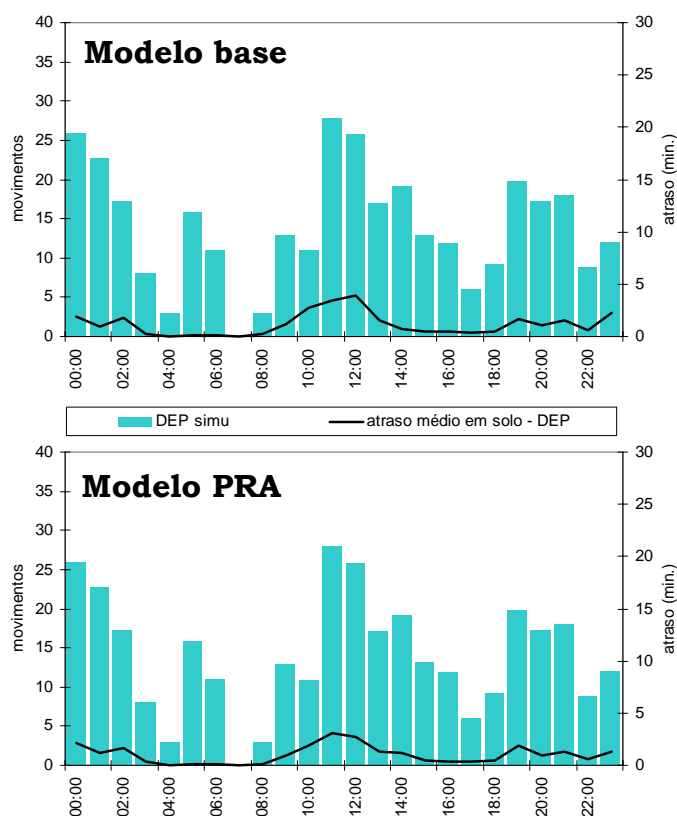


Figura A.9 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 682 mov./dia

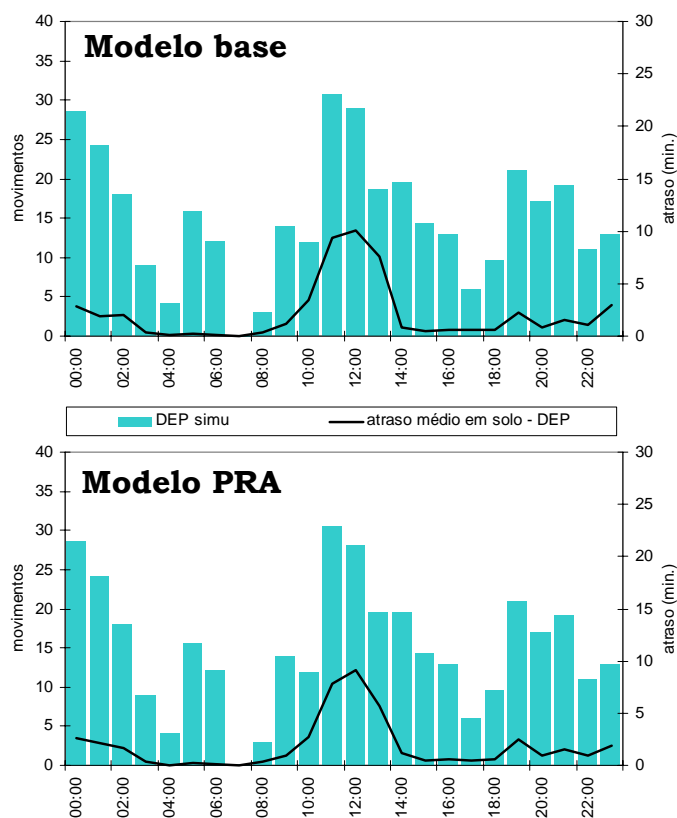


Figura A.10 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 736 mov./dia

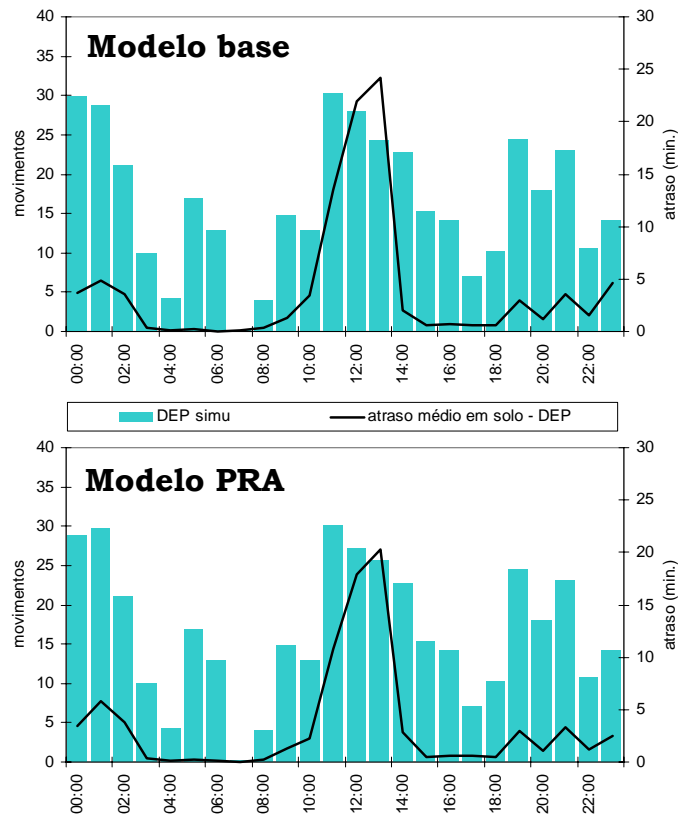


Figura A.11 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 798 mov./dia

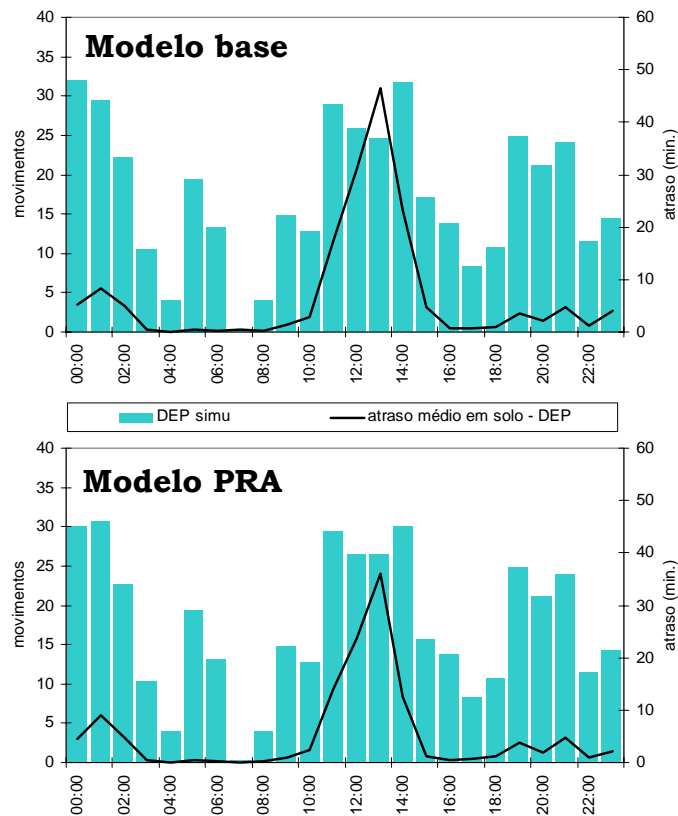


Figura A.12 - Comparação de atrasos nas saídas x demanda - 845 mov./dia

## **APÊNDICE B - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS**

Devido à natureza estocástica do SIMMOD, os dados de saída do programa podem ser diferentes para cada corrida do modelo, mesmo não havendo mudanças nos dados de entrada ou no sistema modelado. Por essa razão, a questão do número de iterações necessárias para se obter resultados estatísticos significativos torna-se importante. Santana (60) conclui que 10 iterações seria um valor suficiente na busca de resultados confiáveis.

Todas as simulações realizadas neste trabalho, seguindo as recomendações da literatura, foram realizadas com 10 iterações. No entanto, para verificar a abrangência da validade estatística dos resultados, foram realizados alguns testes de hipótese para comparação entre iterações.

A variável selecionada para realização dos testes foi o atraso observado em cada iteração, agrupado a cada bloco de uma hora de simulação. As iterações foram comparadas entre si, duas a duas, com o teste “t” de amostras dependentes, ou seja, o atraso da primeira hora da iteração “m” com o atraso da primeira hora da iteração “n”, onde “m” e “n” são iterações distintas, e assim sucessivamente até atingir o período todo de simulação (24 horas).

A hipótese inicial formulada é de que as iterações não convergem. Se assim fosse, os resultados não seriam confiáveis. Os testes indicaram que essa hipótese pode ser rejeitada com 95% de confiança. Ou seja, a comparação entre iterações, duas a duas, mostrou que o modelo comportou-se estavelmente. Essa situação é válida até acréscimos da ordem de 40% sobre a demanda base utilizada, conforme apresentado na Tabela B.1.

O mesmo procedimento foi utilizado para verificar a hipótese de que há diferença entre o modelo base e o modelo PRA. Os testes indicaram que essa hipótese não pode ser rejeitada, com mais de 95% de confiança. Portanto, a conclusão de que houve redução de atrasos no modelo PRA em relação ao modelo base é válida, conforme resultado da Tabela B.2.

A seguir, para ilustrar a análise, são apresentadas as tabelas de análise dos dados.

