FABIO ROGÉRIO RIBEIRO

**“MODELO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE OPERACIONAL DE
PÁTIO DE AEROPORTOS”**

Dissertação apresentada ao Departamento
de Engenharia Naval e Oceânica da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia

SÃO PAULO
2003

FABIO ROGÉRIO RIBEIRO

**“MODELO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE OPERACIONAL DE
PÁTIO DE AEROPORTOS”**

Dissertação apresentada ao Departamento
de Engenharia Naval e Oceânica da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia

Área de Concentração
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador
Prof. Doutor Rui Carlos Botter

SÃO PAULO
2003

FICHA CATALOGRÁFICA

Ribeiro, Fabio Rogério

Modelo de simulação para análise operacional de pátio de aeroportos / F.R. Ribeiro. -- São Paulo, 2003. 198p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

**1. Aeroportos 2. Pátio de aeronaves (Simulação)
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. II. t**

Data da defesa: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos, em especial a Marcelo Gomes Fernandes, pelos constantes incentivos e valiosos comentários.

Ao Prof. Dr. Jorge Eduardo Leal Medeiros, mentor e incentivador a quem devo a oportunidade da incursão na área do transporte aéreo.

Ao orientador Prof. Dr. Rui Carlos Botter, pela orientação, apoio e conhecimentos transmitidos.

RESUMO

A impossibilidade da ampliação física suficiente para atender às perspectivas de crescimento da demanda de vôos em aeroportos como Congonhas (São Paulo), faz com que soluções alternativas para maior eficiência no processamento dos vôos sejam de grande interesse, destacando-se as soluções operacionais.

Considerando-se a complexidade dos processos logísticos associados às operações aeroportuárias, a utilização da simulação em ferramentas de apoio à decisão permite a análise minuciosa do desempenho e eficiência do sistema de pátio de aeronaves. O objetivo principal dessa dissertação consiste em identificar os parâmetros e representar as operações do pátio em um modelo de simulação para análise do processo de atendimento das aeronaves e da influência de cada componente no seu tempo total.

Desenvolvido em Arena® esse modelo utiliza os dados da movimentação real de aeronaves do aeroporto de Congonhas (a partir de fontes como os registros da torre, relatórios de planos de vôo, HOTRAN ou planejamento de pátio). Sua aplicação ao caso do aeroporto mostrou-se útil ao estudo do tempo de ocupação das posições (*turn-around time*), das esperas para atendimento e das taxas de ocupação dos recursos, assim como na determinação dos impactos das esperas em solo (*ground holding*) na capacidade total do sistema. Permitiu também a análise do processo de atendimento das aeronaves e o balanceamento do número dos equipamentos de pátio, aliada à animação detalhada dos serviços prestados no pátio desse aeroporto. Poderia, além disso, ser utilizado na avaliação de cenários de demanda, no teste de políticas de alocação de aeronaves às posições, na determinação do impacto do uso de *slots*, do compartilhamento de recursos ou da alteração de outras práticas operacionais.

Em resumo, este modelo computacional oferece uma completa simulação dos serviços prestados no pátio de aeronaves buscando a melhor utilização dos recursos existentes e permitindo melhorias na capacidade do pátio, tanto com o enfoque de planejamento (configuração das posições) como operacional (avaliação da capacidade das posições).

ABSTRACT

The impossibility of physical expansion large enough to accommodate the anticipated growth in flight demand at airports such as Congonhas, São Paulo, has drawn interest to alternative solutions, especially operational ones, for the improvement of apron services efficiency.

Considering the complexity of airport operation logistics, the utilization of simulation based decision support tools allows for the detailed analysis of the performance and efficiency in the airport apron system. The main objective of this dissertation is to identify the parameters that influence apron operations and to represent the apron operations in a simulation model in order to analyze the aircraft servicing process and the influence of each component in the servicing process total time.

The simulation model was developed with Arena™ and uses real flight traffic data of operations at Congonhas airport (obtained from the tower logs, flight plan reports, HOTRAN and apron utilization planning documents). The application of the model to Congonhas airport was useful for the study of turn-around times, servicing waiting times, resource occupation rates, as well as the determination of ground holding impacts on the overall capacity of the system. The model was also used to analyze the airport's apron servicing process and the adjustment of apron resources numbers, in addition to the detailed animation of those services. Moreover, this model could be used in the evaluation of demand scenarios, test of gate assignment rules, determination of impacts of slot time attribution, of sharing resources or other operational practices.

In summary, this computational model offers a complete simulation of the apron services, with the goal of enabling better utilization of the airport's existing resources and improvements in the apron capacity, both from a planning point of view (considering the apron configuration) and from an operational point of view (considering the capacity of each stand position).

ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	19
1.2. DELINEAMENTO DO TRABALHO.....	20
2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA	21
2.1. SISTEMA AEROPORTUÁRIO	21
2.2. SUBSISTEMAS GERAIS DO AEROPORTO	22
2.3. SUBSISTEMA DE PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE AERONAVES	27
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	39
3.1. TIPOS DE ESTUDOS DE PÁTIO DE AERONAVES	39
3.2. ESTUDOS SOBRE O AEROPORTO DE CONGONHAS.....	41
3.3. TÉCNICAS UTILIZADAS PARA MODELAGEM DE PÁTIO DE AERONAVES	45
3.4. CONCLUSÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	56
4. O MODELO DE SIMULAÇÃO PARA PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE AERONAVES	58
4.1. ESTRUTURA DO MODELO DE SIMULAÇÃO	58
4.2. DESCRIÇÃO DO MODELO DE PÁTIO DE AERONAVES	59
4.3. DESCRIÇÃO DA SUB-ROTINA DE ALOCAÇÃO DE AERONAVES ÀS POSIÇÕES DE ESTACIONAMENTO	62
4.4. DESCRIÇÃO DA SUB-ROTINA DE ATENDIMENTO NA POSIÇÃO DE ESTACIONAMENTO.....	65
5. APLICAÇÃO DO MODELO: CONGONHAS	76
5.1. DADOS DE ENTRADA DO MODELO: OBTENÇÃO E UTILIZAÇÃO	76
5.2. DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE REPLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO.....	88
5.3. RESULTADOS OBTIDOS	89
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	124
7. LISTA DE REFERÊNCIAS.....	126
8. ANEXO 1 - ESCOLHA DE UMA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO.....	134
9. ANEXO 2 – DESCRIÇÃO DO MODELO EM ARENA	152
9.1. MODELO PRINCIPAL.....	152
9.2. ATENDIMENTO NA POSIÇÃO DE ESTACIONAMENTO	160
9.3. ANIMAÇÃO DO MODELO	184
10. ANEXO 3 – DADOS DE ENTRADA	189

LISTA DE FIGURAS:

FIGURA 1: MOVIMENTAÇÃO DE AERONAVES (POUSOS + DECOLAGENS) EM GUARULHOS, CONGONHAS E VIRACOPOS. FONTE INFRAERO, 1999.	14
FIGURA 2: SUBSISTEMAS E COMPONENTES DO SISTEMA AEROPORTO. FONTE: GUALDA (1995).	25
FIGURA 3: AEROPORTO - VISÃO SISTÊMICA. FONTE: LOPES (1990).	26
FIGURA 4: DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS EM TORNO DA AERONAVE (OPERAÇÃO DE “TURN-AROUND” TÍPICA). FONTE: BOEING, 1990.	37
FIGURA 5: CRONOGRAMA DE ATIVIDADES (OPERAÇÃO DE “TURN-AROUND” TÍPICA). FONTE: BOEING, 1990.	38
FIGURA 6: AEROPORTO DE CONGONHAS EM 2000.	42
FIGURA 7: ATRIBUTOS UTILIZADOS NO MODELO. BASEADO EM: (RODRIGUES, 1994)	55
FIGURA 8: PÁTIO DE AERONAVES DO AEROPORTO DE CONGONHAS	58
FIGURA 9: FLUXOGRAMA GERAL DO MODELO OPERACIONAL DE PÁTIO DE AERONAVES	61
FIGURA 10: ALOCAÇÃO DO TRATOR (MANOBRAS “PUSHBACK”)	62
FIGURA 11: SUB-ROTINA DE ALOCAÇÃO DE AERONAVES ÀS POSIÇÕES DE ESTACIONAMENTO	64
FIGURA 12: ESBOÇO DAS SUB-ROTINAS “SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS INICIAIS” E “PROCESSO DE ATENDIMENTO”	65
FIGURA 13: FLUXO 1 - SEQÜÊNCIA ESCADAS, DESEMBARQUE, ABASTECIMENTO E EMBARQUE	68
FIGURA 14: FLUXO 2 - SEQÜÊNCIA DE ALOCAÇÃO DE ÔNIBUS PARA DESEMBARQUE.	69
FIGURA 15: FLUXO 3 - DESCARREGAMENTO E CARREGAMENTO DA AERONAVE	70
FIGURA 16: FLUXO 4 - SEQÜÊNCIA DE COLETA DE ESGOTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA	71
FIGURA 17: FLUXO 5 - SERVIÇO DE COMISSARIA	72
FIGURA 18: FLUXO 6 - SERVIÇO DE MANUTENÇÃO	73
FIGURA 19: CRIAÇÃO DE VÔOS PELO RECURSO “SCHEDULE” DO ARENA.	82
FIGURA 20: MÉDIA DOS MOVIMENTOS MENSAIS ENTRE 1997 E 1999.	90
FIGURA 21: MÉDIA DOS MOVIMENTOS POR DIA DA SEMANA ENTRE 1997 E 1999.	91
FIGURA 22: NÚMERO DE POSIÇÕES OCUPADAS (SIMULAÇÃO SEM CONSIDERAÇÃO DOS ATRASOS) .	92
FIGURA 23: NÚMERO DE POSIÇÕES OCUPADAS (SIMULAÇÃO CONSIDERANDO ATRASOS)	93
FIGURA 24: OCUPAÇÃO DAS POSIÇÕES (SIMULAÇÃO CONSIDERANDO ATRASOS).	93
FIGURA 25: NÚMERO DE POSIÇÕES OCUPADAS – COMPARAÇÃO ENTRE AS ENTRADAS DE DADOS ...	95
FIGURA 26: NÚMERO DE POSIÇÕES OCUPADAS – COMPARAÇÃO COM ENTRADA POR LEITURA DIRETA.	96
FIGURA 27: NÚMERO DE POSIÇÕES OCUPADAS – COMPARAÇÃO COM ENTRADA POR SORTEIO	96
FIGURA 28: RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PADRÃO	99
FIGURA 29: SEQÜÊNCIA DE ATIVIDADES DE UM VÔO	100
FIGURA 30: OCUPAÇÃO DAS ESCADAS AO LONGO DO DIA.	102
FIGURA 31: NÚMERO DE ESCADAS VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (08:35)	103
FIGURA 32: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE COMISSARIA VSP AO LONGO DO DIA	104

FIGURA 33: NÚMERO CARROS DE COMISSARIA VSP VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (10:10)	104
FIGURA 34: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE COMISSARIA GLO/TBA (OUTRAS) AO LONGO DO DIA ..	105
FIGURA 35: NÚMERO CARROS DE COMISSARIA GLO/TBA (OUTRAS) VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (23:40)	105
FIGURA 36: OCUPAÇÃO DOS ÔNIBUS AO LONGO DO DIA	106
FIGURA 37: NÚMERO ÔNIBUS VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (08:08)	106
FIGURA 38: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE CARGA GLO AO LONGO DO DIA	107
FIGURA 39: NÚMERO CARROS DE CARGA GLO VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (21:50)	108
FIGURA 40: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE CARGA TAM AO LONGO DO DIA	108
FIGURA 41: NÚMERO CARROS DE CARGA TAM VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (08:00)	109
FIGURA 42: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE CARGA VRG AO LONGO DO DIA	109
FIGURA 43: NÚMERO CARROS DE CARGA VRG VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (16:55)	110
FIGURA 44: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE CARGA VSP AO LONGO DO DIA	110
FIGURA 45: NÚMERO CARROS DE CARGA VSP VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (10:40)	111
FIGURA 46: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE BAGAGEM GLO AO LONGO DO DIA	112
FIGURA 47: NÚMERO CARROS DE BAGAGEM GLO VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (21:30)	112
FIGURA 48: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE BAGAGEM TAM AO LONGO DO DIA	113
FIGURA 49: NÚMERO CARROS DE BAGAGEM TAM VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (08:40)	113
FIGURA 50: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE BAGAGEM VRG AO LONGO DO DIA	114
FIGURA 51: NÚMERO CARROS DE BAGAGEM VRG VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (22:10)	114
FIGURA 52: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE BAGAGEM VSP AO LONGO DO DIA	115
FIGURA 53: NÚMERO CARROS DE BAGAGEM VSP VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (15:40)	115
FIGURA 54: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE COLETA DE ESGOTO AO LONGO DO DIA	116
FIGURA 55: NÚMERO CARROS DE COLETA DE ESGOTO VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (09:00)	116
FIGURA 56: OCUPAÇÃO DOS CARROS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA AO LONGO DO DIA	117
FIGURA 57: NÚMERO CARROS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (08:45)	117
FIGURA 58: OCUPAÇÃO DOS VEÍCULOS DE MANUTENÇÃO AO LONGO DO DIA	118
FIGURA 59: NÚMERO CARROS DE MANUTENÇÃO VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (10:15)	118
FIGURA 60: OCUPAÇÃO DOS TRATORES AO LONGO DO DIA	119
FIGURA 61: NÚMERO CARROS DE TRATORES VS. PORCENTAGEM OCUPADA NO INSTANTE PICO (06:40)	119

FIGURA 62: NÚMERO DE POSIÇÕES OCUPADAS – COMPARAÇÃO ANTES E DEPOIS DO DIMENSIONAMENTO	122
FIGURA 63: OCUPAÇÃO DAS POSIÇÕES - COMPARAÇÃO ANTES E DEPOIS DO DIMENSIONAMENTO	123
FIGURA 64: LEITURA VARIÁVEIS ARENA	152
FIGURA 65: CRIAÇÃO DE VÔOS	152
FIGURA 66: CONTEÚDO DO BLOCO “SORTEIA_MIX”	153
FIGURA 67: TRECHO DO MODELO PRINCIPAL	154
FIGURA 68: CONTEÚDO DO BLOCO “ASSIGN TX OCUP/PIC”	155
FIGURA 69: TRECHO DO MODELO PRINCIPAL – POSIÇÕES PREFERENCIAIS	156
FIGURA 70: TRECHO DO MODELO PRINCIPAL - ALOCAÇÃO GERAL DE POSIÇÕES	157
FIGURA 71: TRECHO DO MODELO PRINCIPAL - BLOQUEIO DA POSIÇÃO ALOCADA	158
FIGURA 72: TRECHO DO MODELO PRINCIPAL – OCUPAÇÃO DA POSIÇÃO	159
FIGURA 73: TRECHO DO MODELO PRINCIPAL – LIBERAÇÃO DA POSIÇÃO	159
FIGURA 74: ATIVIDADES CORRESPONDENTES AOS FLUXOS 1 E 2	162
FIGURA 75: ATIVIDADES CORRESPONDENTES AO FLUXO 3	164
FIGURA 76: ATIVIDADES CORRESPONDENTES AO FLUXO 4	165
FIGURA 77: ATIVIDADES CORRESPONDENTES AO FLUXO 5	166
FIGURA 78: ATIVIDADES CORRESPONDENTES AO FLUXO 6	167
FIGURA 79: PUSH-BACK	169
FIGURA 80: SUB-MODELO “ÊSCADAS”	170
FIGURA 81: SUB-MODELO “DESEMBARQUE PAX”	173
FIGURA 82: SUB-MODELO “ABASTECIMENTO COMBUSTÍVEL”	173
FIGURA 83: SUB-MODELO “EMBARQUE PAX”	174
FIGURA 84: SUB-MODELO “DESCARREGA BAGAGEM”	176
FIGURA 85: DETALHE DO SUB-MODELO “DESCARREGA BAGAGEM”	176
FIGURA 86: SUB-MODELO “DESCARREGA CARGA”	178
FIGURA 87: DETALHE DO SUB-MODELO “DESCARREGA CARGA”	178
FIGURA 88: SUB-MODELO “CARREGA CARGA”	179
FIGURA 89: SUB-MODELO “CARREGA BAGAGEM”	180
FIGURA 90: SUB-MODELO “SERV. AGUA ESGOTO”	182
FIGURA 91: SUB-MODELO “SERV. COMISSARIA”	183
FIGURA 92: DETALHE DO SUB-MODELO “SERV. COMISSARIA”	184
FIGURA 93: MODELO COMPLETO – MAPA	185
FIGURA 94: FUNDO ANIMAÇÃO – PLANTA DO PÁTIO	186
FIGURA 95: FUNDO ANIMAÇÃO – FOTO AÉREA DO PÁTIO	187
FIGURA 96: TELA ANIMAÇÃO – ROTAS DE AERONAVES E VEÍCULOS DE ATENDIMENTO	188

LISTA DE TABELAS:

TABELA 1: ENVERGADURA DAS AERONAVES POR CATEGORIA. FONTE: ICAO, 1999.	32
TABELA 2: EXEMPLOS DE AERONAVES POR CATEGORIA E RESPECTIVAS ENVERGADURAS	32
TABELA 3: REGRAS E PRIORIDADES PROPOSTAS POR TARGA (2001)	44
TABELA 4: POSIÇÕES PREFERENCIAIS POR EMPRESAS	64
TABELA 5: PROCEDIMENTOS DE EMBARQUE/DESEMBARQUE DE PASSAGEIROS	73
TABELA 6: VARIAÇÕES NO ATENDIMENTO EM FUNÇÃO DA EMPRESA, TIPO DE AERONAVE OU TIPO DE PERMANÊNCIA	74
TABELA 7: CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO NO AEROPORTO DE CONGONHAS	76
TABELA 8: AGRUPAMENTO DE MARCAS DAS EMPRESAS NO MODELO	78
TABELA 9: EXCERTO DA ENTRADA DIRETA DE DADOS	81
TABELA 10: CONVERSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES EM VALORES NUMÉRICOS	81
TABELA 11: VARIÁVEIS DE ENTRADA DO MODELO – MIX DE AERONAVES	83
TABELA 12: VARIÁVEIS DE ENTRADA DO MODELO – DADOS OPERACIONAIS	84
TABELA 13: EXPRESSÕES DOS TIPOS DE DISTRIBUIÇÃO	86
TABELA 14: FONTES DOS DADOS OPERACIONAIS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO	86
TABELA 15: DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE REPLICAÇÕES	89
TABELA 16: INFORMAÇÕES COLHIDAS DA SIMULAÇÃO	98
TABELA 17: COMPARAÇÃO DAS FROTAS ANTES E APÓS DIMENSIONAMENTO	121
TABELA 18: COMPARAÇÃO DOS TEMPOS MÉDIOS DOS SERVIÇOS ANTES E DEPOIS DO DIMENSIONAMENTO	122
TABELA 19: CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS ANALÍTICOS E DE SIMULAÇÃO PARA CAPACIDADE E ATRASOS. FONTE: ODONI ET ALI. (1997)	137
TABELA 20: PROGRAMAS OU LINGUAGENS GENÉRICAS DE SIMULAÇÃO	148

1. INTRODUÇÃO

Como reflexo da dinamização econômica ocorrida nesta última década, observa-se um crescimento sem precedentes nos movimentos dos aeroportos brasileiros, especialmente na região de São Paulo.

Aeroportos mais importantes como Congonhas e Guarulhos tiveram sua movimentação, em termos de pousos e decolagens, quase duplicadas ao longo dos anos 90. Outros, antes com menor movimentação, tiveram crescimento altíssimo, como Viracopos, que apresentou em 1999 seis vezes mais movimentos do que no início da década de 1990.

O gráfico abaixo (Figura 1), ilustra esse aumento de tráfego (fruto, evidentemente, do aumento no movimento de cargas e passageiros):

Figura 1: Movimentação de aeronaves (pousos + decolagens) em Guarulhos, Congonhas e Viracopos. Fonte INFRAERO, 1999.

Esse grande crescimento do transporte aéreo tem posto às organizações responsáveis pelo setor inúmeros problemas, inéditos no Brasil, e soluções para atender à demanda, sem prejudicar os níveis de serviço, tornam-se uma necessidade atual da maior importância.

Tanto no âmbito nacional como internacional diversos trabalhos já foram elaborados ou estão em curso, seja por aqueles que estudam os problemas do transporte aéreo ou pelas organizações responsáveis.

Vários desses trabalhos procuraram enfocar aspectos relacionados ao *terminal de passageiros* e seus níveis de serviço, como Gualda [32], Almeida [1], Joustra [49], Snowdon [83], Kyle [53], Gatersleben [29], por serem problemas mais “antigos” ou até pela tendência natural da preocupação na ótica do usuário dos serviços aeroportuários, sejam eles os passageiros ou as empresas aéreas. Outros foram elaborados pelo interesse na redução de atrasos, principalmente na sua parcela mais dispendiosa que é o *atraso em rota*, como por exemplo Rikfin [74], Hutchison [45] e Kleinman [51], com simulação; e Butler [19] e Hoffman [41] por programação linear. Outros ainda procuraram desenvolver ferramentas de apoio à decisão para *controle de espaço aéreo*, como Lee [54], Wieland [95] e Chin [22] com simulação, ou até mesmo para a *interface rodoviária*, como Tunasar [91]. Por fim, uma das áreas mais exploradas é a que estuda alternativas para aumento de *capacidade de pista*. Nesse último grupo encontra-se Hashizume et al. [36], com um trabalho baseado em modelos analíticos; além de Barros [10], Zhong [100] e Guffey [33], utilizando-se de simulação, e várias autores reconhecidos, como Horonjeff [42].

Nota-se, no entanto, que com o aumento das movimentações, outros problemas tornam-se tão importantes quanto os supracitados, como o de **capacidade de pátio de aeronaves e eficiência no processamento de aeronaves no pátio**.

Não bastasse o aumento de demanda nos aeroportos, acrescenta-se ao problema de pátio de aeronaves um novo desafio: Os estudos de ATFM (‘Air Traffic Flow Management’) - como Rikfin [74] e Hoffman [41], por exemplo - propõe o aumento do chamado “ground holding”, ou seja, a espera em solo para minimização das esperas em rota. Esse tem sido o alvo de pesquisas em curso no DAC (Departamento de Aviação Civil), plenamente justificável, pois a utilização dessa espera em solo é muito menos dispendiosa que a espera em vôo. A tendência, então, é reter vôos nos aeroportos periféricos. Desse modo, diversos estudos buscam maneiras de elaborar ou corrigir programações de modo a acomodar a demanda, como o de Reinhardt [73] e de Schumacher [80], Rosenberger [78], Niehues [63], todos baseados em

simulação, e a maioria dos estudos dentro do programa ACE (“Airport Capacity Enhancement”) do FAA (“Federal Aviation Administration”).

Apesar desses esforços, ainda há casos em que a pressão da demanda não permite que o planejamento de vôos absorva todos os atrasos, além de que sempre há a pressão dos usuários, que querem viajar em horários específicos e das companhias aéreas, que querem oferecer vôos nesses horários. Essa pressão leva à utilização de pátios de aeronaves até a sua capacidade limite, especialmente nos horários de pico.

Face aos esforços para melhorar a utilização do espaço aéreo, o uso das pistas dos aeroportos, e a programação de vôos, não pode ocorrer que o pátio torne-se fator limitante para as operações do aeroporto. No entanto, é esta a tendência em vários aeroportos, principalmente os de Guarulhos e Congonhas (ambos em São Paulo).

À pressão de demanda sobre o pátio de aeronaves podem contribuir as políticas de substituição da “espera em vôo” (“air holding”) pela “espera em solo” (“ground holding”) ou capacidade de processamento de aeronaves no pátio. Não se pode afirmar imediatamente qual dos dois aspectos é preponderante e em que condições. Sobre o impacto da política de “slots” na espera em solo vale apresentar comentário do experiente Siewerdt [82]:

“O gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (ATFM), basicamente, transforma uma situação péssima (excesso de atrasos dos aviões e de carga de trabalho dos controladores) em uma ruim (esperas no solo e rotas alternativas). No caso brasileiro, as esperas ou atrasos no solo (“ground holding” ou “ground delay”) apresentam dificuldades inusitadas, pois face aos problemas de pátio nos aeroportos afetados não é difícil chegar-se ao impasse, com travamento total do sistema. E, caso se decida pelo cumprimento rígido dos “slots”, onde as operações aeroportuárias estiverem sujeitas a esse regime, a inflexibilidade resultante pode causar sérios transtornos para os operadores minoritários e para a própria conectividade dos vôos.”

Esses atrasos podem trazer prejuízos às companhias aéreas, aos usuários e à administração do aeroporto e sua ocorrência em Congonhas pode ser explicada pela

história desse aeroporto¹, haja vista que seu papel tem mudado bastante ao longo dos anos.

Essa história peculiar, que remonta ao início da operação de aviação comercial no país, faz com que o Aeroporto de Congonhas apresente problemas peculiares, chegando por vezes a atingir o limite da capacidade de solo nas horas de maior movimentação (horário de pico: das 6h às 9h e das 18h às 21h). Essa situação torna-se mais grave pelo fato de ser um aeroporto que possui uma demanda alta não só de vôos regulares, mas também de aeronaves de aviação geral (o Brasil possui a segunda maior frota de aviação geral, concentrada em São Paulo).

Embora acentuados, os problemas de pátio de aeronaves em Congonhas não são novidade. Muitos estudos nessa área foram desenvolvidos, como Martinelli [57], Lopes [55], Rodrigues [76] e Targa [86], para citar alguns autores brasileiros. Observando-se, porém, os estudos de pátios de aeronaves percebe-se que a questão operacional nem sempre é a mais abordada. Há uma preocupação muito maior com a determinação do número de posições para atender certa demanda, como Wiransinghe e Bandara [96], que afirmam que o “número de posições é um dado crítico para a determinação da configuração de um terminal. (...) e o planejamento deve contemplar o desenvolvimento em estágios”; ou ainda Mackenzie [58], afirmando que “o tamanho e o custo do prédio do terminal e da área de serviço são fortemente influenciados pelo número de posições”. Essas afirmações mostram a solução mais comum: o aumento de capacidade de pátio dada pela maior oferta de posições. Ocorre, porém, que alguns aeroportos, como Congonhas, não foram concebidos levando-se em conta uma previsão de demanda que refletisse a que hoje se verifica e, por isso, apresentam limitações físicas à expansão do número de posições. Mackenzie [58] ao menos evidencia a importância do número de posições de

¹ Congonhas nasceu em 1934 como um aeródromo de iniciativa particular e em 1935 substituiu o campo de Marte como aeroporto da cidade de São Paulo. Em 1938, começou a operar com vôos internacionais (linha EUA-Buenos Aires, com escala em Congonhas). Em 1946 teve iniciada a construção do seu atual terminal de passageiros e da pista concretada para atender a demanda crescente. Seu terminal de passageiros foi concluído em 1955, e na década de 60, com a operação de aeronaves a jato problemas de ruído começaram a ser enfrentados, pois por falta de zoneamento urbano já era grande a concentração residencial em torno do aeroporto, problema que hoje atinge dimensões muitas maiores. Hoje o aeroporto está virtualmente encravado numa das áreas mais densamente urbanizadas da cidade. A partir de 1975 uma portaria do DAC (Departamento de Aviação Civil) determinou o fechamento noturno do aeroporto, medida que se tornou definitiva a partir de 1977 e o aeroporto passou a operar das 6:00 às 22:00 com pousos permitidos até às 23:00. Com o início da operação do Aeroporto de Guarulhos o tráfego de Congonhas passou a ser somente doméstico, mas a demanda continuou a crescer. Hoje o aeroporto apresenta-se no limite de sua capacidade e são poucas as alternativas para comportar o seu aumento da demanda que dentre outras importantes rotas recebe os vôos da rota de maior demanda no país: a ponte aérea São Paulo-Rio de Janeiro.

estacionamento de aeronaves de maneira integrada ao aeroporto afirmando que: se “a capacidade das pistas de pouso é adequada, a restrição à capacidade do aeroporto é, comumente, o número de posições disponíveis”. Entretanto ainda que pense de maneira um pouco mais integrada ainda não contempla as situações em que não é possível o aumento suficiente do número de posições. Nesse caso alternativas políticas ou operacionais precisam ser tomadas para tentar atender ao aumento da demanda e o melhor aproveitamento possível deve ser dado aos recursos existentes no aeroporto (soluções que busquem melhor desempenho do sistema), já que as possibilidades de expansão são muito restritas.