Tabela B.1 - Resultados do Modelo Base (demanda + 40%)

**T-test for Dependent Samples (base40.sta)**

**Marked differences are significant at  $p < 0,05$**

Variable	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
ITER_1	6147,2	12890,1						
ITER_2	5676,3	9883,4	23	470,9	4989,0	0,4527	22	0,6552
ITER_1	6147,2	12890,1						
ITER_3	8017,6	16028,6	23	-1870,4	4388,5	-2,0440	22	0,0531
ITER_1	6147,2	12890,1						
ITER_4	3970,0	6902,9	23	2177,2	6284,4	1,6615	22	0,1108
ITER_1	6147,2	12890,1						
ITER_5	7286,7	14080,6	23	-1139,5	3388,8	-1,6126	22	0,1211
ITER_1	6147,2	12890,1						
ITER_6	7407,5	15032,8	23	-1260,2	2724,0	-2,2188	22	0,0371
ITER_1	6147,2	12890,1						
ITER_7	4866,2	7525,5	23	1281,1	6021,5	1,0203	22	0,3187
ITER_1	6147,2	12890,1						
ITER_8	5205,8	9128,5	23	941,4	4981,6	0,9063	22	0,3746
ITER_1	6147,2	12890,1						
ITER_9	5953,9	11491,5	23	193,4	2196,6	0,4222	22	0,6770
ITER_1	6147,2	12890,1						
ITER_10	5070,9	8157,5	23	1076,3	6867,2	0,7517	22	0,4602
ITER_2	5676,3	9883,4						
ITER_3	8017,6	16028,6	23	-2341,3	8192,4	-1,3706	22	0,1843
ITER_2	5676,3	9883,4						
ITER_4	3970,0	6902,9	23	1706,3	4039,6	2,0257	22	0,0551
ITER_2	5676,3	9883,4						
ITER_5	7286,7	14080,6	23	-1610,4	4993,5	-1,5467	22	0,1362
ITER_2	5676,3	9883,4						
ITER_6	7407,5	15032,8	23	-1731,2	6567,8	-1,2641	22	0,2194
ITER_2	5676,3	9883,4						
ITER_7	4866,2	7525,5	23	810,2	3456,9	1,1239	22	0,2732
ITER_2	5676,3	9883,4						
ITER_8	5205,8	9128,5	23	470,5	4731,2	0,4769	22	0,6381
ITER_2	5676,3	9883,4						
ITER_9	5953,9	11491,5	23	-277,5	4099,4	-0,3247	22	0,7485



Variable	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
ITER_2	5676,3	9883,4						
ITER_10	5070,9	8157,5	23	605,4	3198,0	0,9078	22	0,3738
ITER_3	8017,6	16028,6						
ITER_4	3970,0	6902,9	23	4047,6	9558,0	2,0309	22	0,0545
ITER_3	8017,6	16028,6						
ITER_5	7286,7	14080,6	23	730,9	44',0	0,7850	22	0,4408
ITER_3	8017,6	16028,6						
ITER_6	7407,5	15032,8	23	610,1	3004,0	0,9740	22	0,3406
ITER_3	8017,6	16028,6						
ITER_7	4866,2	7525,5	23	3151,4	9315,1	1,6225	22	0,1189
ITER_3	8017,6	16028,6						
ITER_8	5205,8	9128,5	23	2811,8	7282,7	1,8516	22	0,0775
ITER_3	8017,6	16028,6						
ITER_9	5953,9	11491,5	23	2063,7	5599,2	1,7676	22	0,0910
ITER_3	8017,6	16028,6						
ITER_10	5070,9	8157,5	23	2946,7	10097,9	1,3995	22	0,1756
ITER_4	3970,0	6902,9						
ITER_5	7286,7	14080,6	23	-3316,7	7611,4	-2,0898	22	0,0484
ITER_4	3970,0	6902,9						
ITER_6	7407,5	15032,8	23	-3437,5	8387,2	-1,9656	22	0,0621
ITER_4	3970,0	6902,9						
ITER_7	4866,2	7525,5	23	-896,1	1763,4	-2,4372	22	0,0233
ITER_4	3970,0	6902,9						
ITER_8	5205,8	9128,5	23	-1235,8	3711,4	-1,5969	22	0,1246
ITER_4	3970,0	6902,9						
ITER_9	5953,9	11491,5	23	-1983,8	4985,1	-1,9085	22	0,0695
ITER_4	3970,0	6902,9						
ITER_10	5070,9	8157,5	23	-1100,9	3416,7	-1,5453	22	0,1365
ITER_5	7286,7	14080,6						
ITER_6	7407,5	15032,8	23	-120,8	2640,6	-0,2193	22	0,8284
ITER_5	7286,7	14080,6						
ITER_7	4866,2	7525,5	23	2420,6	6952,8	1,6697	22	0,1092
ITER_5	7286,7	14080,6						
ITER_8	5205,8	9128,5	23	2080,9	6408,6	1,5573	22	0,1337
ITER_5	7286,7	14080,6						
ITER_9	5953,9	11491,5	23	1332,9	3830,4	1,6688	22	0,1093
ITER_5	7286,7	14080,6						
ITER_10	5070,9	8157,5	23	2215,8	7378,1	1,4403	22	0,1639
ITER_6	7407,5	15032,8						
ITER_7	4866,2	7525,5	23	2541,3	7940,6	1,5349	22	0,1391
ITER_6	7407,5	15032,8						
ITER_8	5205,8	9128,5	23	2201,7	6738,5	1,5670	22	0,1314
ITER_6	7407,5	15032,8						
ITER_9	5953,9	11491,5	23	1453,6	3978,9	1,7521	22	0,0937
ITER_6	7407,5	15032,8						
ITER_10	5070,9	8157,5	23	2336,5	8725,5	1,2843	22	0,2124
ITER_7	4866,2	7525,5						
ITER_8	5205,8	9128,5	23	-339,6	3691,1	-0,4413	22	0,6633
ITER_7	4866,2	7525,5						
ITER_9	5953,9	11491,5	23	-1087,7	4404,6	-1,1843	22	0,2489
ITER_7	4866,2	7525,5						
ITER_10	5070,9	8157,5	23	-204,8	2983,7	-0,3292	22	0,7452

Variable	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
ITER_8	5205,8	9128,5						
ITER_9	5953,9	11491,5	23	-748,1	4052,0	-0,8854	22	0,3855
ITER_8	5205,8	9128,5						
ITER_10	5070,9	8157,5	23	134,9	5535,4	0,1168	22	0,9080
ITER_9	5953,9	11491,5						
ITER_10	5070,9	8157,5	23	882,9	5323,6	0,7954	22	0,4349

Tabela B.2 - Comparação entre o Modelo Base e o Modelo GRU\_PRA

T-test for Dependent Samples (basexpra.sta)  
 Marked differences are significant at  $p < 0,05$

Variable	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
BASELINE	218186,6	340825,2						
PRA	182421,4	281037,2	24	35765,2	70943,8	2,4697	23	0,0214

## ANEXO A - DADOS DE PISTA, PARA ENTRADA NO MODELO BASE

A planilha apresentada abaixo representa a movimentação de aeronaves do aeroporto no dia 13 de janeiro de 2001, registrada pela torre de controle.

data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	UAL0988	B762			SBGL	0001	VI	09L
130101	VRG8740	MD11			SBGL	0004	VI	09L
130101	VRG8706	B762	LPPT	0006			VI	09R
130101	VSP4297	B732			SBCF	0010	VI	09L
130101	VRG2091	B732	SBGL	0010			VI	09R
130101	TAM8095	A330			KMIA	0014	VI	09L
130101	TBA1300	B733	SBCY	0015			VI	09R
130101	ITB1582	E120	SBKP	0016			VV	09R
130101	VRG8633	B733			SBFL	0018	VI	09L
130101	TBA1270	B733	SBPA	0018			VI	09R
130101	TAM3803	F100			SBGL	0020	VI	09L
130101	ITB1574	E120	SBRP	0021			VI	09R
130101	LAN752	A320			SCEL	0023	VI	09L
130101	ITB1590	E120	SBCA	0024			VI	09R
130101	VRG8730	B763			SBGL	0026	VI	09L
130101	TAM3970	F100	SBCT	0027			VI	09R
130101	FLB9111	B727			SBGL	0029	VI	09L
130101	TBA1160	B733	SBRF	0030			VI	09R
130101	TBA1165	B733			SBGL	0032	VI	09L
130101	TBA1193	B733	SBCT	0032			VI	09R
130101	VSP4232	B732			SBCT	0034	VI	09L
130101	AZA673	B763	LIMC	0037			VI	09R
130101	VRG2124	B733	SBPA	0039			VI	09R
130101	TBA7602	B733	SAEZ	0042			VI	09R
130101	VRG8864	MD11			SBGL	0042	VV	09L
130101	TAM3816	F100	SBBR	0044			VI	09R
130101	ITB1584	E120	SBLO	0046			VI	09R
130101	VSP4356	B732			SBGL	0047	VV	09L
130101	TAM3078	AT42	SBRP	0048			VI	09R
130101	VRG2166	B733	SBF1	0050			VI	09R
130101	TAM3072	AT42	SBKP	0051			VV	09R
130101	TBA1161	B733	SBGL	0054			VI	09R
130101	VRG9460	B733			SBGL	0057	VI	09L
130101	VRG8643	B733	SBGL	0058			VI	09R
130101	TAM3827	F100	SBPA	0059			VI	09R
130101	ITB1578	E120	SBJV	0100			VI	09R
130101	VSP4201	A30B	SBPA	0104			VI	09R
130101	VRG2045	B732	SBCG	0106			VI	09R
130101	CDN3101	B763	CYYZ	0107			VI	09R
130101	VRG2327	B732			SBSV	0111	VI	09L
130101	TAM3883	F100	SBGL	0111			VI	09R
130101	TAM3572	F100			SBSR	0114	VI	09L
130101	TAM8089	F100	SGAS	0115			VI	09R
130101	TAM3804	F100	SBCG	0117			VI	09R