Em resumo temos a seguir algumas importantes motivações para o estudo das **operações de solo dos aeroportos**, como fator de contribuição para a melhoria do nível de serviço do aeroporto:

- avaliar a *capacidade* do pátio de estacionamento de aeronaves e benefícios de possíveis alterações de configuração;
- investigar e avaliar os *fatores de congestionamento* de pátios: espera em solo (“ground holding”)? excesso de demanda? política de “slots” (que é praticada em Congonhas)?
- identificar os *gargalos* do processo de atendimento em solo;
- avaliar *políticas de utilização*: possibilidade de aumento de disponibilidade de área de estacionamento de aviação regular com a retirada/restrrição de algum tipo de operação (ex.: aviação geral);
- analisar impactos de modificações operacionais, como transferência dos passageiros por pontes de embarque (em vez de escadas e ônibus e escadas e caminhamento).

Essas são algumas das principais assuntos que só podem ser tratados pela abordagem detalhada dos aspectos operacionais. Desse modo este estudo pretende acrescentar uma nova dimensão ao problema do planejamento do número de posições, dando-lhe também a capacidade de verificar as alternativas operacionais e de política de utilização para atendimento da demanda, considerando-se, sempre, um nível de serviço desejado.

1.1. Objetivos

O objetivo principal da pesquisa consiste no desenvolvimento de um modelo computacional para análise operacional de um pátio de aeroporto e avaliação de sua capacidade em termos de níveis de serviços globais e/ou setoriais pré-estabelecidos. O aeroporto escolhido para aplicação do modelo é o Aeroporto de Congonhas (São Paulo).

O modelo, associado ao conhecimento das demandas de vôos e de níveis de serviços desejáveis nas operações de pátio de Congonhas, possibilitaria a análise do desempenho operacional do pátio, contribuindo para identificação de seus componentes críticos, no que se refere aos serviços de rampa², sejam eles físicos ou operacionais.

Podem-se resumir os objetivos principais do presente trabalho como:

- identificar os parâmetros e representar a operação detalhada do pátio do aeroporto (integrando os diversos subsistemas), procurando verificar a influência dos fatores de serviço de cada componente no tempo de atendimento/liberação de aeronave em solo;
- analisar impactos associados ao atendimento de diversos níveis de demanda de vôos (de acordo com a capacidade de espaço aéreo/pista do aeroporto);
- verificar possibilidades de expansão e alternativas operacionais para atendimento dessa demanda.

O modelo viria, portanto, auxiliar na busca de configurações balanceadas do ponto de vista operacional e, desse modo, constituiria importante ferramenta para uma eficiente alocação de recursos no setor dos serviços aeroportuários.

² *Serviços de rampa são aqueles relacionados ao atendimento das aeronaves em solo, como comissaria, carregamento e descarregamento de carga e bagagem, abastecimento, manutenções, preparação de vôo, desembarque e embarque de passageiros, etc – que são realizados por equipes de solo com a utilização intensa de veículos e equipamentos.*

1.2. Delineamento do trabalho

No capítulo 1 procura-se dar um panorama da conjuntura motivadora da pesquisa, bem como dos objetivos para esta traçados.

O capítulo 2 traz um apanhado geral sobre o sistema estudado, suas características e a terminologia empregada na sua descrição.

No capítulo 3 apresenta-se o levantamento dos trabalhos de diversos autores em relação aos problemas associados ao pátio de aeronaves, e fundamenta-se a propriedade do uso de técnicas de simulação para o presente trabalho. O Anexo 1 apresenta diversas ferramentas de simulação, específicas ou não específicas do transporte aéreo, e fundamenta a escolha do Arena como ferramenta de simulação.

O capítulo 4 trata da modelagem do sistema de pátio, buscando a identificação de seqüências e intedependências lógicas entre as atividades nele realizadas, e a identificação das peculiaridades dessas atividades para o aeroporto de Congonhas. No Anexo 2 apresenta-se detalhadamente a implementação dessa lógica no Arena.

O capítulo 5 discute as fontes de dados de entrada, a calibração do modelo e oferece os resultados da simulação com vistas ao balanceamento de recursos.

No capítulo 6 estão apresentadas as principais conclusões da pesquisa, possibilidades de aplicação do modelo e notas sobre aspectos de melhoria e ampliação das possibilidades de aplicação do modelo.

O capítulo 7 apresenta uma lista das obras consultadas para elaboração deste trabalho e o Anexo 3 uma lista completa dos dados utilizados na simulação.

2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

2.1. Sistema aeroportuário

O aeroporto é parte essencial do sistema de transporte aéreo, sendo a estrutura física que permite a transferência modal entre os veículos de transporte aéreo e os veículos de transporte terrestre. Por essa razão é o ponto de interação dos três maiores componentes do sistema de transporte aéreo: o componente aeroportuário, incluindo aqui o sistema de controle aéreo, o das companhias aéreas e o dos usuários [4].

Pelo aeroporto circulam passageiros, bagagens, cargas e mala postal, que são transferidos de um modal a outro. Essa transferência pode ser intramodal ou intermodal, mas sabe-se que prevalece, na maioria dos casos, a segunda parcela.

O objetivo básico do aeroporto é permitir, através de suas atividades operacionais, que essas transferências ocorram de forma eficiente. Esta eficiência pode ser avaliada de diversas maneiras:

- em termos de segurança, rapidez e conforto no atendimento de pessoas e processamento de bens;
- no custo de implantação e de operação;
- na expansibilidade e flexibilidade face à demanda prevista;
- na integração a outros modais.

2.1.1. Classificação

Os aeroportos brasileiros, segundo a natureza dos vôos nele atendidos, são classificados em domésticos e internacionais. Aeroportos domésticos servem normalmente a vôos com rotas totalmente dentro do território nacional. Os aeroportos internacionais atendem vôos domésticos e internacionais.

Outras classificações [3] permitem uma identificação mais apurada do porte e da utilização do aeroporto, como por exemplo:

- operacional, baseada no tipo de auxílios disponíveis (aproximação visual ou por instrumentos, dividida em precisão e não precisão),
- física, dada pelo código ICAO de referência do aeródromo [46] que considera o porte das aeronaves atendidas e características de pistas de pouso e decolagem,
- comercial, de acordo com a movimentação (usada para estabelecimento de preços ou determinação de tarifas para arrendamento de áreas publicitárias ou comerciais),
- legal, seguindo as classificações de homologação do DAC, que além de considerar as classificações operacional e física acima descritas ainda considera o tipo de uso (público ou privado) e o interesse do Sistema de Aviação Civil (federal, regional ou comunitário).

2.2. Subsistemas gerais do aeroporto

A análise sistêmica do aeroporto leva à identificação de diversos subsistemas, que são divididos em dois grupos: lado aéreo e lado terrestre.

O lado aéreo compreende todas os subsistemas associados ao movimento da aeronave: acesso aéreo (espaço aéreo vinculado ao aeroporto e serviço de controle de tráfego), circulação das aeronaves (pistas de pouso e decolagem, e pistas de “táxi”) e ainda pátio de estacionamento de aeronaves (área de estacionamento e área de manobra).

O lado terrestre engloba os subsistemas que são relacionados aos serviços de movimentação de passageiros e cargas entre a aeronave e os sistemas de transporte terrestre, como acesso/egresso, estacionamento e circulação interna de veículos, terminais (cargas e passageiros), áreas de apoio e de manutenção de aeronaves e pátio de estacionamento de aeronaves (serviços de rampa e comissaria).

Essa divisão feita pelo “Transportation Research Board (TRB)” [92, 94] é semelhante à proposta por Gualda [31] no aspecto em que identifica os fluxos em foco para os principais subsistemas (aeronaves, passageiros, carga e veículos). O diagrama proposto por Gualda, evidenciando os principais subsistemas aparece na Figura 2.

Lopes [55] apresenta um diagrama mais detalhado do sistema aeroporto (Figura 3), com os subsistemas descritos a seguir:

- Acesso/egresso, que permite a interligação do aeroporto com o ambiente urbano, com destaque para o transporte rodoviário.
- Estacionamento e circulação interna de veículos terrestres, que corresponde às áreas onde automóveis, caminhões e ônibus estacionam, bem como aos caminhos de circulação destinados a esses veículos. Esses caminhos são aqueles existentes entre os estacionamentos, os terminais, as áreas de apoio e as de manutenção de aeronaves.
- Terminais, onde são atendidos os passageiros (terminal de passageiros), e processadas a carga e a mala postal (terminal de carga).
- Áreas de apoio ou de serviços auxiliares, que concentram os serviços ligados à operação do sistema, dentre outros, o de prevenção e combate a incêndio, de proteção ao voo e controle de tráfego, centrais de comissaria e centrais dos serviços de infra-estruturas (compreendendo: central de abastecimento de combustível, de coleta de lixo e de tratamento de esgoto, de abastecimento de energia elétrica, e de comunicações).
- Áreas de manutenção de aeronaves, que são destinados ao uso exclusivo de companhias aéreas, possuindo pátios, hangares e escritórios.
- Acesso aéreo, compreendendo as pistas de pouso e decolagem (onde essas operações são executadas) e o espaço aéreo definido pela Área Terminal (onde as aeronaves executam os procedimentos de navegação aérea, de circulação e espera em voo e de aproximação para pouso; e de subida e afastamento na decolagem).
- Circulação de aeronaves, também chamadas de pistas de táxi, que são as pistas de rolamento para circulação das aeronaves no solo, conectando as pistas de pouso e decolagem com os pátios de estacionamento.
- Áreas de estacionamento de aeronaves, presentes em todos os aeroportos, independente da demanda a atender, pela necessidade de estacionamento das aeronaves durante as operações que não envolvam diretamente o pouso ou a decolagem, tais como embarque e desembarque de passageiros, bagagens e carga, e abastecimento, dentre outros.

Como o presente trabalho concentra-se no estudo do pátio de estacionamento de aeronaves é importante discutir o enquadramento desse subsistema mais detalhadamente:

Embora o TRB [92, 94] coloque o pátio de aeronaves parte no lado aéreo (voltado à aeronaves) e parte no lado terrestre (voltado aos passageiros e cargas) a divisão mais comumente encontrada coloca o pátio de aeronaves no lado aéreo somente [31, 55, 3, 4, 42, 62], pela maior concentração de atividades voltadas às aeronaves.

Essa variação de classificações simplesmente realça o fato de que a área chamada de pátio de aeronaves tem uma característica de interface entre o lado aéreo e o lado terrestre, compreendendo atividades relacionados às aeronaves (lado aéreo) e relacionados aos passageiros e cargas (lado terrestre).

Este trabalho considerará o pátio de estacionamento de aeronaves como pertencente ao lado aéreo, mas não deixará de considerar seu caráter de interface entre o lado aéreo e o terrestre, assim como não deixará de representar as importantes atividades relacionadas aos passageiros e às cargas que nele se desenrolam.

A seguir serão tratados com mais detalhes os aspectos funcionais e conceituais ligados ao subsistema de pátio de estacionamento de aeronaves e, mais adiante, de seus componentes, as posições de estacionamento.

Figura 2: Subsistemas e componentes do sistema aeroporto. Fonte: Gualda (1995).

Figura 3: Aeroporto - Visão Sistêmica. Fonte: Lopes (1990).

2.3. Subsistema de pátio de estacionamento de aeronaves

O pátio de estacionamento de aeronaves é a interface entre o lado aéreo e o lado terrestre. Geralmente é uma área contígua ao terminal de passageiros, compreendendo as posições de estacionamento de aeronaves, as áreas de circulação das aeronaves e as áreas destinadas à circulação dos veículos e equipes de atendimento às aeronaves.

O TRB [94] afirma que “Alguns profissionais da área de aeroportos acreditam que a configuração (“lay-out”) do pátio é uma das principais características que influenciam o lado terrestre”.

O pátio de aeronaves é geralmente planejado em conjunto com o terminal de passageiros de modo a se obter máxima rapidez, segurança operacional e conforto aos usuários. Em alguns casos, por mudanças do perfil de demanda ou vocação do aeroporto, o pátio pode sofrer modificações significativas para sua adaptação.

As suas dimensões variam de maneira acentuada e dependem, segundo a bibliografia levantada [55, 76, 4, 42], da consideração dos seguintes aspectos:

- configuração (“lay-out”) do terminal (linear, “finger”, satélite, etc.);
- número e dimensão das posições de estacionamento;
- características físicas das aeronaves (dimensões, raios de giro, etc);
- tipo de procedimento de estacionamento utilizado (paralelo, “nose-in”, “nose-out”, ângulo, etc);
- sistema de rolamento de aeronaves no pátio (tratorada ou por meios próprios);
- separação mínima entre aeronaves e objetos fixos ou móveis;
- jatos de exaustão da aeronave (“blast”);
- vias de circulação de veículos de apoio o pátio;
- posições para estacionamento dos veículos e equipamentos de rampa;
- tipos e tamanhos dos equipamentos e veículos de apoio em solo (ônibus, tratores, escadas, etc.);

- práticas operacionais;
- problemas de ruído no terminal.

Para efeito de dimensionamento e análise operacional os pátios de estacionamento podem ser identificados como: pátio do terminal de passageiros, pátio do terminal de cargas, pátio de permanência, e pátio de manutenção. Tal divisão, embora útil, não é absoluta. Muitos pátios de aeronaves são utilizados (alternativamente ou concomitantemente) de modo que poder-se-iam incluir em mais de um dos grupos citados.

a) Pátio do terminal de passageiros

O pátio do terminal de passageiros é a área projetada para atendimento das aeronaves e maior parte das transferências entre o modo aéreo e o modo terrestre. As transferências são principalmente de passageiros e bagagens, mas não se limitam a esses dois, pois em alguns aeroportos sem terminal dedicado à carga, também podem ocorrer transferências de carga e mala postal. Sua localização é geralmente nas adjacências do terminal de passageiros, ou de maneira facilmente acessível a este. Sua geometria está geralmente ligada à configuração do terminal de passageiros.

O pátio é projetado para que possa, de maneira eficiente, atender às atividades de transferências de passageiros e de atendimento às aeronaves (como abastecimento, comissaria, limpeza, etc.), que sucedem ou antecedem as operações de pouso e decolagem. Essas funções são desenvolvidas com as aeronaves estacionadas em posições específicas do pátio, projetadas para tal, conhecidas na literatura como posições de estacionamento³.

O tamanho de cada posição nesse pátio é influenciado principalmente pelo porte das aeronaves atendidas e o modo adotado para estacionamento (descritos mais adiante).

³ “Stand” na nomenclatura inglesa, embora também possa ser encontrado em muitos casos chamados, indistintamente, “gate”. “Gate” é o nome dado às posições de estacionamento servidas por pontes de embarque e desembarque de passageiros, mas é muito comum sua utilização em referência a qualquer posição de estacionamento do pátio de passageiros.

Pela sua maior dinâmica, demanda e influência no conforto dos passageiros, e por ser o tipo de pátio com problemas de congestionamento no aeroporto de Congonhas, o presente trabalho tratará do pátio do terminal de passageiros.

b) Pátio do terminal de cargas

Em aeroportos onde há uma maior frequência de aeronaves cargueiras puras (aeronaves transportando somente cargas) essas aeronaves são geralmente atendidas numa área um pouco mais afastada do terminal de passageiros, geralmente mais próxima dos terminais de carga. Os parâmetros de configuração desse tipo de pátio são semelhantes aos do terminal de passageiros.

Em aeroportos em que a frequência de aeronaves cargueiras puras é reduzida, normalmente verifica-se o uso de uma porção remota do pátio de passageiros para o processamento de carga aérea.

c) Pátio de permanência

Em aeroportos que apresentam significativo volume de tráfego de aeronaves pode ser destinada uma área, a uma distância segura das aeronaves em movimento, para estacionamento e permanência de aeronaves durante estadias prolongadas. Cada aeroporto tem sua política de tempo máximo para utilização das posições do terminal de passageiros e remoção da aeronave para o pátio de permanência.

Em aeroportos onde os tempos de permanência são freqüentemente mais curtos (não justificando a criação de um pátio de permanência) posições remotas podem eventualmente ser utilizadas como posições de permanência.

A área de permanência é freqüentemente utilizada para pequenas manutenções, podendo também, em períodos de pico, ser utilizada como parte do terminal de passageiros. Esse é o motivo pelo qual as posições de estacionamento do pátio de permanência são geralmente tratadas na literatura como “stand”, nomenclatura que pode ser entendida como mais genérica englobando o conceito de “gate”, que é reservado somente para as posições de estacionamento do pátio do terminal de

passageiros. Muitos trabalhos, no entanto, utilizam o termo “stand” e “gate” indistintamente ⁴.

O pátio de permanência é comumente encontrado em aeroportos com vôos internacionais, pelas maiores diferenças entre os horários de pouso e decolagem, sendo utilizados até para pernoite.

Em aeroportos de maior movimento de aviação geral (monomotores e bimotores leves) o pátio de permanência pode ter uma pavimentação mais simples, podendo até ser gramado.

d) Pátio de manutenção

O pátio de manutenção, integrante do subsistema de manutenção de aeronaves, é localizado junto aos hangares das empresas aéreas e oficinas de manutenção, distante dos demais pátios de estacionamento.

A seguir serão apresentadas as características das posições de estacionamento, posto que é o conjunto dessas posições que compõe o pátio de estacionamento de aeronaves.

2.3.2. Posições de estacionamento de aeronaves

O pátio de estacionamento compreende um grupo de posições de estacionamento de aeronaves. A nomenclatura mais utilizada, em referência à uma posição do pátio do terminal de passageiros, é “gate position” ou simplesmente “gate”; posição de estacionamento ou apenas posição.

Como este trabalho concentrar-se-á no estudo do pátio do terminal de passageiros, doravante serão tratadas as peculiaridades das posições de estacionamento nesse tipo de pátio. Assim, os termos *posição* ou *posição de estacionamento* referir-se-ão a uma posição pertencente ao pátio de passageiros, sendo os outros tipos identificados caso necessário.

⁴ ver nota anterior

As posições são espaços bem definidos nos pátios, destinadas ao estacionamento de uma só aeronave de cada vez. São projetadas para acomodarem aeronaves de tipos específicos, dentro de uma faixa de dimensões, não podendo ser utilizadas por aeronaves que não se enquadrem nessas faixas.

Um aeroporto pode ter todas as posições preparadas para atender quaisquer dos tipos ou portes de aeronaves que o utilizam ou pode ter grupos de posições dedicadas a determinadas faixas de porte de aeronaves. As características do pátio de Congonhas serão tratadas mais adiante na oportunidade do desenvolvimento do modelo.

A seguir serão abordados os vários aspectos determinantes na configuração das posições de estacionamento, suas dimensões e seu funcionamento. São eles: diferenciação entre posição próxima ou remota, porte das aeronaves, modos de estacionamento e tipos de permanência.

a) Estacionamento próximo e remoto

Dependendo da distância e como são atendidas as posições podem ser remotas ou próximas. As posições próximas são aquelas onde os passageiros desembarcam por meio de pontes ou de escadas (nesse último caso dirigem-se ao terminal de passageiros caminhando pelo pátio). Para as posições remotas o deslocamento de passageiros é feito por veículos terrestres (ônibus ou veículos especializados, conhecidos como “mobile-lounges”). Normalmente a preferência é dada ao uso das posições próximas, pelas vantagens decorrentes da menor distância ao terminal e por não demandarem o uso de veículos auxiliares.

b) Porte das aeronaves

Pela classificação da ICAO (“Internacional Civil Aviation Organization”) [46] as aeronaves são divididas em categorias, de acordo com o porte. Essa classificação é baseada nas faixas de envergadura. Ela é importante, pois a envergadura, juntamente com o modo de estacionamento, é os principais fatores que determinam as dimensões das posições no seu projeto, ou o porte das aeronaves que podem ser atendidas numa

posição existente. As categorias de aeronaves e alguns exemplos dentro de cada uma delas estão presentes na Tabela 1 e Tabela 2 .

Tabela 1: Envergadura das aeronaves por categoria. Fonte: ICAO, 1999.

Categoria Aeronave	Envergadura (m)
A	$x < 15$
B	$15 \leq x < 24$
C	$24 \leq x < 36$
D	$36 \leq x < 52$
E	$52 \leq x < 65$

Tabela 2: Exemplos de aeronaves por categoria e respectivas envergaduras

	Envergadura (m)	Categoria
EMB-120	19.8	B
ERJ-145	20.0	
A319	34.1	C
A320	34.1	
AT42	24.6	
B737-200	28.4	
B737-300	28.9	
B737-500	28.9	
F100	28.1	
F50	29.0	
B767-200	47.6	D
B767-300	47.6	
MD11	51.7	
A300	44.8	
A330	60.3	E
B777	60.9	
B747	64.4	

Abaixo estão as separações por categorias de peso e sua correspondência aproximada com as categorias de envergadura, assim como alguns exemplos de aeronaves pertencentes a cada uma [47]:

A: Leves – aeronaves com peso máximo de decolagem inferior a 7.000 kg (e.g., PA31, Cessna Citation).

B: Médias – Turbo-propulsão - aeronaves com peso máximo de decolagem entre 7.000 kg e 136.000 kg (e.g., EMB-120, ATR-42).

C: Médias – Turbojato - aeronaves com peso máximo de decolagem entre 7.000 kg e 136.000 kg (e.g., B737, A319, ERJ-145).

D e E: Pesadas - aeronaves com peso máximo (certificado) de decolagem superior a 136.000 kg (e.g., A340, B767).

Essa divisão em categorias permite também a determinação do “mix” de frota num aeroporto (percentagem de aeronaves em cada um das categorias que operam no aeroporto em estudo). Essa divisão permite a caracterização do tráfego e sua comparação entre aeroportos e é utilizada para simplificação de entrada de dados em vários estudos, especialmente aqueles que se valem de formulações analítico-empíricas.

c) Modos de estacionamento

Em vista da grande implicação tanto em termos de planeamento como de operação do pátio de aeronaves, serão tratados brevemente os modos básicos de estacionamento de aeronaves.

Os modos de estacionamento básicos são “power in/power out”, em que a aeronave chega e sai da sua posição de estacionamento por meios próprios, e estaciona formando um ângulo específico em relação ao terminal de passageiros, de modo a obter a velocidade necessária para as manobras de saída; e “power in/ push out”, sendo sua operação de saída auxiliada por tratores.

Nas posições que operam “power in/power out”, sendo próximas, o desembarque é feito normalmente com escadas. As posições remotas, que geralmente operam “power in/power out”, podem dispor de veículos especializados, conforme citado anteriormente.

As posições que operam em “power in/push out” normalmente são servidas por pontes de embarque, embora não seja regra, pois o aeroporto de Congonhas não possui as pontes de embarque e no entanto utiliza-se dos tratores para saída das aeronaves, que estacionam perpendicularmente ao terminal de passageiros.

d) Tipos de permanência

Os tipos de permanência na posição podem ser origem, passagem, retorno ou terminal:

- origem, quando a aeronave ocupar a posição exclusivamente para nela assumir um voo;
- passagem, caracterizada pelo fato da aeronave pousar, ocupar a posição e decolar dando continuidade a um mesmo voo;
- retorno, quando a aeronave chega ao aeroporto, ocupa a posição, concluindo um voo e assumindo outro, e a seguir decola;
- terminal, quando a aeronave ocupa a posição, concluindo um voo sem no entanto assumir outro voo, deixando a posição.

Através do tipo de permanência é possível, por vezes (e dependendo de sua existência), a determinação do tipo de pátio que será utilizado.

2.3.3. Atividades nas posições de estacionamento de aeronaves

Nas posições de estacionamento de aeronaves ocorre a prestação de uma série de serviços visando o atendimento dos passageiros, da aeronave e o manuseio de bagagens e cargas. Segundo os manuais de planejamento aeroportuário da Boeing [16, 17] e Ashford [4], estas são as atividades possíveis (e equipamentos de apoio) em uma posição:

- Serviços de rampa
 - estacionamento da aeronave
 - acionamento dos motores, partida de ar
 - reboque ou tratoramento da aeronave (“push-in”, “push-out”)
 - medidas de segurança
- Serviços na aeronave em rampa
 - embarque e desembarque de passageiros
 - embarque, desembarque e manuseio de bagagens e carga

- inspeção e pequenos serviços de manutenção da aeronave (manutenção de rotina, reparo de falhas)
- abastecimento com combustível
- checagem de rodas e pneus
- fornecimento de energia elétrica (“Ground Power Unit” -GPU)
- aquecimento (“deicing”)
- fornecimento de ar condicionado
- retirada de dejetos e preparação dos toaletes
- abastecimento com água
- limpeza externa da aeronave
- aterramento elétrico ao solo

- Serviços de bordo
 - troca de tripulação
 - limpeza da cabine da aeronave
 - provisionamento (“catering”)
 - preparação dos sistemas de bordo (e.g.: entretenimento)
 - pequenos reparos ou ajustes na cabine
 - colocação dos assentos na posição vertical

- Equipamentos de apoio
 - colocação e remoção das escadas ou ponte de passageiros
 - ônibus de passageiros
 - veículos com provisionamento
 - veículos com carga
 - veículos com mala postal
 - veículos com equipamentos de reparos
 - veículos com combustível
 - veículos com água
 - veículos de coleta de esgoto
 - veículos com gerador de energia

Esta é uma lista geral das atividades possíveis e equipamentos de apoio nas posições de estacionamento. Dependendo do tipo da aeronave, ou do tipo de operação ou permanência da aeronave, algumas podem ser dispensadas.

A título ilustrativo apresenta-se a figura da disposição dos equipamentos em torno da aeronave (Figura 4) e o cronograma de atividades de rampa (Figura 5), ambos elaborados pelo fabricante [17] para as aeronaves da série 737-300, típicas em rotas domésticas brasileiras de maior demanda.

O tipo de atendimento ou sequência de tarefas a serem prestadas à aeronave, durante a ocupação da posição, são basicamente influenciadas por dois fatores: tipo da aeronave (principalmente devido ao porte) e tipo da permanência na posição.

Figura 4: Disposição dos equipamentos em torno da aeronave (operação de “turn-around” típica). Fonte: Boeing, 1990.

NOTAS:

1. ESTIMATIVAS BASEADAS EM CONFIGURAÇÃO DE CLASSES MISTAS DE AERONAVES E FATOR DE CARGA DE 65%
2. ASSUME-SE QUE TODOS OS EQUIPAMENTOS FUNCIONEM ADEQUADAMENTE E NÃO HAJA CONDIÇÃO ANORMAL DE TEMPO. TEMPO TOTAL DE 30 MINUTOS EM RAMPA.
3. USO DE PORTAS DIANTEIRAS E TRASEIRAS DA AERONAVE
4. TODOS OS PASSAGEIROS SÃO TROCADOS
5. OS DADOS ACIMA ILUSTRAM TAREFAS GERAIS ENVOLVIDAS NAS OPERAÇÕES DE TERMINAL, PODENDO VARIAR DE ACORDO COM PRÁTICAS ESPECÍFICAS DE COMPANHIAS AÉREAS E CIRCUNSTÂNCIAS OPERACIONAIS, LEVANDO A DIFERENTES SEQUÊNCIAS E TEMPO DE CADA TAREFA.
6. OPERAÇÕES DE SOLO DEVEM SER COORDENADAS COM AS COMPANHIAS AÉREAS ANTES DO PLANEJAMENTO DOS SERVIÇOS DE RAMPA.