data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	COA30	DC10	KEWR	0119			VI	09R
130101	TAM3800	A320	SBSV	0122			VI	09R
130101	FLB9727	B722			SBGL	0124	VI	09L
130101	VRG8633	B733	SBCF	0125			VI	09R
130101	UAL0440	B772	KORD	0127			VI	09R
130101	TAM3876	A320	SBCY	0130			VI	09R
130101	TAM9890	F100	SBFZ	0131			VI	09R
130101	TAM3391	F100			SBUL	0136	VI	09L
130101	TBA1165	B733	SBGO	0139			VI	09R
130101	AAL906	B763	KMIA	0141			VI	09R
130101	TAM3578	F100			SBRP	0144	VI	09L
130101	UAL0732	B772	KMIA	0146			VI	09R
130101	UAL0988	B763	KJFK	0148			VI	09R
130101	TAM3570	F100			SBBU	0149	VI	09L
130101	ARG1160	B742			SAEZ	0151	VI	09L
130101	VSP4234	B732	SBBR	0154			VI	09R
130101	AAL950	B763	KJFK	0156			VI	09R
130101	TIB9542	E120			SBLO	0159	VI	09L
130101	VRG9460	B733	SBFZ	0201			VI	09R
130101	VRG9458	B733	SBJP	0202			VI	09L
130101	VSP4356	B732	SBCG	0204			VI	09L
130101	VRG9101	B721			SBBR	0206	VI	09L
130101	VRG8864	MD11	KJFK	0208			VI	09L
130101	BSI9924	B703			SBPA	0210	VI	09L
130101	VSP4421	B722			SBBR	0212	VI	09L
130101	TBA1399	B762			SBBR	0214	VI	09L
130101	TAM8096	A330	LFPG	0215			VI	09R
130101	DAL104	MD11	KATL	0217			VI	09L
130101	VRG8649	B737			SAEZ	0219	VI	09L
130101	VRG8720	MD11	LFPG	0221			VI	09L
130101	TTL9592	B722			SBCT	0222	VI	09R
130101	VRG8818	MD11	KMIA	0223			VI	09L
130101	VSP4423	B722			SBSV	0225	VI	09L
130101	VRG8730	B763	LIMC	0227			VI	09L
130101	VRG8740	MD11	EDDF	0230			VI	09L
130101	TTL9596	B722			SBCF	0232	VI	09L
130101	TAM8090	A330	KMIA	0234			VI	09L
130101	VRG8838	MD11			SBGL	0235	VI	09L
130101	TAM3574	F100			SBCG	0237	VI	09L
130101	COA94	B762	KIAH	0238			VI	09L
130101	NCT9423	B734			SBPL	0240	VI	09L
130101	VRG9466	B732	SBSV	0241			VI	09R
130101	VRG9057	B721			SBEG	0242	VI	09L
130101	AAL998	B763	KMIA	0245			VI	09L
130101	PTMEV	C208			SBLO	0247	VI	09R
130101	VRG8752	MD11	EGLL	0247			VI	09L
130101	AAL964	MD11	KDFW	0249			VI	09L
130101	TTL9554	AT42			SBGL	0251	VI	09L
130101	VSP4432	B732			SBCT	0253	VI	09L
130101	VRG8870	B762			SBGL	0257	VI	09L
130101	TAM3568	AT42			SBDN	0259	VI	09L
130101	VRG8710	B763			SBGL	0304	II	09L
130101	JAL47	B744	KJFK	0307			II	09L
130101	BSI9922	B703			SBSV	0308	II	09L
130101	VRG9456	B733	SBRF	0311			II	09L
130101	VSP4297	B732	SBCT	0313			II	09L

data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	TBA1399	B762	SBGL	0316			II	09L
130101	BRB9035	B733			SBNT	0320	II	09L
130101	VSP9673	B732			SBGL	0325	II	09L
130101	TPU1027	A319			SPIM	0348	II	09L
130101	ARG1160	B742	LEMD	0348			II	09L
130101	VRG8838	MD11	KLAX	0353			II	09L
130101	VRG8870	B762	MMMX	0358			II	09L
130101	TBA1398	B762			SBGL	0408	II	09L
130101	BSI9001	B703	SBEG	0412			II	09L
130101	NES9394	B735			SBGL	0415	II	09L
130101	VRG8710	B763	LEMD	0425			II	09L
130101	TTL9551	AT42	SBGL	0430			IV	09L
130101	TTL9550	AT42			SBGL	0439	II	09L
130101	TAM9741	F100			SBPS	0508	II	09L
130101	TAM9803	F100			SBPS	0511	II	09L
130101	VSP4434	B732	SBBR	0513			II	09L
130101	VRG9052	B721			SBPA	0522	II	09L
130101	TIB9543	E120	SBLO	0525			II	09L
130101	VRG9100	B721	SBBR	0531			II	09L
130101	BSI9925	B703	SBSV	0533			II	09L
130101	NES9395	B735	SBSV	0536			II	09L
130101	VSP4424	B722	SBGL	0543			II	09L
130101	TAM9741	F100	SBKP	0545			II	09L
130101	TAM9803	F100	SBSJ	0547			IV	09L
130101	TAM3571	F100	SBBU	0549			II	09L
130101	TAM3569	AT42	SBDN	0552			II	09L
130101	TAM3573	F100	SBSR	0555			II	09L
130101	TAM3575	F100	SBCG	0559			II	09L
130101	TAM3579	F100	SBRP	0601			II	09L
130101	TBA1398	B762	SBBR	0608			II	09L
130101	TTL9551	AT42	SBGL	0611			II	09L
130101	TTL9597	B722	SBCF	0614			II	09L
130101	BSI9923	B703	SBPA	0616			II	09L
130101	TAM3390	F100	SBUL	0620			II	09L
130101	VSP4422	B722	SBSV	0623			II	09L
130101	VSP4427	B732	SBCT	0629			II	09L
130101	TTL9593	B722	SBCT	0648			II	09L
130101	VRG9052	B721	SBSV	0659			II	09L
130101	VRG9461	B733			SBDZ	0717	II	09L
130101	VRG9467	B733			SBSV	0732	II	09L
130101	VRG8743	MD11			EDDM	0737	II	09L
130101	VSP4357	B732			SBCG	0757	II	09L
130101	VRG8877	B763			MMUN	0801	II	09L
130101	BLC8097	A332			LFPG	0806	II	09L
130101	VRG8943	B767			SVMI	0823	II	09L
130101	AAL995	B763			KDFW	0832	II	09L
130101	VRG8721	MD11			LFPG	0836	II	09L
130101	VRG9461	B733	SBGL	0837			II	09L
130101	VRG9995	MD11	SBGL	0839			II	09L
130101	TAM9891	F100			SBFZ	0841	II	09L
130101	TBA1301	B733			SBCY	0845	II	09L
130101	VRG8819	MD11			KMIA	0900	II	09L
130101	VRG8877	B762	SBGL	0902			II	09L
130101	BLC8091	A330			KMIA	0906	II	09L
130101	VRG8837	MD11			KLAX	0907	II	09L
130101	LAN753	EA32	SCEL	0910			II	09L

data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	VRG8741	MD11			EDDF	0912	II	09L
130101	TAM8097	F100	SBGL	0914			II	09L
130101	CUB350	DC10			MUHA	0917	II	09L
130101	VRG8943	B762	SBGL	0920			II	09L
130101	VRG8715	B763			LEMD	0920	II	09L
130101	VRG8937	B737			SPIM	0925	II	09L
130101	TBA1301	B733	SBGL	0927			II	09L
130101	DLH502	A343			EDDF	0930	II	09L
130101	VRG8757	MD11			EGLL	0934	II	09L
130101	BRB9036	B737	SBRF	0935			II	09L
130101	SWR148	MD11			LSZH	0936	II	09L
130101	VSP4233	B732	SBCT	0937			II	09L
130101	VSP9296	B737			SBSP	0939	II	09L
130101	LAP710	F100			SGAS	0941	II	09L
130101	VRG9457	B733			SBRF	0943	II	09L
130101	TPU1026	A319	SPIM	0945			II	09L
130101	PTMEV	C208	SBSP	0947			II	09L
130101	VSP4296	B732			SBCT	0948	II	09L
130101	VRG2155	B733			SBCT	0951	II	09L
130101	TAM3805	F100			SBCG	0953	II	09L
130101	IBE6825	A343			LEMD	0955	II	09L
130101	TAM3077	AT42			SBRP	0957	II	09L
130101	TAM3877	A320			SBCY	0959	II	09L
130101	VRG9650	B732	SBSV	1000			II	09L
130101	VRG2203	B737			SBEG	1002	II	09L
130101	PTMSK	C650	SBTC	1002			II	09L
130101	VRG2044	B732			SBCG	1004	II	09L
130101	VRG2256	B734			SBFL	1006	II	09L
130101	VRG8721	MD11	SBPA	1008			II	09L
130101	VRG8865	MD11			KJFK	1009	II	09L
130101	VBR9014	B727	SBGL	1010			II	09L
130101	TAM3882	F100			SBGL	1012	II	09L
130101	TAM3071	AT42			SBKP	1014	II	09L
130101	ITB1591	E120			SBCH	1015	II	09L
130101	VRG2245	B732			SBBR	1018	II	09L
130101	TAM3826	A320			SBPA	1020	II	09L
130101	VRG2167	B733			SBFI	1022	II	09L
130101	DAL105	MD11			KATL	1024	II	09L
130101	TAM3971	F100			SBCT	1026	II	09L
130101	FLB9330	B737	SBGL	1026			II	09L
130101	AVA085	B767			SKBO	1028	II	09L
130101	TBA1192	B733			SBCT	1030	II	09L
130101	ITB1575	E120			SBRP	1032	II	09L
130101	KAL061	B744			KLAX	1034	II	09L
130101	VRG2123	B733			SBPA	1037	II	09L
130101	PTWJZ	C550			SDDN	1039	II	09L
130101	TBA1271	B733			SBPA	1041	II	09L
130101	VSP4357	B737	SBGL	1041			II	09L
130101	VRG9459	B733			SBNT	1043	II	09L
130101	TBA7603	B733			SAEZ	1045	II	09L
130101	NCT9418	B734	SBFZ	1045			II	09L
130101	ITB1583	E120			SBKP	1047	IV	09L
130101	VRG8733	B763			SBGL	1049	II	09L
130101	VRG8640	MD11	SAEZ	1050			II	09L
130101	BAW2247	B744			EGKK	1051	II	09L
130101	VRG8757	MD11	SBGL	1052			II	09L

data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	VSP4200	A30B			SBPA	1053	II	09L
130101	VSP4264	A30B	SBSV	1054			II	09L
130101	TBA7606	B733			SBGL	1055	II	09L
130101	VRG2090	B732			SBGL	1058	II	09L
130101	VSP4296	B732	SBCF	1100			II	09L
130101	TBA1150	B733			SBGO	1100	II	09L
130101	TBA1169	B733			SBBR	1103	II	09L
130101	TAM3826	F100	SBBR	1103			II	09L
130101	TBA7677	B767			KMIA	1105	II	09L
130101	VRG2150	B733	SBCT	1105			II	09L
130101	KLM795	B744			EHAM	1107	II	09L
130101	TAM3802	A320	SBGL	1108			II	09L
130101	TAM3076	AT42	SBRP	1109			II	09L
130101	FAB2508	C91A			SBGL	1110	II	09L
130101	PRGOB	B737			GCLP	1113	IV	09L
130101	SWR148	MD11	SCEL	1114			II	09L
130101	VRG8632	B733			SBCF	1115	II	09L
130101	VRG8865	MD11	SBGL	1116			II	09L
130101	ITB1579	E120			SBNF	1117	II	09L
130101	TAM3070	AT42	SBKP	1117			IV	09L
130101	VRG2259	B732			SBBR	1120	II	09L
130101	TAM3880	A330	SBFZ	1122			II	09L
130101	TAM3848	A330	SBRF	1123			II	09L
130101	AAL907	B763			KMIA	1125	II	09L
130101	TAM3770	A320	SBSV	1126			II	09L
130101	TAM3821	F100	SBNF	1127			II	09L
130101	VRG8819	B733	SBCF	1128			II	09L
130101	VRG2111	B734			SBPA	1129	II	09L
130101	DAL105	B762	SBGL	1131			II	09L
130101	VRG2256	B734	SBBR	1134			II	09L
130101	TAM3780	F100	SBPA	1135			II	09L
130101	AVA085	B762	SBGL	1137			VI	09L
130101	LAP709	F100	SGES	1138			VI	09L
130101	VRG2044	B732	SBGL	1140			VI	09L
130101	PUA0231	B732	SUMU	1141			VI	09L
130101	ITB1585	E120			SBMG	1143	VI	09L
130101	VRG2331	B733			SBSV	1149	VI	09L
130101	VRG2308	B733	SBSV	1151			VI	09L
130101	TBA7606	B733	SAEZ	1152			VI	09L
130101	VSP4200	A30B	SBBR	1155			VI	09L
130101	VRG8880	B733	SLVR	1156			VI	09L
130101	FAB2510	C91A			SBGL	1156	VI	09L
130101	BAW2247	B744	SBGL	1202			VI	09L
130101	ITB1588	E120	SBCA	1203			VI	09L
130101	CUB351	DC10	MUHA	1207			VI	09L
130101	VRG8642	B733	SACO	1208			VI	09L
130101	VRG8629	B737			SAEZ	1209	VI	09L
130101	ITB1508	E120	SBLO	1210			VI	09L
130101	VRG8920	B762			SBGL	1213	VI	09L
130101	TBA1154	B733	SBRF	1213			VI	09L
130101	ITB1524	E120	SBKP	1215			VV	09L
130101	ITB1516	E120	SBNF	1216			VI	09L
130101	PUA0222	B732			SUMU	1217	VI	09L
130101	VSP4235	B732			SBBR	1220	VI	09L
130101	VRG2090	B732	SBCG	1221			VI	09L
130101	TAM3809	F100			SBRF	1223	VI	09L

data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	COA31	DC10			KEWR	1224	VI	09L
130101	VRG8616	B733	SAEZ	1224			VI	09L
130101	ARG1416	MD88			SAEZ	1226	VI	09L
130101	VRG2112	B732	SBPA	1227			VI	09L
130101	VRG2344	B733	SBRF	1228			VI	09L
130101	PTWJZ	C550	SBBT	1230			VI	09L
130101	AAL999	B763			KMIA	1230	VI	09L
130101	VRG2393	B732			SBBR	1232	VI	09L
130101	VRG8631	B737			SAEZ	1234	VI	09L
130101	VRG8632	B733	SBFL	1234			VI	09L
130101	VRG2136	B732	SBNF	1237			VI	09L
130101	TAM3801	A320			SBSV	1239	VI	09L
130101	KLM795	B744	SAEZ	1241			VI	09L
130101	TAM3817	F100			SBBR	1242	VI	09L
130101	TBA1150	B733	SBSV	1243			VI	09L
130101	VRG2373	B733			SBFZ	1243	VI	09L
130101	VRG8840	B763	KLAX	1245			VI	09L
130101	UAL733	B772			KMIA	1247	VI	09L
130101	TBA1271	B733	SBFZ	1248			VI	09L
130101	TBA1159	B733	SBGL	1249			VI	09L
130101	AMX014	B762			MMMX	1249	VI	09L
130101	VRG8902	B733	SGAS	1252			VI	09L
130101	VSP4426	B732			SBFL	1252	VI	09L
130101	VSP4425	B722			SBSV	1254	VI	09L
130101	TBA1192	B733	SBBR	1255			VI	09L
130101	VSP4257	B732			SBSV	1256	VI	09L
130101	FAB2510	C91A	SBFI	1257			VI	09L
130101	VRG9823	B733			SBPA	1259	VI	09L
130101	VRG2151	B733			SBCT	1301	VI	09L
130101	TBA1105	B733			SBGL	1303	VI	09L
130101	VRG2200	B763	SBEG	1304			VI	09L
130101	UAL441	B772			KORD	1305	VI	09L
130101	TBA1163	B733			SBRF	1307	VI	09L
130101	TAM3817	F100	SBCT	1308			VI	09L
130101	AAL963	MD11			KDFW	1309	VI	09L
130101	AAL951	B763			KJFK	1311	VI	09L
130101	VRG8920	B762	SCEL	1312			VI	09L
130101	BSI9002	B703			SBEG	1314	VI	09L
130101	ITB1500	E120	SBRP	1314			VI	09L
130101	VRG2375	B734	SBFZ	1316			VI	09L
130101	TBA1141	B733			SBBR	1317	VI	09L
130101	TAM3940	F100	SBCF	1319			VI	09L
130101	VRG2369	B733			SBRF	1322	VI	09L
130101	FLB9100	B727	SBGL	1324			VV	09L
130101	VSP4295	B732			SBCF	1325	VI	09L
130101	ARG1417	MD80	SAEZ	1327			VI	09L
130101	VRG2329	B733			SBBR	1330	VI	09L
130101	VRG9728	MD11	SAEZ	1331			VI	09L
130101	TBA1149	B733			SBSV	1334	VI	09L
130101	N4PG	GLF4	SAEZ	1334			VI	09L
130101	PUA0223	B732	SUMU	1336			VI	09L
130101	COA93	B762			KIAH	1339	VI	09L
130101	VRG2397	B732	SBMO	1341			VI	09L
130101	UAL987	B763			KJFK	1342	VI	09L
130101	VRG2348	B733	SBRF	1344			VI	09L
130101	CDN3100	B767			CYYZ	1345	VI	09L