Figura 5: Cronograma de atividades (operação de “turn-around” típica). Fonte: Boeing, 1990.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Tipos de estudos de pátio de aeronaves

São vários os tipos de divisão encontrados em relação aos trabalhos que tratam especificamente da análise de pátios de aeronaves.

Martinelli [57] em seu trabalho sobre metodologias para a estimativa do número de posições de estacionamento nos pátios de aeronaves comerciais, divide os trabalhos pesquisados em três grupos, segundo sua ordem cronológica, entre:

- baseados em modelos determinísticos ou empíricos,
- baseados em modelos de teoria de filas,
- baseados em simulação em computador.

O autor utilizou essa divisão baseada na metodologia empregada nos estudos de planejamento para determinação do número de posições.

Há quem vá mais adiante e identifique, mesmo que simplificada, os trabalhos segundo seus objetivos, como Rodrigues [76] que propõe a divisão dos estudos sobre pátio de estacionamento em operacionais e de planejamento.

Assim os estudos de planejamento procuram, por exemplo, estimar a quantidade e a capacidade (em termos de tamanho) para atender uma certa demanda (atual ou futura). O trabalho de Martinelli [57] estaria nesse grupo, e em grande parte o do próprio Rodrigues [76], dentre outros ([6], [34], [52], [93]).

Quanto aos estudos operacionais, estes têm duas principais correntes. Uma que se preocupa com o problema de alocação das posições disponíveis às aeronaves, conforme sua chegada (“gate assignment”), como o trabalho de Lopes [55] e outros ([99], [2], [87]). Outra corrente busca a identificação de gargalos operacionais propondo alterações nas operações para sua melhoria, visando o atendimento de um determinado nível de serviço.

A divisão mais completa, no entanto, é a de Lopes [55] em seu trabalho “Contribuição à modelagem do problema do planejamento da operação de pátios de

aeronaves em aeroportos” onde aborda o problema do planejamento para designação de posições de estacionamento às aeronaves (‘gate assignment’), utilizando a técnica de programação linear em inteiros.

Sua pesquisa sobre os trabalhos de pátio de aeronaves levou-o a propor a seguinte divisão (baseada em objetivos):

1. modelos para cálculo do número necessário de posições para o estacionamento, desenvolvidos para fins do planejamento aeroportuário.
2. modelos para determinação da capacidade do pátio de estacionamento, tanto com o enfoque do planejamento (configuração das posições) como da operação (avaliação da capacidade das posições).
3. modelos para análise do processo de ocupação das posições de estacionamento, que avaliam as características e o comportamento dos parâmetros relevantes associados à ocupação de uma posição de estacionamento por uma aeronave.
4. modelos para alocação de aeronaves no pátio de estacionamento.

Lopes [55] enquadra seu trabalho no último caso, e afirma ter procurado considerar alguns dos mais importantes elementos do terceiro caso.

Por essa divisão o trabalho de Martinelli [57] estaria no primeiro grupo, e o trabalho de Rodrigues [76] estaria no segundo grupo com restrições na parte operacional.

O presente trabalho visa contemplar os dois aspectos, operacional e de planejamento, enquadrando-se tanto no segundo como no terceiro grupos da divisão de Lopes [55].

Pelo que é discutido no trabalho de Gualda [31] e levado a cabo no trabalho de Fernandes [26] constata-se que em estudos de terminais a modelagem operacional detalhada permite não só a identificação de gargalos e teste de possíveis políticas de utilização de posições (dentre outras soluções operacionais para o atendimento da demanda com a configuração atual do aeroporto - de menor custo de implantação), como também a aplicação no campo do planejamento (pela comparação de possíveis

rearranjos de posições ou circulação de aeronaves e equipamentos ou até pela alteração do número de posições - de maior custo de implantação).

3.2. Estudos sobre o aeroporto de Congonhas

Como o presente trabalho tem por alvo a aplicação ao caso do Aeroporto de Congonhas, a revisão bibliográfica é iniciada pela verificação de alguns estudos relacionados a esse aeroporto.

Os dois principais estudos encontrados sobre esse aeroporto são o de Hashizume et al [36], de 1979 e de Martinelli [57], de 1980.

O primeiro tem importância na compreensão do desenvolvimento do aeroporto e das principais alterações físicas para atendimento da demanda. O segundo por tratar diretamente da capacidade de pátio de aeronaves daquele aeroporto.

O trabalho de Hashizume et ali. [36] - “Maior capacidade de operação para o aeroporto de Congonhas: viabilidade técnica” - deixa claro que o problema de capacidade em Congonhas não é recente. No final da década de 1970 Congonhas ainda era o aeroporto internacional de São Paulo, e sua capacidade limitada para atender à crescente demanda já era preocupante. Posteriormente os vôos internacionais passaram a operar no aeroporto de Guarulhos, mas nem por isso a demanda deixou de crescer em Congonhas.

A importância desse trabalho é que ele provavelmente serviu de base a várias alterações de infra-estrutura das pistas de pouso e decolagem e das pistas de rolagem. Essa suposição fundamenta-se na observação de suas propostas de alterações que compõe, na maior parte, as diferenças que podem ser percebidas entre a atual configuração do aeroporto e a que foi encontrada pelos autores.

A análise de demanda e de capacidade do aeroporto é feita com técnicas analítico-estatísticas, a serem abordadas mais adiante.

A conclusão dos autores através da comparação da demanda com a capacidade e dos tempos de espera considerados aceitáveis com os tempos de espera observados no aeroporto é que o componente limitante do aeroporto na época era a pista,

principalmente pela falta do acesso que facilitasse a manobra de aeronaves maiores até a cabeceira 17R (acesso destacado na Figura 6). As modificações hoje encontradas no aeroporto, que estão sugeridas nesse trabalho, aparecem destacadas na mesma figura.

Figura 6: Aeroporto de Congonhas em 2000.

O trabalho de Martinelli é da mesma época, porém seu interesse no aeroporto era somente de validação dos modelos de estimativa de número de posições.

Martinelli testou diversas técnicas (que serão tratadas mais adiante) com objetivo de comparar seus resultados com a realidade observada em Congonhas. Na época o aeroporto contava com, no máximo, de 12 a 13 posições simultaneamente ocupadas, e tempos médios de estacionamento 22% acima do esperado.

Dentro da vocação de planejamento do trabalho, seus resultados, baseados em métodos analíticos, teoria de filas e simulação da programação de vôos mostraram que modelos mais simples prestam-se bem a estimativas do número de posições. Constatou que o modelo analítico de Horonjeff [42] fornece resultados conservadores (de 12 a 13 posições) e que a aplicação do modelo de filas, com

chegadas numa distribuição de Poisson e atendimento Erlang fornece o que seria o número mínimo de posições necessárias (11 a 12). Nessa época o aeroporto tinha 18 posições de estacionamento no total, sendo 2 só para a ponte aérea, 3 preferencialmente para vôos internacionais, e o restante para as demais aeronaves comerciais regulares.

Os objetivos desses autores diferem dos objetivos do presente estudo, mas demonstram a importância do aeroporto e algumas das principais soluções para aumento de capacidade adotadas no passado, tais como: melhoria de pistas e de caminhos de circulação e aumento de número de posições (hoje são 26 dedicadas à aviação comercial).

Esse tipo de solução, baseada em alterações físicas, já não é mais tão viável, pois o aeroporto tem muito pouca possibilidade de expansão ou alteração na sua configuração. Por essa razão o estudo dos problemas de capacidade de pátio de aeronaves, hoje um dos principais fatores limitantes da capacidade total do aeroporto, passa pelo estudo integrado e minucioso das operações de pátio do aeroporto.

Um estudo mais recente (Targa [86] 2001) aborda o problema de gerenciamento de tráfego aéreo, mais especificamente no aspecto da alocação de *slots*⁵. Segundo o autor no Aeroporto de Congonhas essa medida foi adotada com vistas ao gerenciamento de tráfego aéreo, através da distribuição de pequenos intervalos de tempos reservados diariamente às empresas aéreas a partir de uma solicitação destas.

Esse tipo de gerenciamento normalmente prefere às esperas em solo, visando a redução de esperas em vôo, muito mais dispendiosas. No entanto não deixa de representar um prejuízo às companhias e ao sistema aeroportuário. Siewerdt [82] (apud Targa [86]): “O ATFM (*Air Traffic Flow Management*) basicamente transforma uma situação péssima (excesso de atrasos dos aviões e de carga de trabalho dos controladores) em uma situação ruim (esperas em solo e rotas alternativas)” e ainda que “as esperas em solo apresentam dificuldades inusitadas,

⁵ Targa define: “O slot de aeroporto é um intervalo de tempo estabelecido, durante o qual a operação de pouso ou decolagem deve ser realizada. Esse intervalo é quantificado de forma diferente em cada aeroporto (e.g. em -5 a + 10 minutos, contados a

pois face aos problemas de pátio (posições disponíveis) nos aeroportos afetados, não é difícil chegar-se ao impasse com travamento total do sistema”.

A partir desse panorama pode-se perceber o impacto dessas políticas, que embora necessárias (pois estão do lado da segurança e da economia) não deixam de ter seus efeitos colaterais negativos.

Targa, visando a utilização otimizada das esperas em solo, elaborou um algoritmo baseando-se no nivelamento de demanda e em uma série de regras e prioridades (Tabela 3). Desse modo, mostrou em seus testes que a média dos atrasos necessários em solo para a solução dos problemas de ATFM é da ordem de 9 a 16 minutos.

Esse estudo vem demonstrar o que foi mencionado no início deste trabalho: à demanda crescente do transporte aéreo somam-se as medidas de gerenciamento de tráfego como fatores de pressão sobre os limitados recursos de pátio de aeronaves.

Tabela 3: Regras e prioridades propostas por Targa (2001)

Regras	Prioridades
Quando a aeronave atender uma destas regras, ela não poderá ser atrasada, estas aeronaves não estão sujeitas a restrições:	Considerou-se a seguinte sequência para o atendimento dos planos de voo originais de cada aeronave:
<ul style="list-style-type: none"> Aeronaves provenientes de outros Centros de Controle (como outros países); *Aeronaves que já iniciaram seu voo; Vôos ditos especiais (emergência médica, autoridades, militares, bombeiros, etc). 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Ordem de chegada ao elemento crítico. O elemento crítico é o local onde está acontecendo o congestionamento. É obedecida aqui a regra do “<i>first-come-first-served</i>”, no qual a primeira aeronave a chegar no elemento crítico irá ser a primeira candidata a ser tratada. 2) Aeronaves que já tenham recebido algum atraso anterior. Como são vários elementos regulados alterando os vôos para não ultrapassar a capacidade, a aeronave que já recebeu algum atraso tem prioridade sobre a aeronave que ainda não recebeu atraso. Da mesma forma, a aeronave que recebeu maior atraso terá prioridade sobre a de menor atraso. 3) *Aeronaves que estão pousando têm prioridade em relação às que estão decolando. Isso é definido por motivo de segurança. 4) Caso haja empate nos critérios anteriores, a aeronave que tiver maior tempo de duração de voo (maior <i>EET – Total Estimated Elapsed Time</i>) terá prioridade sobre a de menor tempo. 5) Persistindo o empate, a escolha é aleatória.
* Estes itens somente são usados quando se referem no tratamento de aeródromos. Quando são tratados setores, todas as aeronaves já iniciaram seus vôos e, logicamente, o item de pouso/decolagem não terá sentido.	

partir do “slot” atribuído). “A perda do “slot”, normalmente por atraso, implica no caso do aeroporto de Congonhas em penalidades na forma de multas.

3.3. Técnicas utilizadas para modelagem de pátio de aeronaves

Para facilitar o agrupamento das técnicas encontradas, será adotada a divisão apresentada por Gualda⁶ [31], com a distinção entre os modelos determinísticos e estocásticos.

3.3.1. Modelos determinísticos

No trabalho de Hashizume et al. [36], buscando soluções para o aumento de capacidade do aeroporto (ver item 3.2), a demanda é obtida com base nos dados estatísticos de movimentos diários coletados.

A capacidade é calculada para os componentes: pistas, pátio e pistas de táxi, segundo métodos analíticos (FAA - “Federal Aviation Administration” e STBA – “Service Technique des Bases Aériennes”). Esses modelos analítico-empíricos utilizam valores estatísticos médios (média dos tempos das diversas operações e médias de tempos de espera), e embora bastante simples são eficazes para avaliações preliminares.

Embora os autores sugiram o possível uso de ferramentas computacionais (simulação), não puderam utilizá-las pelos limitados recursos computacionais da época.

Lopes [55], aborda o problema de “gate assignment”, ou seja, do planejamento para designação de posições de estacionamento às aeronaves, utilizando a técnica de programação linear em inteiros. Seu objetivo era obter um modelo que permitisse o planejamento otimizado da ocupação das posições de pátio de um aeroporto pelas aeronaves previstas para nele operarem. A otimização do uso das posições seria obtida pela minimização da distância percorrida pelos passageiros.

Ciente das limitações da técnica adotada (associadas à simplificação do problema para sua modelagem matemática), chega mesmo a mencionar modelos de simulação como o de Mountjoy [60], feito em GPSS, e o de Krauter & Khan [55],

⁶ “*Modelos determinísticos*, baseados, em particular nas Teorias da Programação Linear, da Programação Inteira, da Programação Geométrica, da Programação Não-Linear, da Programação Dinâmica, da Teoria dos Grafos e de Fluxos em

concluindo que permitem a representação mais precisa e específica do problema real. Apesar disso defende o uso da programação linear, em detrimento da simulação, pela necessidade que esta impõe do conhecimento mais detalhado do aeroporto em estudo, citando Martinelli [57], que também preferiu outras técnicas (determinísticas ou de teoria de filas) pelos mesmos motivos.

Estudando vários trabalhos, dentre eles o de Martinelli [57] e o de Belshe [12] - ambos com utilização de simulação - Lopes conclui que sem a inclusão do aspecto probabilístico e de algumas das principais restrições operacionais o modelo de programação linear não seria capaz de ter uma aplicação real.

Sua opção, feita pela programação linear, é justificada pela procura de um modelo mais flexível, que pudesse ser aplicado diretamente a qualquer aeroporto, “pagando o preço” da menor precisão em relação à realidade.

Apresenta, no entanto, restrições conceituais bastante importantes, como por exemplo, a não diferenciação entre posições remotas e próximas. As remotas são geralmente atendidas por ônibus e as próximas por ponte de embarque (ou são percorridas a pé), caracterizando situações bem diferentes de operação, que sem dúvida interferem nos resultados do modelo.

Gualda [31] no tópico que trata do dimensionamento de pátios de interface descreve três estudos por ele orientados sobre o tema de modelagem da alocação de aeronaves às posições de estacionamento (“gate assignment”). Um desses trabalhos é o de Lopes [55], já citado (baseado na programação linear em inteiros), os outros são o de Alves [2] (modelos heurísticos) e de Teixeira [87] (inteligência artificial). Conclui que para esse problema de alocação de aeronaves tanto as heurísticas como a programação linear em inteiros mostraram sua utilidade, porém destaca o sistema especialista de Teixeira [87], pelo seus bons resultados mesmo com uma estrutura relativamente simples, apresentando-o como o mais adequado face ao objetivos de elaboração de uma ferramenta operacional de alocação de aeronaves.

A escolha nesses três casos das técnicas de programação linear, heurística ou inteligência artificial para solução de problemas específicos de pátio de aeronaves, deve-se ao fato da aplicação ser voltada estritamente ao problema de “gate assignment”, tipicamente um problema de otimização.

Apesar disso, nota-se que estudos mais recentes que procuram otimizar a utilização do aeroporto, mas que não podem abrir mão de um maior detalhamento na representação do sistema real, acabam utilizando técnicas de otimização associadas a modelos de simulação, como nos trabalhos de Hutchison [45] e Kleinman [51]. Essa tendência é bastante disseminada, pelo que se observa nos trabalhos que propõe maneiras de integrar simulação e otimização como Glover [30], Pool [71], Olafsson [66] e Bowden [18], para citar somente alguns dos vários que podem ser encontrados nos anais da WSC [98] (“Winter Simulation Conference”).

Martinelli [57] também utiliza-se dos modelos determinísticos do FAA (Federal Aviation Administration), do professor Horonjeff [43] e uma simplificação deste último método proposta por Ashford [5] em seu trabalho que analisa metodologias para a estimativa do número de posições de estacionamento nos pátios de aeronaves comerciais. Conclui que esses modelos são bons para projeto do número de posições necessárias, mas julga-os conservadores. Sugere então o uso da Teoria de Filas (com atendimento Erlang) para determinação do número mínimo absoluto de posições (ver item 3.2 e 3.3.2). Acaba defendendo o uso dos modelos mais simples por seus objetivos de planejamento e estimativa de número de posições necessárias, embora também tenha avaliado outras técnicas, como será apresentado a seguir.

3.3.2. Modelos estocásticos

Martinelli [57] também utilizou-se da teoria de filas, admitindo uma distribuição de Poisson na chegada de aeronaves às posições, com médias válidas por períodos de 3 horas, atendimento segundo uma distribuição Erlang (alcançando ajustes apenas razoáveis) e um número determinado de canais de atendimento (posições de estacionamento), sem que se permita espera (um elemento chegando e encontrando o sistema cheio não é atendido). Alerta, entretanto, que esse método

pode não ser adequado em alguns casos onde as hipóteses simplificadoras adotadas para sua utilização acabariam afastando o modelo da realidade. As principais hipóteses são:

- A hipótese das chegadas obedecerem a uma distribuição de Poisson, que só é válida em certos casos, sendo irreal em situações em que a operação do aeroporto está próxima à capacidade máxima das pistas, quando o que acontece é que as chegadas ao pátio obedecerão à cadência permitida pelas pistas, reduzindo consideravelmente a aleatoriedade de saída do subsistema de pistas e, conseqüentemente, das entradas do subsistema de pátio. Ressalta que somente se a taxa de chegadas estiver entre “duas aeronaves por hora e 70% da capacidade máxima da pista” uma distribuição de Poisson poderia ser considerada. Assim para aeroportos com utilização superior a 70% da capacidade da pista (maioria dos grandes aeroportos) o uso desse tipo de distribuição não é adequado.
- Hipótese da utilização do pátio sem interferência entre as aeronaves, equipamentos e pessoas.
- Consideração de que o atendimento não é feito se todas as posições estiverem ocupadas.

Reconhece que a principal deficiência dos modelos estudados (determinísticos e estocásticos baseados em teoria de filas) sobre pátios de aeronaves reside no não reconhecimento dos horários programados de vôos (“schedule”), concentrando-se nas relações entre horário e ocupação das posições de estacionamento (distribuições de chegada para cada hora, por exemplo). Conclui que essa abordagem é deficiente porque o horário (programado) representa um elemento determinístico de processo, enquanto a variabilidade do tempo real da chegada e de tempo de estacionamento fornecem o elemento aleatório. Nesse caso a simulação com a utilização dos horários programados (em vez de distribuições) para chegadas e saídas das aeronaves, forneceria melhores resultados. Elabora então um modelo de simulação simples, considerando a programação de vôos.

O modelo de simulação é bastante simplificado, dividindo o processo em três partes: chegada, estacionamento e saída. Em extensa análise estatística, compara os

horários programados (HOTRAN) com os praticados, visando obter as distribuições dos desvios de chegada, distribuições do tempo de estacionamento e saída, estudando as principais causas da sua variação em relação ao programado (antecipações e atrasos).

A simulação em GPSS (General Purpose Simulation System) contempla cenários combinando as seguintes opções de modelagem:

- chegadas: segundo horário programado considerando desvios, ou por Poisson.
- estacionamento: com tempos obtidos pela diferença entre horários programados de chegadas e saídas, levando em consideração desvios e peculiaridades (características do tipo de voo), ou por Erlang.

Com abordagem de planejamento (determinação do número necessário de posições), e pela extrema simplicidade do seu modelo de simulação, conclui que os métodos determinísticos e estocásticos (baseados em teoria de filas), são os mais adequados por permitirem utilização mais imediata e por apresentarem resultados satisfatórios com menor esforço.

Embora admita que a simulação pode fornecer melhores resultados, justifica a preferência afirmando que uma simulação mais detalhada seria onerosa, pois demandaria um conhecimento muito maior das especificidades do problema.

Até esse ponto já é perceptível que os autores dos trabalhos que utilizaram modelos determinísticos, programação linear, heurísticas, sistemas especialistas ou teoria de filas reconhecem as vantagens da simulação, e só usaram outras técnicas por terem objetivos que permitiram seu uso ou para simplificar a solução em épocas de menores recursos computacionais.

A simulação apresenta-se como uma técnica bastante eficiente na aplicação aos problemas de terminais de transportes, especialmente aqueles de caráter operacional, e suas vantagens serão abordadas a seguir.

Tratando de *balanceamento de terminais* Gualda [31] dá um exemplo da análise de capacidade de um terminal portuário feita por Botter [13], utilizando-se de

modelos de filas e de simulação (GPSS) como principais técnicas, sobre o qual Gualda conclui que a simulação é recomendada para análises mais detalhadas do sistema, embora o modelo de filas possa ser aplicada em casos que não demandem maior precisão, ou para análises mais rápidas.

Mais adiante no tópico sobre *balanceamento de capacidade de veículos e equipamentos* encontra-se a seguinte recomendação: “Na medida em que se deseje fazer uma análise do balanceamento de capacidade de um terminal levando em conta detalhes operacionais de componentes do terminal e de equipamentos de movimentação e armazenagem, há que se partir para modelos capazes de trabalhar nesse nível de detalhe. Uma ferramenta adequada, em casos desse tipo, é a simulação estocástica, a qual pode ser realizada com utilização de linguagens específicas, como GPSS (General Purpose Simulation System)”.

Essa afirmação é comprovada pelo recente estudo feito por Fernandes [26] (“Modelo econômico-operacional para análise e dimensionamento de terminais de contêineres e veículos”), que avalia um terminal portuário de forma abrangente e integrada, utilizando-se da simulação.

O modelo, criado em Arena, tem como subsistemas a atracação de navios, o descarregamento de contêineres dos navios, o carregamento dos navios, o atendimento de veículos que deixam ou retiram carga do terminal e o pátio de contêineres (com suas limitações de espaço) com alto grau de detalhamento. São definidos, por variáveis aleatórias, intervalos de chegada e tempos de atendimento para cada tarefa envolvida na operação portuária. Dessa forma pôde simular variações na demanda de movimentações num certo período de tempo (cenários de demanda).

O trabalho avalia a operação do porto em vários cenários de crescimento e determina pontos de dimensionamento e o investimento necessário para sua implementação, de modo que um certo nível de serviço pré-estabelecido seja atendido. Os níveis de serviço considerados são os tempos médios em fila dos navios. Também identifica as eficiências e ociosidades envolvidas na operação do terminal, para cada um dos recursos (portêineres, empilhadeiras, carretas, equipes de

trabalho, etc.). O autor ainda destaca outros usos da simulação, como para a obtenção de parâmetros operacionais não existentes nas estatísticas (por exemplo: tempo médio em fila ou número médio de elementos na fila).

Ainda sobre esse mesmo assunto (*balanceamento de capacidade de veículos e equipamentos*) Gualda [31] descreve outro trabalho onde a simulação estocástica foi aplicada. Trata-se de uma complexa simulação para análise do TECON (Terminal de Contêineres do Porto de Santos), visando à identificação de gargalos operacionais naquele terminal. O modelo foi elaborado segundo a configuração real do terminal, e foi validado pela comparação dos resultados estatísticos do modelo com as estatísticas do terminal. Uma aplicação do modelo consistiu na verificação da sensibilidade à variação no número de equipamentos sobre a operação do terminal. Outra análise destinou-se a avaliar quais as medidas necessárias para que o terminal absorvesse, de forma eficiente, demandas crescentes de movimentação de contêineres.

A principal conclusão de Gualda [31] sobre esses trabalhos é “de que a utilização de modelos de simulação, apesar de exigir conhecimento e recursos computacionais específicos, permite, como nenhum outro ferramental pesquisado, um tratamento ao mesmo tempo abrangente e pormenorizado do problema, possibilitando a realização de análises específicas de desempenho de componentes do sistema, de forma a se testar alternativas operacionais para balanceamento da capacidade operacional do mesmo”.

Vistos esses exemplos que demonstram a validade do uso da simulação em problemas de terminais, serão tratados exemplos específicos de simulação aplicada a problemas de pátio de estacionamento.

Braaskma & Shortereed [14] (apud Rodrigues [76]) construíram um modelo de simulação para determinação do tempo total de atendimento de uma aeronave e o caminho crítico das atividades de atendimento, concluindo que a limpeza de cabine e manuseio da bagagem representam o caminho crítico pra vôos do tipo passagem, e quando a permanência é do tipo retorno o caminho crítico sempre passa pela limpeza da cabine. Nesse trabalho os atrasos são considerados como uma variável aleatória

com distribuição assimétrica. As durações das atividades e serviços são dadas por distribuições Normais, adotando-se a média aritmética dos valores observados. No caso dos atrasos, as distribuições também são Normais, porém dadas pelas modas dos valores observados. Os horários previstos de chegada e saída das aeronaves (que corresponde ao HOTRAN no Brasil) são considerados como os horários reais de chegada e saída.

Brant & Mc-Award [15] (apud Rodrigues [76]) elaborou um modelo de simulação para avaliar o desempenho do projeto do futuro aeroporto de Dallas-Fort Worth que tem o perfil de chegadas proposto de duas maneiras: geradas randomicamente com a composição de tráfego desejada (“mix” de aeronaves) ou utilizando uma programação futura (programação esperada). Essa última opção foi utilizada no trabalho, construindo-se uma programação típica para cada dia da semana. Os atrasos em relação à programação são obtidos considerando-se distribuições reais de atrasos. O tempo de permanência na posição é dado por tempos médios de permanência; ou tempo mínimo de permanência, para vôos que chegam atrasados. Os atrasos no atendimento à aeronave na posição foram retirados de dados históricos. Através desse trabalho economias substanciais nos custos iniciais de construção do aeroporto foram obtidas.

Rodrigues [76] em seu trabalho “Uma contribuição ao estudo da infra-estrutura aeronáutica: proposta de um modelo de simulação para a ocupação do pátio de estacionamento de aeronaves”, concluindo que a simulação seria a técnica mais indicada para análise do pátio de estacionamento de aeronaves desenvolveu seu modelo de simulação em Turbo Pascal.

A lógica do modelo é definida pela interação das aeronaves com as posições de estacionamento no pátio. As aeronaves chegam ao pátio e são atendidas caso existam posições livres, ou aguardam na fila de espera pelo atendimento.

Como o aeroporto estudado (Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro – Tom Jobim) não apresentava o problema de fila para aguardar posição, o autor comparou o número de aeronaves processadas pelas posições próximas, dotadas de pontes de embarque, com aquelas processadas pelas posições remotas, atendidas por ônibus.

Através da análise da sensibilidade do modelo à alteração nos parâmetros o autor elaborou cenários que possibilitariam o atendimento de mais aeronaves nas posições próximas.

Para compreender a extensão do modelo, no que se refere ao detalhamento das entidades, a Figura 7 apresenta uma compilação dos parâmetros considerados para descrever as suas duas principais entidades: as aeronaves e as posições de atendimento.