data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	TAM3811	F100			SBGL	1347	VI	09L
130101	TBA1181	B734			SBFZ	1352	VI	09L
130101	VRG8923	B737			SCEL	1356	VI	09L
130101	VSP4341	B732	SBFI	1358			VI	09L
130101	AVA0086	B762			SBGL	1405	VI	09L
130101	VSP4254	B732	SBSV	1410			VI	09L
130101	VRG8631	B737	SBSV	1415			VI	09L
130101	TBA1105	B733	SBFI	1423			VI	09L
130101	TAM3811	F100	SBCT	1425			VI	09L
130101	TAM8094	A330	KMIA	1427			VI	09L
130101	VRG2329	B733	SBPA	1428			VI	09L
130101	TAM3964	A320	SBFI	1431			VI	09L
130101	TBA1149	B733	SBFL	1433			VI	09L
130101	VSP4230	B732			SBFL	1435	VI	09L
130101	AAL907	B763	SGAS	1436			VI	09L
130101	TBA1141	B733	SBCT	1438			VI	09L
130101	VSP4195	B732			SBGL	1440	VI	09L
130101	VRG2156	B733	SBCT	1441			VI	09L
130101	UAL0987	B762	SBGL	1443			VI	09L
130101	VRG8619	B737			SAEZ	1446	VI	09L
130101	VRG8610	B733	SAEZ	1447			VI	09L
130101	VSP4261	B732			SBGL	1449	VI	09L
130101	AMX015	B762	MMMX	1451			VI	09L
130101	AAL999	B763	SUMU	1452			VI	09L
130101	TBA1101	B762			SBEG	1457	VI	09L
130101	TBA1181	B762	SBPA	1459			VI	09L
130101	VRG9651	B732			SBSV	1505	VI	09L
130101	VRG2323	B733			SBSV	1509	VI	09L
130101	CDN3100	B767	SAEZ	1511			VI	09L
130101	TAM9818	F100			SBCX	1513	VV	09L
130101	VRG2251	B733			SBGL	1516	VI	09L
130101	VRG8923	B737	SBSV	1518			VI	09L
130101	VSP4330	B732	SBRP	1524			VI	09L
130101	VSP4195	A30B	SBPA	1530			VI	09L
130101	VRG9824	B733	SBSP	1532			VI	09L
130101	VRG8841	B767			KLAX	1535	VI	09L
130101	VSP4358	B732	SBSR	1536			VI	09L
130101	VRG2113	B732			SBPA	1541	VI	09L
130101	FAB2285	C95	SBMT	1544			VV	09L
130101	VRG2165	B734			SBCT	1546	VI	09L
130101	VRG2047	B732			SBVT	1548	VI	09L
130101	TAM9818	F100	SBNT	1549			VI	09L
130101	TBA9940	B733	SBEG	1551			VI	09L
130101	VSP4261	B732	SBCT	1552			VI	09L
130101	VRG8942	B762			SBGL	1559	VI	09L
130101	VRG2323	B733	SBPA	1600			VI	09L
130101	VRG2251	B733	SBFI	1607			VI	09L
130101	TAM3771	A320			SBSV	1609	VI	09L
130101	LAN750	A320			SCEL	1614	VI	09L
130101	VRG2240	B732	SBBR	1618			VI	09L
130101	BRB9037	B733			SBRF	1620	VI	09L
130101	FAB2511	C91A			SBGL	1623	VI	09L
130101	VSP4246	B732	SBCF	1628			VI	09L
130101	VRG8841	B763	SBGL	1630			VI	09L
130101	VRG2352	B733	SBRF	1633			VI	09L
130101	TBA7679	B763	KMCO	1637			VI	09L

data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	TAM3875	F100			SBCT	1638	VI	09L
130101	VRG2318	B733	SBSV	1641			VI	09L
130101	VRG2136	B732			SBJV	1644	VI	09L
130101	VRG2164	B734	SBCT	1645			VI	09L
130101	VRG2309	B733			SBSV	1647	VI	09L
130101	VRG2157	B733			SBCT	1650	VI	09L
130101	VRG2137	B732	SBJV	1654			VI	09L
130101	ITB1517	E120			SBNF	1658	VI	09L
130101	LAN750	A320	SBGL	1700			VI	09L
130101	DLH503	A343	EDDF	1705			VI	09L
130101	LLB942	B733			SLVR	1723	VI	09L
130101	FAB2511	C91A	SBFI	1728			VI	09L
130101	VSP4428	B722	SBSL	1734			II	09L
130101	ITB1525	E120			SBSP	1736	IV	09L
130101	VSP4245	B732			SBCF	1738	II	09L
130101	TBA1140	B733			SBCT	1741	II	09L
130101	BRB9032	B733	SBTE	1743			II	09L
130101	VSP4340	B732			SBFI	1744	II	09L
130101	TAM3772	A320	SBSV	1746			II	09L
130101	TBA7607	B733			SAEZ	1749	II	09L
130101	TBA1158	B733			SBGL	1753	II	09L
130101	VRG2322	B733			SBPA	1756	II	09L
130101	TBA1148	B733			SBFL	1811	II	27L
130101	VRG8748	MD11			SBGL	1815	II	27L
130101	TBA1146	B733			SBFI	1817	II	27L
130101	ITB1509	E120			SBLO	1819	II	27L
130101	TAM9819	F100			SBFZ	1823	II	27L
130101	TBA1180	B733			SBPA	1825	II	27L
130101	VRG9073	B721			SBNT	1829	II	27L
130101	VRG2118	B733	SBPA	1830			II	27R
130101	VRG9059	B721			SBEG	1833	II	27L
130101	VRG2046	B732	SBVT	1834			II	27R
130101	TBA1144	B733			SBRF	1835	II	27L
130101	VRG2322	B733	SBSV	1837			II	27R
130101	VSP4231	B732	SBFL	1839			II	27R
130101	VRG2096	B732	SBGO	1842			II	27R
130101	BAW2246	B744			SBGL	1847	II	27L
130101	TAM3820	F100	SBCT	1848			II	27R
130101	PTYVG	BH06			SDPE	1852	IV	27L
130101	TAM9819	F100	SBCX	1853			II	27R
130101	VRG2241	B732			SBBR	1859	II	27L
130101	TBA7607	B733	SBGL	1902			II	27R
130101	ITB1501	E120			SBRP	1906	II	27L
130101	PTYVG	BH06	SBMT	1908			IV	27R
130101	VSP9194	B732			SBPA	1909	II	27L
130101	NCT9419	B734			SBRF	1911	II	27L
130101	TBA1140	B733	SBBR	1912			II	27R
130101	TAM3941	F100			SBGL	1915	II	27L
130101	LLB0941	B722	SLVR	1916			II	27R
130101	FAB2508	C91	SBGL	1918			II	27R
130101	ITB1581	E120	SBLO	1921			II	27R
130101	VSP4255	B732			SBSV	1924	II	27L
130101	ITB1502	E120	SBRP	1924			II	27R
130101	VRG2328	B733			SBPA	1926	II	27L
130101	TBA1146	B733	SBRF	1927			II	27R
130101	SWR149	MD11			SCEL	1927	II	27L

data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	TBA1158	B733	SBPA	1929			II	27R
130101	TBA1144	B733	SBCT	1931			II	27R
130101	ITB1573	E120	SBJV	1933			II	27R
130101	VSP4194	B732			SBPA	1935	II	27L
130101	VRG8894	B762			SBGL	1938	II	27L
130101	TBA1148	B733	SBSV	1939			II	27R
130101	VRG2250	B733			SBFI	1940	IV	27L
130101	TAM3969	F100			SBPA	1943	II	27L
130101	TBA1180	B762	SBFZ	1945			II	27R
130101	LAN751	A320			SBGL	1946	II	27L
130101	TAM3965	A320			SBFI	1948	II	27L
130101	VBR9013	B722			SBGL	1951	II	27L
130101	VRG8748	MD11	EDDF	1952			II	27R
130101	KLM796	B744			SAEZ	1953	II	27L
130101	VRG8922	B737			SBSV	1956	II	27L
130101	VRG8942	B762	SVMI	1957			II	27R
130101	IBE6824	A343	LEMD	2002			II	27R
130101	VSP9194	B732	SBGL	2006			II	27R
130101	VRG8936	B737			SBGL	2007	II	27L
130101	ITB1526	E120	SBBU	2008			II	27R
130101	VRG9729	MD11			SAEZ	2010	II	27L
130101	VRG2326	B732	SBSV	2011			II	27R
130101	TAM3810	F100			SBCT	2017	II	27L
130101	VSP4331	B732			SBRP	2021	II	27L
130101	VSP4194	B732	SBGL	2026			II	27R
130101	VSP4260	B732			SBCT	2026	II	27L
130101	TAM3968	F100	SBCT	2028			II	27R
130101	VSP4262	B732	SBGO	2029			II	27R
130101	VRG2396	B732			SBMO	2030	II	27L
130101	ARG1418	B732			SAEZ	2033	II	27L
130101	VSP4359	B732			SBSR	2036	II	27L
130101	VRG2328	B733	SBBR	2037			II	27R
130101	PTWEK	BE58			SBML	2040	II	27L
130101	VRG2250	B733	SBGL	2040			II	27R
130101	BAW2246	B744	EGKK	2042			II	27R
130101	VRG8611	B737			SAEZ	2048	II	27L
130101	VRG2152	B733	SBCT	2049			II	27R
130101	FLB9331	B722			SBGL	2051	II	27L
130101	TAM3992	F100	SBCF	2052			II	27R
130101	FAB2285	C95A			SBGL	2055	II	27L
130101	LAN751	A320	SCEL	2059			II	27R
130101	TAM3810	F100	SBGL	2101			II	27R
130101	VRG8894	B762	SKBO	2103			II	27R
130101	SWR149	MD11	LSZH	2106			II	27R
130101	VRG9076	B721	SBSV	2108			II	27R
130101	VRG8707	B762			LPPT	2109	II	27L
130101	PTWEK	BE58	SBML	2110			II	27R
130101	VRG8922	B737	SCEL	2114			II	27R
130101	TAM9618	F100			SBCT	2115	II	27L
130101	VRG9821	MD11	SBGL	2118			II	27R
130101	VRG2137	B732			SBNF	2120	II	27L
130101	VRG8936	B737	SPIM	2122			II	27R
130101	VRG2345	B733			SBRF	2122	II	27L
130101	VRG2119	B733			SBPA	2124	II	27L
130101	VRG2201	B763			SBEG	2126	II	27L
130101	VRG8903	B733			SGAS	2128	II	27L