Em relação às atividades, tomando-se o exemplo de uma aeronave chegando ao aeroporto. Os passos seguidos pelo modelo são:

1. modelo considera a programação de vôo
2. adiciona um atraso de chegada, sorteado de uma distribuição normal de atrasos
3. verifica se há posição disponível segundo critérios baseados nas características acima expostas
4. considera o tempo de ocupação da posição segundo um valor sorteado de uma distribuição Erlang
5. adiciona um atraso de saída sorteado de uma distribuição normal
6. libera a posição

Nota-se que no caso de não haver posição disponível, o modelo conta como aeronave atendida em posição remota. No caso daquele ser o próprio aeroporto de origem da aeronave, ou seja, só consta um horário de saída, o modelo faz a conta inversa (subtrai um atraso de saída, um tempo de atendimento na posição e um atraso de chegada), obtendo um horário fictício de chegada para organizar as aeronaves segundo uma fila de chegadas para requisição de posições.

Os resultados finais de contagem de posições ocupadas no decorrer do tempo dados pelo modelo são ligeiramente maiores que a realidade.

Apesar de bastante útil para avaliação do número de posições necessárias e impactos de alterações de programação de vôos no pátio de estacionamentos, o modelo ainda é um tanto genérico, pois não entra em detalhe na análise das diversas

peculiaridades (principalmente físicas) que variam de aeroporto para aeroporto, considerando que os dados estatísticos coletados intrinsecamente balancearão esses fatores.

Essa tentativa de generalização faz com que o modelo não possibilite o estudo dos processos de atendimento das aeronaves, pois os tempos de atendimento são dados por distribuição do tempo total de processamento da aeronave no “gate”. Ela é compreensível no caso de Rodrigues [76], já que sua preocupação maior foi mensurar os benefícios do aumento no número de posições, mas não suficiente para análise do processo de ocupação das posições de estacionamento e da sensibilidade do sistema a mudanças nas operações.

A vantagem de uma análise mais detalhada desses aspectos operacionais fica clara quando se pretende encontrar oportunidades de melhoria nessas operações que é importante especialmente quando o aeroporto chega próximo à saturação, como é o caso de Congonhas.

Seguem abaixo alguns poucos exemplos de como o processo de ocupação pode influenciar o desempenho do sistema:

- dependência das sub-atividades de atendimento das aeronaves na posição de estacionamento em relação a recursos (pessoas e equipamentos), podendo levar a atrasos na operação de desembarque de passageiros, por exemplo, por falta de equipamentos, etc.
- problemas e atrasos gerados pela movimentação das aeronaves chegando ou saindo ou equipamentos no pátio (interferências físicas),
- impacto no uso das posições devido à formação de filas na cabeceira de decolagem ou na entrada do pátio.

Desse modo entende-se que a busca por melhorias exige um refinamento maior da modelagem.

Figura 7: Atributos utilizados no modelo. Baseado em: (Rodrigues, 1994)

3.4. Conclusões sobre a revisão bibliográfica

A partir do material bibliográfico consultado, descrito criticamente no item “Técnicas utilizadas” apresentam-se, resumidamente, as seguintes constatações:

Quanto aos modelos determinísticos, pode-se concluir a partir dos exemplos dados, e com corroboração de importantes autores ([5], [6], [15], [34], [43], [58], [61], [67], [68], [84]), que sua maior deficiência está em substituir a distribuição de probabilidades de uma variável por sua média. A natureza probabilística, que não pode ser representada por modelos determinísticos, é encontrada claramente na demanda (a chegada de aeronaves depende do tempo e está sujeita a aleatoriedade) e no serviço oferecido (pois a composição do tempo de ocupação de pátio é complexa e depende de diversos sub-serviços, com tempos de duração também sujeitos a aleatoriedade).

Dentre os modelos estocásticos que requerem uma solução analítica, percebe-se que a necessidade de várias hipóteses simplificadoras acabam afastando o modelo da realidade, especialmente por não poderem reproduzir os efeitos das programações de chegadas.

Os modelos de simulação, por serem mais detalhados, requerem maior tempo para elaboração (levantamento de dados, especificidades do aeroporto em estudo, dentre outros) e sua aplicação não pode ser generalizada de imediato, (ou seja, um modelo aplicado a um caso precisaria de alterações para poder ser aplicado a outros casos), mas fornecem, no entanto, resultados muito mais precisos e facilitam muito a análise da sensibilidade do sistema face à alterações de seus subsistemas, sendo a melhor opção para o problema de análise detalhada das operações de pátio de estacionamento de aeronaves.

É importante ressaltar que diversos autores, dentre eles Martinelli [57], Lopes [55], Rodrigues [76], Brant & Mc-Award [15], Braaskma & Shortereed [14], recomendam o uso da programação de vôos (“schedule”), em vez de uma distribuição probabilística, para representação satisfatória das chegadas das aeronaves nos modelos.

Também destaca-se a necessidade de considerar-se os efeitos dos atrasos resultantes das esperas em solo, comuns em Congonhas [86].

É evidente a predileção pelo uso da simulação em estudos operacionais que requerem maior detalhamento, principalmente quando seu objetivo é a identificação de gargalos e balanceamento do sistema ou de equipamentos, especialmente pelas inúmeras possibilidades para a análise da sensibilidade do sistema às diversas propostas de melhorias (visando o atendimento de uma certa demanda e respeitando um certo nível de serviço) que no caso dos pátios de estacionamento de aeronaves reflete-se principalmente redução das esperas e atrasos pela falta de posições disponíveis.

Além disso a simulação foi recomendada ou utilizada em diversos trabalhos com temas de transporte aéreo [5, 6, 15, 36, 40, 56, 58, 61, 67, 70, 78, 80, 100] e específicos de problemas de pátio de aeronaves [12, 14, 34, 52, 57, 58, 76, 94, 96], fornecendo resultados mais precisos e permitindo análises mais pormenorizadas dos problemas.

Foi escolhida uma ferramenta de simulação para elaboração do modelo, que será descrito detalhadamente no próximo capítulo.

Essa ferramenta de simulação escolhida foi o ARENA, e as razões dessa escolha estão no “ANEXO 1 - Escolha de uma ferramenta de simulação”.

4.2. Descrição do modelo de pátio de aeronaves

O modelo (Figura 9) inicia com a chegada da aeronave, disparada pela leitura de uma entrada da tabela de dados ⁷. A seguir é verificada a categoria da aeronave. Se for da categoria A (leves) são encaminhadas para o pátio de aviação geral ou para decolagem, de acordo com o seu tipo de permanência⁸. Se for da categoria B ou C⁹ (médias, turbo-hélice e turbojato, respectivamente) seguem adiante no modelo.

Continuando, no modelo verifica-se o tipo de permanência da aeronave sendo dois os caminhos possíveis: “tipo terminal” ou “outros tipos” (origem, passagem ou retorno). Se for do tipo terminal, verifica-se se a aeronave tem passageiros. No caso de não ter passageiros a aeronave segue diretamente para o hangar. Se tiver passageiros, volta a seguir o fluxo normal, dirigindo-se ao pátio. Aquelas aeronaves que tiverem o tipo de permanência como origem, passagem ou retorno, são diretamente encaminhadas à entrada do pátio.

Chegando ao pátio, a sub-rotina de “alocação das aeronaves às posições de estacionamento” (descrita no item 4.3) verificará se existe uma posição de estacionamento livre que sirva à aeronave. Caso não haja uma posição livre, a aeronave entrará em fila, aguardando a liberação de uma posição que possa utilizar. Caso exista uma posição disponível a aeronave bloqueia a posição e cumpre o tempo de táxi e de manobra, que após completo (significando que a aeronave entrou na sua posição) leva ao sinalizador “início da operação”, que indica o momento de calço (quando a aeronave começa a ser atendida).

Logo após o bloqueio da posição alguns serviços (“solicitação de serviços iniciais”) já podem ser disparados, dependendo das características do voo. Esses serviços iniciais serão tratados no item 4.4.

⁷ A fonte e a manipulação desses dados serão abordadas no capítulo 5

⁸ ver item “2.3.2.d)”

⁹ Não são registradas aeronaves da categoria E no aeroporto de Congonhas. Aeronaves da categoria D que utilizam o aeroporto só o fazem para manutenção, não chegando a ocupar o pátio, por isso podem figurar na categoria C para efeito de modelagem. Algumas aeronaves de categoria C serão consideradas na categoria B para efeito de simulação por sua quantidade de passageiros e das atividades de seu atendimento no pátio serem muito próximas às encontrada nessa categoria. São essas aeronaves F100, F50 e AT42.

O atendimento da aeronave na posição está representado pelo bloco “processo de atendimento”, que será detalhado também no item 4.4.

O sinalizador “fim da operação” indica que o processo de atendimento foi concluído, coincidindo com a retirada dos calços.

As aeronaves com permanência do tipo terminal estarão liberadas para manobras e táxi até o hangar. As aeronaves com permanência do tipo origem, passagem ou retorno, que prosseguirão para vôo, devem verificar se o momento de “calços fora” (instante de “fim da operação” de atendimento) é anterior ao instante planejado de partida. Em caso afirmativo, a aeronave aguardará no “gate” até que chegue o instante planejado de partida ou até que se cumpra a espera pelo seu “slot” atribuído, sendo então liberada para manobras, táxi e decolagem. Caso o instante de “calços fora” coincida ou seja posterior ao instante planejado de partida a aeronave já é liberada para manobras, táxi e decolagem.

Quando a aeronave é liberada para manobras um trator é alocado para efetuar o “push-back”. O detalhamento dessa alocação está na Figura 10. Nessa figura em segundo plano aparecem os agrupamentos para facilitar a leitura (“aloca trator”, coincidindo com o bloco do modelo principal da Figura 9, “usa trator” e “libera trator”¹⁰).

Pode-se notar (Figura 9) que objeto aeronave é criado no bloco “cria aeronave”, sendo essa a “fonte” do modelo de simulação, percorre todo o modelo, e é descartado em um dos três “sorvedouros”: pátio aviação geral, hangar ou liberação para decolagem.

¹⁰ Essa mesma representação será usada para agrupar os blocos de diversos serviços, especialmente no item 4.4.

Figura 9: Fluxograma geral do modelo operacional de pátio de aeronaves

Figura 10: Alocação do trator (manobras “pushback”)

4.3. Descrição da sub-rotina de alocação de aeronaves às posições de estacionamento

Cada aeroporto tem sua própria política de alocação de aeronaves às posições de estacionamento. Assim a sub-rotina de alocação descrita neste item busca representar o que ocorre no aeroporto de Congonhas, objeto deste trabalho. Não será aqui abordada a eficiência dessa política de alocação, visto não se tratar do objeto do presente trabalho a otimização das alocações das aeronaves às posições de estacionamento, que por si só constitui problema bastante complicado (vide problemas de “gate assignment” abordados na Revisão Bibliográfica).

A presente rotina de alocação visa representar, aproximadamente, as práticas do aeroporto de Congonhas. Nada impede, porém, que essa rotina básica de alocação de aeronaves às posições seja modificada, buscando o melhor aproveitamento das posições de estacionamento.

Para uma aeronave que é enviada ao pátio, antes que nele ingresse, é necessário que lhe seja designada uma posição de estacionamento. No entanto, não é toda posição livre que pode ser ocupada pela aeronave. A designação de uma posição vai depender de alguns critérios, levando-se em conta sua categoria e empresa (ver Figura 11 e Tabela 4).

A escolha de uma posição inicia-se com a verificação “A posição de estacionamento previamente designada (pela programação) está disponível?”. Caso esteja a aeronave bloqueia a posição e cumpre o tempo de táxi e de manobra, que após completo, leva ao “início da operação”, que corresponde ao momento de colocação dos calços. Caso a posição previamente designada não esteja livre, a aeronave entra num algoritmo de designação de posição. A partir daí a prioridade não será mais o envio da aeronave para a posição previamente designada, mas tão somente encontrar uma posição que possa recebê-la.

A designação de uma nova posição dependerá da categoria e da empresa daquela aeronave. Embora diferente do conceito corrente de posições *próximas* e *remotas* (ver 2.3.2.a) este trabalho considerará como posições próximas aquelas que são reservadas preferencialmente às aeronaves de categoria C, e remotas aquelas reservadas preferencialmente às de categoria B. Isso se deve à maior quantidade de passageiros a serem desembarcados ou embarcados das aeronaves de categoria C e da sua maior necessidade de equipamentos de apoio em solo, alocados para atender preferencialmente às posições “próximas”.

Assim, para o modelo do pátio de aeronaves do aeroporto de Congonhas, são consideradas “próximas” as posições de 1 a 18 e “remotas” as posições de 19 a 26.

Seguindo o fluxo da sub-rotina de alocação, depois que foi verificada a indisponibilidade da posição pré-designada, é feita a verificação do tipo da aeronave (entre categoria B ou C). Caso a aeronave seja da categoria B verifica-se se há posição remota livre. Se não houver posição disponível a aeronave entra numa fila para aguardar a liberação de uma posição remota. Se houver, ou assim que houver uma posição livre, a aeronave bloqueia a posição e após o tempo de táxi (função da distância da posição à entrada do pátio) e de estacionamento é dado início ao atendimento.

Caso a aeronave pertença à categoria C, será necessária também a verificação de qual é a companhia daquela aeronave. Isso porque existem grupos de posições preferenciais para cada empresa (Tabela 4). Assim verifica-se se há posição próxima livre dentre aquelas que preferencialmente seriam designadas àquela empresa em

questão. Se não houver, verifica-se se há posição próxima livre, mesmo que não seja preferencial, e se ainda não foi encontrada uma posição próxima livre, busca-se uma posição remota que esteja disponível. Se nem sequer uma posição remota estiver disponível, só então a aeronave entra em fila, até que uma posição lhe seja designada, seguindo os mesmos passos já descritos. Em qualquer um desses passos, se for encontrada uma posição disponível ela é “bloqueada” e a aeronave cumpre o tempo de táxi (função da distância da entrada do pátio até a posição) e de manobra, após o que é iniciado seu atendimento.