data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	KLM796	B747	EHAM	2128			II	27R
130101	AVA086	B762	SKBO	2130			II	27R
130101	AFR456	B772			LFPG	2131	II	27L
130101	VSP4294	B732	SBBR	2132			II	27R
130101	VRG8881	B733			SLVR	2134	II	27L
130101	VSP4260	B732	SBGL	2135			II	27R
130101	VSP9500	B732	SBSP	2136			II	27R
130101	VRG2319	B733			SBSV	2137	II	27L
130101	VRG2392	B732	SBBR	2139			II	27R
130101	TAM3079	AT42			SBRP	2142	II	27L
130101	VSP4256	B732	SBSV	2143			II	27R
130101	ARG1419	MD80	SAEZ	2145			II	27R
130101	TAM9816	F100			SBCT	2146	II	27L
130101	TAM3874	F100			SBNF	2148	II	27L
130101	VRG8618	B733	SAEZ	2152			II	27R
130101	AZA672	B763			LIMC	2153	II	27L
130101	TAM3800	A320	SBSV	2154			II	27R
130101	VRG8921	B767			SCEL	2155	II	27L
130101	TBA1143	B733			SBCT	2158	II	27L
130101	VRG2097	B732			SBGO	2200	II	27L
130101	VRG2374	B734			SBFZ	2202	II	27L
130101	TBA7691	B763			LPPT	2204	II	27L
130101	VRG8707	B762	SBGL	2207			II	27R
130101	VRG2349	B733			SBRF	2209	II	27L
130101	VRG9050	B721	SBRF	2212			II	27R
130101	TBA1151	B733			SBSV	2214	II	27L
130101	TAM3073	AT42			SBKP	2216	II	27L
130101	TBA1155	B733			SBRF	2218	II	27L
130101	VRG2244	B732	SBBR	2221			II	27R
130101	TAM3781	FK10			SBPA	2223	II	27L
130101	TAM9618	F100	SBNT	2225			II	09L
130101	TBA1153	B733			SBGL	2225	II	27L
130101	VRG8628	B733	SAEZ	2227			II	09L
130101	VRG2202	B733	SBEG	2230			II	09L
130101	VRG2091	B732			SBCG	2234	II	09L
130101	VRG2257	B734			SBBR	2236	II	09L
130101	VRG8630	B737			SBSV	2239	II	09L
130101	ITB9581	E120			SBMG	2241	II	09L
130101	TBA1193	B733			SBBR	2243	IV	09L
130101	TAM9816	F100	SBFZ	2244			II	09L
130101	ITB1573	E120			SBNF	2245	II	09L
130101	CMP701	B737			MPTO	2247	II	09L
130101	TBA1160	B733			SBPA	2249	II	09L
130101	VRG2368	B733	SBRF	2250			II	09L
130101	TAM8096	FK10			SBGL	2252	IV	09L
130101	VSP4297	B732			SBCF	2254	II	09L
130101	TAM3849	A330			SBRF	2255	II	09L
130101	VRG2153	B733			SBCT	2257	II	09L
130101	VRG8921	B762	SBGL	2258			II	09L
130101	TBA1270	B733			SBFZ	2300	II	09L
130101	LAP708	FK10			SGES	2302	IV	09L
130101	CDN3101	B763			SAEZ	2304	II	09L
130101	TAM3881	A330			SBFZ	2306	II	09L
130101	VRG2330	B733	SBSV	2307			II	09L
130101	TAM3773	A320			SBSV	2308	II	09L
130101	ITB1503	E120			SBRP	2310	II	09L

data	vôo	equip.	ARPT destino	DEP time	ARPT origem	ARR time	regra	pista
130101	TAM3808	F100	SBRF	2311			II	09L
130101	ITB1589	E120			SBCA	2312	II	09L
130101	VRG9064	B721	SBPA	2314			II	09L
130101	VSP4201	A30B			SBBR	2314	II	09L
130101	FAB2711	LJ35			SBGL	2317	II	09L
130101	TAM3993	F100			SBCF	2319	II	09L
130101	AFR455	B772	LFPG	2321			II	09L
130101	VSP4265	A30B			SBSV	2321	II	09L
130101	VRG2045	B732			SBGL	2323	II	09L
130101	VRG2353					2325	IV	09L
130101	VRG8633	B733			SBFL	2327	II	09L
130101	VRG8643	B737			SACO	2328	II	09L
130101	VRG2372	B733	SBFZ	2329			II	09L
130101	TAM3816	F100			SBCT	2330	II	09L
130101	TAM9630	F100			SBFC	2333	II	09L
130101	VRG8720	MD11			SBPA	2334	II	09L
130101	VRG8630	B737	SAEZ	2335			II	09L
130101	VSP4291	B732			SBGO	2337	II	09L
130101	AAL998	B763			SUMU	2338	II	09L
130101	VRG8732	B763	SBGL	2339			II	09L
130101	ITB1527	E120			SBSR	2340	II	09L
130101	AZA675	B763	LIRF	2341			II	09L
130101	VSP9671	B722			SBEG	2342	II	09L
130101	UAL0988	B762			SBGL	2345	II	09L
130101	VRG2257	B734	SBFL	2346			II	09L
130101	PUA0230	B732			SUMU	2348	II	09L
130101	TAM3827	F100			SBBR	2349	II	09L
130101	VSP4232	B732			SBCT	2351	II	09L
130101	VRG8641	MD11			SAEZ	2353	II	09L
130101	TBA7602	B733	SAEZ	2358			II	09L

## ANEXO B - DADOS DE PÁTIO, PARA CALIBRAÇÃO DO MODELO BASE

A planilha apresentada abaixo apresenta a alocação de aeronaves às posições de pátio, no dia 13 de janeiro de 2001, registrada pela gerência de operações. Estes dados foram utilizados para calibração do modelo base, no que diz respeito ao tempo médio de ocupação das posições.

Cia. aérea	vôo	equip.	posição	data de entrada	hora de entrada	data de saída	hora de saída
VRG	59101	B727	F15	20010113	0018	20010113	0322
VSP	54421	B727	F08	20010113	0024	20010113	0335
BSI	59924	B707	F05	20010113	0027	20010113	0325
TTL	59592	B727	G03	20010113	0032	20010113	0439
VSP	54423	B727	F04	20010113	0037	20010113	0416
TTL	59596	B727	F00	20010113	0040	20010113	0404
VRG	08838	MD11	I01	20010113	0044	20010113	0147
TAM	53574	FK10	F14C	20010113	0046	20010113	0350
VRG	59057	B727	F13	20010113	0051	20010113	0351
NCT	99423	B7374	H03	20010113	0051	20010113	0151
TIB	59542	C208	J10	20010113	0055	20010113	0740
TTL	59554	ATR42	F02A	20010113	0100	20010113	0219
VSP	54432	B737	F10	20010113	0102	20010113	0307
VRG	08870	B767	I07	20010113	0104	20010113	0152
VRG	08710	B7673	I09	20010113	0112	20010113	0217
BSI	59922	B707	F07	20010113	0120	20010113	0405
BRB	99035	B7373	H10	20010113	0126	20010113	0336
NCT	99423	B7374	H03	20010113	0151	20010113	0526
TPU	00027	EA19	I05	20010113	0154	20010113	0254
TBA	01398	B7673	H09	20010113	0214	20010113	0401
NES	99394	B7375	H08	20010113	0219	20010113	0327
TTL	59550	ATR42	F02	20010113	0244	20010113	0404
TPU	00027	EA19	I05	20010113	0254	20010113	0523
TAM	99741	FK10	H06	20010113	0314	20010113	0336
TAM	99803	FK10	H04	20010113	0318	20010113	0340
VRG	59052	B727	F15	20010113	0330	20010113	0452
BRB	99035	B7373	I10	20010113	0339	20010113	0529
VRG	59057	B727	F13	20010113	0351	20010113	2102
VRG	99461	B7373	H01	20010113	0523	20010113	0630
TPU	00027	EA19	I05	20010113	0524	20010113	0733
NCT	99423	B7374	H03	20010113	0526	20010113	0830
BRB	99035	B7373	H06	20010113	0533	20010113	0721
VRG	99467	B737	H04	20010113	0537	20010113	0600
VRG	08743	MD11	H00	20010113	0544	20010113	0630
VSP	04357	B737	H09	20010113	0605	20010113	0729
VRG	99467	B737	F10	20010113	0606	20010113	0752
VRG	08877	B767	I09	20010113	0606	20010113	0652
TAM	08097	EA33	H08	20010113	0611	20010113	0906
VRG	08943	B767	I01	20010113	0630	20010113	0708
AAL	00995	B7673	F05	20010113	0639	20010113	0939
VRG	08721	MD11	H00	20010113	0642	20010113	0803
TAM	99891	FK10	H02	20010113	0647	20010113	0709
TBA	01301	B7373	H05	20010113	0651	20010113	0720

Cia. aérea	vôo	equip.	posição	data de entrada	hora de entrada	data de saída	hora de saída
VRG	08819	MD11	I03	20010113	0706	20010113	0835
TAM	08091	EA33	H04	20010113	0711	20010113	0904
VRG	08837	MD11	I01	20010113	0714	20010113	0745
VRG	08741	MD11	F15	20010113	0720	20010113	1020
CUB	00350	DC10	I09	20010113	0725	20010113	0955
VRG	08715	B7673	F00	20010113	0727	20010113	0927
VRG	08937	B7377	I07	20010113	0732	20010113	1006
VRG	08757	MD11	H02	20010113	0740	20010113	0839
SWR	00148	MD11	G00	20010113	0742	20010113	0857
VSP	69296	B7373	H05	20010113	0743	20010113	0831
TAM	00710	FK10	I05	20010113	0747	20010113	0929
VRG	99457	B7373	F02	20010113	0750	20010113	0853
DLH	00502	EA34	I01	20010113	0750	20010113	0839
VRG	08837	MD11	F07	20010113	0753	20010113	0800
VSP	04296	B737	H09	20010113	0754	20010113	0851
VRG	02155	B7373	G03	20010113	0757	20010113	0947
TAM	03805	FK10	I04B	20010113	0757	20010113	0912
VRG	08837	MD11	F07	20010113	0800	20010113	1117
IBE	06825	EA34	H01	20010113	0801	20010113	0850
TAM	03077	ATR42	I08A	20010113	0801	20010113	0858
TAM	03877	EA32	J03	20010113	0803	20010113	0914
VRG	02203	B7373	H06	20010113	0806	20010113	0918
VRG	02044	B737	F10	20010113	0810	20010113	0925
VRG	08865	MD11	H00	20010113	0816	20010113	0902
TAM	03882	FK10	I04A	20010113	0816	20010113	0925
VRG	02256	B7374	H10	20010113	0818	20010113	0924
TAM	03071	ATR42	I10	20010113	0819	20010113	0903
ITB	01591	E120	J02A	20010113	0819	20010113	0955
TAM	03826	EA32	I02	20010113	0824	20010113	0853
VRG	02245	B737	F08	20010113	0826	20010113	1012
VRG	02167	B7373	G09	20010113	0829	20010113	0946
DAL	00105	MD11	G10	20010113	0831	20010113	0916
TAM	03971	FK10	I06A	20010113	0832	20010113	0853
ITB	01575	E120	J04	20010113	0834	20010113	1004
AVA	00085	B767	G07	20010113	0835	20010113	0925
TBA	01192	B7373	H05	20010113	0838	20010113	1043
KAL	00061	B7474	I01	20010113	0843	20010113	0939
VRG	02123	B7373	G05	20010113	0844	20010113	0957
GAV		C550	CA3	20010113	0846	20010113	1023
TBA	01271	B7373	H07	20010113	0848	20010113	1029
TBA	07603	B7373	H03	20010113	0850	20010113	1001
ITB	01583	E120	J06	20010113	0850	20010113	1006
VRG	99459	B7373	F02	20010113	0855	20010113	1012
DLH	00502	EA34	F04	20010113	0855	20010113	1325
VRG	08733	B7673	H02	20010113	0855	20010113	1036
BAW	02247	B7474	G04	20010113	0858	20010113	0955
VSP	04200	EA30	H09	20010113	0859	20010113	0942
IBE	06825	EA34	F12	20010113	0900	20010113	1559
TBA	01169	B7373	H01	20010113	0906	20010113	1030
TBA	01150	B7373	G00	20010113	0907	20010113	1025
TBA	07606	B7373	G06	20010113	0907	20010113	0944
KLM	00795	B7474	G02	20010113	0913	20010113	1021
VRG	08632	B7373	I03	20010113	0919	20010113	1015
TBA	07677	B767	G10	20010113	0920	20010113	1044
VRG	02090	B737	H06	20010113	0920	20010113	1005
ITB	01579	E120	J08	20010113	0924	20010113	1002
VRG	02259	B737	H10	20010113	0927	20010113	1020
VRG	08715	B7673	H04	20010113	0931	20010113	1047
VRG	02111	B7374	H08	20010113	0936	20010113	1108

Cia. aérea	vôo	equip.	posição	data de entrada	hora de entrada	data de saída	hora de saída
AAL	00907	B7673	I05	20010113	0937	20010113	1221
AAL	00995	B7673	F05	20010113	0939	20010113	2148
GLO	61951	B7373	F14	20010113	0942	20010113	0942
GLO	61951	B7373	F14	20010113	0942	20010113	0942
KAL	00061	B7474	I02	20010113	0944	20010114	0001
ITB	01585	E120	J09	20010113	0950	20010113	1104
VRG	02331	B7373	H00	20010113	0956	20010113	1036
VRG	08629	B7373	I09	20010113	1014	20010113	1233
VRG	08920	B767	I01	20010113	1016	20010113	1100
VRG	08741	MD11	F15	20010113	1020	20010113	2352
PUA	00222	B737	F10	20010113	1026	20010113	1125
VSP	04235	B737	H09	20010113	1030	20010113	1149
COA	00031	DC10	G00	20010113	1031	20010113	1116
TAM	03809	FK10	H06	20010113	1032	20010113	1054
ARG	01416	MD88	G06	20010113	1036	20010113	1113
AAL	00999	B7673	I03	20010113	1037	20010113	1239
VRG	08631	B7377	I07	20010113	1039	20010113	1208
VRG	02393	B737	H00	20010113	1040	20010113	1132
TAM	63817	FK10	H02	20010113	1046	20010113	1106
VRG	02373	B7373	H10	20010113	1047	20010113	1135
TBA	07677	B767	J01	20010113	1052	20010113	1326
UAL	00733	B777	H01	20010113	1055	20010113	1123
VSP	54426	B737	F01	20010113	1056	20010113	1356
TAM	03801	EA19	H06	20010113	1057	20010113	1223
AMX	00014	B767	G10	20010113	1058	20010113	1238
VSP	54425	B727	F03A	20010113	1101	20010113	1526
VSP	04257	B737	G07	20010113	1102	20010113	1200
VRG	69823	B7373	I04A	20010113	1104	20010113	1303
VRG	02151	B7373	H04	20010113	1105	20010113	1234
TBA	01105	B7373	H03	20010113	1108	20010113	1216
TBA	01163	B7373	G09	20010113	1112	20010113	1243
UAL	00441	B777	G02	20010113	1113	20010113	1219
AAL	00963	MD11	H02	20010113	1117	20010113	1313
AAL	00951	B7673	J03	20010113	1117	20010113	2315
BSI	59002	B707	J07	20010113	1118	20010113	2351
COA	00031	DC10	F00	20010113	1121	20010113	2050
TBA	01141	B7373	H05	20010113	1121	20010113	1223
UAL	00733	B777	G01	20010113	1128	20010113	2212
VRG	02369	B7373	I04B	20010113	1128	20010113	1247
VSP	04295	B737	G05	20010113	1130	20010113	1224
VRG	02329	B7373	H08	20010113	1135	20010113	1217
TBA	01149	B7373	G04	20010113	1141	20010113	1225
COA	00093	B767	G00	20010113	1146	20010113	1247
UAL	00987	B7673	G06	20010113	1148	20010113	1232
CDN	03100	B7673	H00	20010113	1150	20010113	1258
TAM	03811	FK10	H10	20010113	1152	20010113	1213
TBA	01181	B7374	H01	20010113	1158	20010113	1252
VSP	04257	B737	H07	20010113	1206	20010113	1318
VRG	08923	B7377	I07	20010113	1211	20010113	1305
AVA	00086	B767	G02	20010113	1222	20010113	1604
UAL	00441	B777	G03	20010113	1223	20010113	2117
VSP	04295	B737	H09	20010113	1232	20010113	1326
VSP	04230	B737	H03	20010113	1241	20010113	1417
VSP	04195	B737	H05	20010113	1245	20010113	1323
TBA	01163	B7373	G04	20010113	1248	20010113	1337
VRG	08619	B7373	H04	20010113	1251	20010113	1324
VRG	02369	B7373	I01	20010113	1251	20010113	1354
COA	00093	B767	G05	20010113	1253	20010113	2254
VSP	04261	B737	G00	20010113	1254	20010113	1340



Cia. aérea	vôo	equip.	posição	data de entrada	hora de entrada	data de saída	hora de saída
TBA	01101	B7673	H01	20010113	1301	20010113	1401
VRG	69823	B7373	H00	20010113	1306	20010113	1430
VRG	99651	B737	H06	20010113	1310	20010113	1411
VRG	02323	B7373	H10	20010113	1315	20010113	1424
TAM	99818	FK10	I06A	20010113	1317	20010113	1341
VRG	02251	B7373	H02	20010113	1321	20010113	1401
AAL	00963	MD11	F02	20010113	1326	20010114	0022
TBA	07677	B767	G10	20010113	1336	20010113	1428
DLH	00502	EA34	I03	20010113	1337	20010113	1451
VRG	08841	B7673	I07	20010113	1341	20010113	1424
VRG	02113	B737	I05	20010113	1345	20010113	1629
VRG	02165	B7373	H08	20010113	1351	20010113	1433
VRG	02047	B737	H04	20010113	1354	20010113	1448
VSP	54426	B737	F01	20010113	1356	20010113	2057
VRG	08942	B767	I09	20010113	1403	20010113	1732
TBA	01101	B7673	J01	20010113	1406	20010114	1146
TAM	03771	EA32	I01	20010113	1415	20010113	1534
LAN	00750	EA32	G06	20010113	1421	20010113	1449
BRB	99037	B7373	H02	20010113	1426	20010113	1532
TAM	03875	FK10	H00	20010113	1444	20010113	1639
VRG	02136	B737	H06	20010113	1448	20010113	1619
VRG	02309	B7373	H10	20010113	1453	20010113	1554
VRG	02157	B7373	H08	20010113	1455	20010113	1622
ITB	01517	E120	J09	20010113	1501	20010113	1723
LLB	00942	B7373	G10	20010113	1531	20010113	1659
ITB	01525	E120	J08	20010113	1542	20010113	1711
TBA	01140	B7373	H01	20010113	1544	20010113	1700
VSP	04245	B737	H07	20010113	1544	20010113	1627
VSP	04340	B737	H09	20010113	1550	20010113	1645
TBA	07607	B7373	G04	20010113	1555	20010113	1651
TBA	01158	B7373	H03	20010113	1558	20010113	1725
VRG	02322	B7373	H04	20010113	1602	20010113	1839
IBE	06825	EA34	G06	20010113	1605	20010113	1746
AVA	00086	B767	G07	20010113	1609	20010113	1910
TBA	01148	B7373	G00	20010113	1615	20010113	1716
TBA	01146	B7373	G02	20010113	1620	20010113	1711
VRG	08748	MD11	I03	20010113	1620	20010113	1733
ITB	01509	E120	J02	20010113	1624	20010113	1713
TAM	99819	FK10	I01	20010113	1629	20010113	1644
TBA	01180	B7374	H05	20010113	1630	20010113	1734
VRG	59073	B727	F11	20010113	1632	20010113	1955
VRG	59059	B727	F09	20010113	1636	20010113	1850
TBA	01144	B7373	H07	20010113	1640	20010113	1727
VSP	04340	B737	G08	20010113	1651	20010113	1729
GAV		BH06	HLP2	20010113	1652	20010113	1708
BAW	02246	B7474	H01	20010113	1705	20010113	1826
VRG	02241	B737	H08	20010113	1707	20010113	1759
ITB	01501	E120	J06A	20010113	1710	20010113	1758
VSP	19194	B737	H09	20010113	1713	20010113	1754
NCT	99419	B7374	G04	20010113	1716	20010113	1744
TAM	03941	FK10	I10	20010113	1719	20010113	1840
VSP	04255	B737	G00	20010113	1728	20010113	1833
VRG	02328	B7373	H02	20010113	1730	20010113	1825
SWR	00149	MD11	H00	20010113	1734	20010113	1849
VSP	04340	B737	H07	20010113	1735	20010113	1814
VSP	04194	B737	H05	20010113	1739	20010113	1811
VRG	02250	B7373	H06	20010113	1745	20010113	1827
NCT	99419	B7374	F07	20010113	1750	20010113	2050
TAM	03969	FK10	I08A	20010113	1752	20010113	1815

Cia. aérea	vôo	equip.	posição	data de entrada	hora de entrada	data de saída	hora de saída
TAM	03965	EA31	H10	20010113	1753	20010113	1945
VRG	08894	B767	I05	20010113	1753	20010113	1851
LAN	00751	EA32	I09	20010113	1754	20010113	1845
VBR	99013	B727	H03	20010113	1756	20010113	1845
KLM	00796	B7474	I01	20010113	1759	20010113	1909
VRG	08922	B7377	I03	20010113	1801	20010113	1856
VRG	08936	B7377	I07	20010113	1811	20010113	1903
TAM	03810	FK10	H08	20010113	1824	20010113	1848
VSP	04331	B737	H09	20010113	1826	20010113	1916
VRG	99729	MD11	H02	20010113	1829	20010113	1905
VSP	04260	B737	H07	20010113	1831	20010113	1925
VRG	02396	B737	H06	20010113	1835	20010113	1927
ARG	01418	MD88	G06	20010113	1836	20010113	1930
VSP	04255	B737	F03A	20010113	1838	20010113	2159
VSP	04359	B737	H05	20010113	1841	20010113	1930
GAV		BE58	J02	20010113	1843	20010113	1902
VBR	99013	B727	G09	20010113	1849	20010113	2144
VRG	08611	B7373	H04	20010113	1851	20010113	1942
FLB	99331	B727	H08	20010113	1855	20010113	1908
VRG	08707	B767	I07	20010113	1913	20010113	1955
TAM	99618	FK10	I04A	20010113	1918	20010113	2012
FLB	99331	B727	F10	20010113	1922	20010114	1230
VRG	02137	B737	H02	20010113	1924	20010113	2010
VRG	02345	B7373	I05	20010113	1926	20010113	2017
VRG	02119	B7373	F06	20010113	1928	20010113	2233
VRG	02201	B7673	I03	20010113	1932	20010113	2123
VRG	08903	B7373	H00	20010113	1935	20010113	2058
AFR	00456	B777	G02	20010113	1936	20010113	2109
VRG	02319	B7373	H06	20010113	1941	20010113	2040
VRG	08881	B7373	I01	20010113	1941	20010113	2020
TAM	03079	ATR42	I08A	20010113	1947	20010113	2245
TAM	99816	FK10	I06A	20010113	1954	20010113	2029
TAM	03874	FK10	I04B	20010113	1955	20010113	2225
AZA	00672	B7673	G10	20010113	1957	20010113	2126
TBA	01143	B7373	F01A	20010113	2002	20010113	2226
VRG	08921	B767	I09	20010113	2003	20010113	2045
VRG	02097	B737	H10	20010113	2004	20010113	2228
VRG	02374	B7374	H08	20010113	2005	20010113	2129
TBA	07691	B7673	G00	20010113	2008	20010113	2233
VRG	02349	B7373	H04	20010113	2015	20010113	2115
TBA	01151	B7373	H03	20010113	2019	20010113	2204
TAM	03073	ATR42	I10	20010113	2021	20010113	2233
TBA	01155	B7373	H01	20010113	2022	20010113	2151
TAM	03781	FK10	I04A	20010113	2029	20010113	2100
TBA	01153	B7373	H05	20010113	2030	20010113	2204
VRG	02091	B737	H02	20010113	2039	20010113	2159
VRG	02257	B7374	G07	20010113	2044	20010114	0932
ITB	01581	E120	J09	20010113	2044	20010113	2209
VRG	08630	B7377	I07	20010113	2045	20010113	2124
TBA	01193	B7373	H09	20010113	2048	20010113	2157
ITB	01573	E120	J08A	20010113	2048	20010113	2209
NCT	99419	B7374	F07	20010113	2050	20010114	0515
CMP	00701	B7377	I09	20010113	2054	20010113	2135
TBA	01160	B7373	F09	20010113	2057	20010113	2201
TAM	08096	FK10	F14C	20010113	2058	20010113	2312
COA	00031	DC10	G04	20010113	2058	20010113	2237
VSP	04297	B7373	F01	20010113	2101	20010114	0001
VSP	54426	B737	F14	20010113	2102	20010114	1129
TAM	03849	EA33	H00	20010113	2103	20010114	0016

Cia. aérea	vôo	equip.	posição	data de entrada	hora de entrada	data de saída	hora de saída
VRG	02153	B7373	H06	20010113	2104	20010113	2157
TBA	01270	B7373	F11	20010113	2108	20010113	2200
TAM	00708	FK10	G06	20010113	2109	20010113	2306
CDN	03101	B7673	I05	20010113	2110	20010113	2245
ITB	01503	E120	J08	20010113	2112	20010113	2213
TAM	03881	EA33	I01	20010113	2114	20010113	2349
TAM	03773	EA32	I06A	20010113	2115	20010113	2237
ITB	01589	E120	J06A	20010113	2118	20010113	2221
VSP	04201	EA30	H07	20010113	2123	20010113	2241
TAM	03993	FK10	F14A	20010113	2124	20010113	2319
UAL	00441	B777	G02	20010113	2124	20010113	2305
VRG	02045	B737	F00	20010113	2132	20010114	1003
VRG	08633	B7373	I03	20010113	2134	20010113	2247
VRG	02353	B7373	H08	20010113	2135	20010113	2213
TAM	03816	FK10	I04A	20010113	2136	20010113	2202
VSP	04265	EA30	G03	20010113	2137	20010114	0704
VRG	08643	B7373	F13	20010113	2138	20010113	2345
TAM	99630	FK10	F12A	20010113	2140	20010113	2234
VRG	08720	MD11	H04	20010113	2142	20010113	2345
CMP	00701	B7377	G08	20010113	2144	20010114	0044
AAL	00998	B7673	I09	20010113	2144	20010113	2320
ITB	01527	E120	J10	20010113	2146	20010113	2212
UAL	00988	B7673	G10	20010113	2152	20010113	2320
VSP	59671	B727	G09	20010113	2153	20010114	0715
PUA	00230	B737	F05	20010113	2155	20010114	0050
VBR	99013	B727	F12	20010113	2156	20010114	1018
VSP	04232	B737	H09	20010113	2205	20010113	2238
VSP	04291	B737	H03	20010113	2208	20010114	0051
TAM	03827	FK10	H06	20010113	2211	20010113	2257
VRG	08641	MD11	H02	20010113	2215	20010113	2359
TAM	03803	EA32	I04A	20010113	2216	20010113	2309
AAL	00995	B7673	I07	20010113	2216	20010114	0020
VRG	08756	MD11	H08	20010113	2220	20010113	2317
UAL	00733	B777	H01	20010113	2221	20010113	2318
AAL	00906	B7673	F09	20010113	2229	20010113	2350
TAM	08095	EA33	F04	20010113	2232	20010114	1105
DAL	00104	MD11	G00	20010113	2248	20010113	2352
VRG	99996	B7673	I05	20010113	2252	20010113	2347
VSP	04356	B737	H07	20010113	2301	20010113	2337
COA	00093	B767	G04	20010113	2303	20010114	0000
VRG	02327	B737	H06	20010113	2304	20010114	0204
GAV		HS25	J06A	20010113	2305	20010114	0024
TAM	69280	EA32	I10	20010113	2310	20010114	0938
TAM	99799	FK10	I06A	20010113	2319	20010114	0615
VRG	08864	MD11	H08	20010113	2328	20010114	0012
ARG	01160	B747	G02	20010113	2348	20010114	0058
BRB	99033	B7373	H10	20010113	2359	20010114	0231

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)