Figura 11: Sub-rotina de alocação de aeronaves às posições de estacionamento

Tabela 4: Posições preferenciais por empresas

Posições	Empresas
1 a 4	TAM
5	TAM/VSP
6 e 7	VSP/TBA/VRG
7 a 11	VRG

4.4. Descrição da sub-rotina de atendimento na posição de estacionamento

O atendimento na posição de estacionamento compreende atividades realizadas nos blocos “solicitação de serviços iniciais” e “processo de atendimento”, destacados na Figura 9.

Para facilitar a apresentação desses blocos, será mostrado primeiramente um esboço (Figura 12) situando as atividades por meio dos seus eventos principais (alocações de recursos). Esse esboço será, em seguida, analisado em porções menores.

Por fim, serão especificadas as variações nas quantidades de recursos alocados, ou até mesmo sua dispensa, em função dos fatores posição de estacionamento, empresa, tipo de aeronave e tipo de permanência.

Figura 12: Esboço das sub-rotinas “solicitação de serviços iniciais” e “processo de atendimento”

Logo após o bloqueio da posição para uma determinada aeronave, enquanto esta ainda se dirige à posição de estacionamento e efetua suas manobras de estacionamento, os recursos envolvidos nos serviços iniciais já são alocados e

dirigem-se à posição. Esses serviços alocados antes mesmo da colocação dos calços são aqueles que correspondem aos primeiros passos do atendimento da aeronave: desembarque dos passageiros (escadas e ônibus), desembarque da bagagem (carros de bagagem) e serviços de comissaria, coleta de esgoto e verificação/manutenção leve (carro de comissaria, carro coleta esgoto e carro manutenção, respectivamente). Esses equipamentos/equipes só entrarão em serviço depois do “início da operação”, ou seja, colocação dos calços, mas a sua alocação prévia garantirá a presteza do início do atendimento.

Os outros serviços/recursos podem ser solicitados após o “início da operação”, pois dependem do cumprimento de atividades anteriores.

Os fluxos de serviços que podem ser efetuados em paralelo estão marcados na Figura 12 com os números de 1 a 6. Ao longo de cada um desses 6 fluxos aparecem aqueles serviços que dependem da conclusão (ou início) de um outro serviço para que sejam iniciados.

A seguir serão analisados cada um desses 6 fluxos.

4.4.1. Fluxo 1 – escadas, desembarque, abastecimento e embarque

Antes da descrição dos 6 fluxos, algumas observações sobre as figuras devem ser feitas. Os quadros em segundo plano (cinza) agrupam vários quadros, seguindo a seqüência básica “aloca-usa-libera”, onde as porções de solicitação (alocação) estão destacadas com linhas de contorno. Esses blocos destacados correspondem àqueles mostrados na Figura 12.

Passando então à descrição do “Fluxo 1” (Figura 13) nota-se que logo após o “bloqueio da posição” e antes do “início da operação” ocorre a alocação das escadas, que faz parte da “solicitação inicial de serviços”. O posicionamento das escadas, entretanto, só ocorre depois da colocação dos calços (“início da operação”).

Posicionadas as escadas os passageiros podem desembarcar e tomar o ônibus, previamente solicitado (ver item 4.4.2), caso a posição não permita que se caminhe até o terminal de passageiros. Por questões de segurança, só após o desembarque dos

passageiros o caminhão de combustível pode se aproximar e abastecer a aeronave. Concluído o abastecimento com combustível pode-se prosseguir com a chegada do ônibus de embarque de passageiros, o embarque dos passageiros na aeronave e remoção das escadas.

Figura 13: Fluxo 1 - seqüência escadas, desembarque, abastecimento e embarque

4.4.2. Fluxo 2 – seqüência de alocação de ônibus para desembarque

O “Fluxo 2” está todo contido na “solicitação de serviços iniciais”, correspondendo à alocação de um ônibus para desembarque dos passageiros, caso seja necessário (considerando-se a distância da posição ao terminal de passageiros). Note-se que a utilização desse ônibus para o desembarque aparece no “Fluxo 1”, pois depende da colocação das escadas para o desembarque dos passageiros.

Figura 14: Fluxo 2 - seqüência de alocação de ônibus para desembarque

4.4.3. Fluxo 3 – descarregamento e carregamento da aeronave

O “Fluxo 3” caracteriza o descarregamento e carregamento da aeronave, tanto com bagagem quanto com carga. O carro de descarga de bagagem é pré-alocado (logo após o “bloqueio da posição”) e começa sua operação de descarga depois da colocação dos calços (“início da operação”). Somente depois do descarregamento

completo de bagagem pode-se dar início ao descarregamento de carga. Isso ocorre porque os dois veículos utilizam-se da mesma escotilha de acesso da aeronave (na maioria dos casos no Aeroporto de Congonhas).

Terminado o descarregamento da carga, outro veículo efetua o carregamento de nova carga e em seguida é feito o carregamento da bagagem.

Figura 15: Fluxo 3 - descarregamento e carregamento da aeronave

4.4.4. Fluxo 4 – seqüência coleta de esgoto e abastecimento de água

O “Fluxo 4” caracteriza a coleta de esgoto e abastecimento com água. Somente as aeronaves da empresa TAM utilizam-se desse serviço. O carro de esgoto, por ser utilizado primeiro, é pré-alocado antes do “início da operação”, iniciando seu serviço logo após a colocação dos calços. Terminada a coleta de esgoto a aeronave é abastecida com água.

Figura 16: Fluxo 4 - seqüência de coleta de esgoto e abastecimento de água

4.4.5. Fluxo 5 – serviço de comissaria

O “Fluxo 5” representa o aprovisionamento (abastecimento com alimentos) da aeronave pelo veículo de comissaria. Esse também é um recurso pré-alocado antes do “início da operação”, iniciando seu serviço logo após a colocação dos calços.

Figura 17: Fluxo 5 - serviço de comissaria

4.4.6. Fluxo 6 – serviço de manutenção

O “Fluxo 6” trata do procedimento de inspeção de pneus e de pequenas operações de manutenção. Por ser um serviço que ocorre em paralelo aos outros também é alocado logo após o “bloqueio da posição”.

Com a conclusão das atividades dos seis fluxos, que ocorrem em paralelo, fica caracterizado o “fim da operação” ou instante de calços fora.

Figura 18: Fluxo 6 - serviço de manutenção

4.4.7. Variações nos serviços prestados

Até agora foi apresentada a situação mais completa possível, ou seja, a utilização de todos os serviços possíveis. Entretanto não são todos os casos em que isso ocorre. Variações podem ocorrer nas quantidades de recursos alocados, ou até mesmo a não utilização de alguns desses recursos. Essas variações são função dos fatores: *posição de estacionamento, empresa, tipo de aeronave e tipo de permanência*.

O recurso que pode ser dispensado em função da posição em que a aeronave está estacionada é o ônibus. A necessidade do ônibus para embarque e desembarque de acordo com a posição está indicada na Tabela 5, a seguir.

Tabela 5: Procedimentos de embarque/desembarque de passageiros

posições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
embarque	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
desembarque	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

X = a pé, O =com ônibus

Combinações das outras três variáveis (empresa, tipo de aeronave e tipo de permanência) podem levar à redução nas quantidades de recursos utilizados ou no número de tarefas a serem executadas. Todas as variações que dependem de empresa, tipo de aeronave ou tipo de permanência estão especificadas na Tabela 6.

Tabela 6: Variações no atendimento em função da empresa, tipo de aeronave ou tipo de permanência

e=embarque d=desembarque	Cat. B			Cat. C			Compartilhamento
	retorno / passagem	origem	terminal	retorno / passagem	origem	terminal	
escadas				2ed	2ed	2ed	todos
carros comissaria	1	1		2	2		(Tam/Var.) (VASP) (outros)
ônibus (**)	(*)d/(*)e	(*)e	(*)d	(*)d/(*)e	(*)e	(*)d	todos
carros bagagem	(*)d/(*)e	(*)e	(*)d	(*)d/(*)e	(*)e	(*)d	cada uma
carros carga	(*)d/(*)e	(*)e	(*)d	(*)d/(*)e	(*)e	(*)d	cada uma
carros esgoto	1			1			só TAM
carros água	1			1			só TAM
carros combust.	1	1		1	1		todos
trator	1	1	1	1	1	1	todos
carro verif. / manut.	1			1			cada uma

Nota: 1d/1e = 1 para embarque e 1 para desembarque; 1e = 1 para embarque; 1d = 1 para desembarque; 1ed = 1 para embarque e o mesmo para desembarque. De modo análogo temos 2d/2e, 2e, 2d e 2ed, respectivamente, sendo que o número 2 representa a quantidade utilizada. As quantidades indicadas por (*) são determinadas em função do porte da aeronave e/ou quantidade de passageiros no voo, e serão abordadas com detalhe no *Anexo 2 – Descrição do modelo em Arena*.

(**) não deixando de observar-se o disposto na Tabela 5

Apresentadas todas as combinações possíveis pode-se concluir que a condição ilustrada nos diagramas do item 4.4, em que todos os serviços possíveis são utilizados, corresponderia ao atendimento de uma aeronave da empresa TAM (necessidade de coleta esgoto e abastecimento com água), de categoria C, utilizando uma posição que necessite de ônibus tanto no embarque quanto no desembarque de passageiros e com permanência do tipo retorno ou passagem.

Para outras situações, onde algum serviço não se faça necessário, ele será desconsiderado no modelo, como por exemplo, não necessidade de ônibus no embarque: o modelo apresentado no item 4.4.2 não seria executado e o do item 4.4.1 seguiria o ramo do desembarque de passageiros a pé.

A única consideração que ainda resta é em relação ao caso em que o voo for do tipo origem, e diversos dos serviços iniciais não forem necessários. Nesse caso os “serviços iniciais” seriam outros, como por exemplo, a alocação de um ônibus de embarque, e dos veículos de embarque de bagagem. Isso não foi capturado no modelo. Para esse caso adotar-se-á a alocação de recursos depois da colocação dos calços, pois isso não comprometerá o desempenho do modelo, uma vez que os voos desse tipo já tiveram diversos serviços prestados no hangar (sua alocação de recursos é menor) e aparecem em números bastante reduzidos, além de concentrarem-se em horários que não são de pico.

5. APLICAÇÃO DO MODELO: CONGONHAS

5.1. Dados de entrada do modelo: obtenção e utilização

5.1.1. Dados para criação dos vôos na simulação

a) Escolha da cabeceira para simulação

A escolha da cabeceira de operação é importante na simulação pelo fato de determinar os pontos de entrada e saída das aeronaves no pátio. O aeroporto de Congonhas opera na maior parte do tempo pela cabeceira 17, o que pode ser notado por sua configuração: há, por exemplo, maior número de saídas rápidas para operação pela cabeceira 17 e mais equipamentos de orientação nessa cabeceira (ILS)¹¹. Essa maior operação pela cabeceira 17 deve-se às condições meteorológicas preponderantes (Tabela 7).

Embora se tenha escolhido a cabeceira 17, é importante salientar que as modificações seriam poucas para que o modelo servisse à simulação da operação pela cabeceira 35, a saber: reconstrução dos caminhos de circulação das aeronaves na tela de animação e criação de uma nova tabela de distâncias entre os pontos de entrada e saída do pátio e suas posições de estacionamento. A lógica do modelo em nada mudaria.

Tabela 7: Condições de operação no aeroporto de Congonhas

	1994	1995	1996	1997	1998
17	84.52%	79.78%	73.24%	71.32%	71.84%
35	14.29%	19.10%	24.09%	27.41%	25.22%
fechado	1.19%	1.12%	2.67%	1.27%	2.94%

Tabela calculada em termos das condições meteorológicas mostrando a porcentagem do tempo em que cada cabeceira seria preferida¹². Os dados meteorológicos utilizados são do SRPV-SP.

¹¹ Vale mencionar que no dia 10 de julho de 2003 entrou em operação o equipamento de aproximação ILS (Instrument Landing System) da pista 35L.

¹² Critério para determinação de cabeceira:

-Velocidade ≤ 5 kt: a cabeceira utilizada é a que dispõe de mais instrumentos (VOR, NDB, ILS)

-Velocidade > 5 kt: converte-se a direção do vento para magnético e compara-se com a orientação da pista. Sendo o vento de través utiliza-se a cabeceira que disponha de mais equipamentos (ILS).

b) As fontes de dados de vôos

Existem basicamente 3 fontes operacionais de dados de ‘programação de vôos’ ou de ‘vôos realizados’. São elas: SRPV-SP (Serviço Regional de Proteção ao Voo de São Paulo), DAC (Departamento de Aviação Civil) e INFRAERO (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária).

O SRPV-SP, como provedor do serviço de proteção ao voo, dispõe dos dados de radar da área terminal de São Paulo (TMA-SP). O sistema de controle de tráfego aéreo é capaz de gerar, dentre outros relatórios, um de plano de vôos, que contém informações úteis ao presente trabalho. A experiência, no entanto, demonstrou que os relatórios são de difícil extração, pois sua geração e gravação podem interferir na prestação do serviço de proteção ao voo, além de produzir um volume de dados enorme a ser processado. Deve-se isto ao fato de conterem anotações das movimentações de vários aeroportos (SBSP, SBGR, SBMT, SBKP, para citar somente os mais movimentados) e do espaço aéreo, gravados continuamente.

A grande vantagem em se utilizar esses dados é que já se apresentam em formato eletrônico.

O SRPV-SP ainda dispõe do registro de vôos da torre de controle do aeroporto. Este é o registro mais completo e mais acurado, em termos dos instantes de chegada e saída, dos movimentos no aeroporto. Tem a desvantagem de ser feito em papel, que dificulta a sua leitura e ainda requer a versão eletrônica manual¹³.

A outra fonte de dados é a programação feita pelo DAC (em conjunto com outras entidades do transporte aéreo¹⁴ e as empresas aéreas) chamada HOTRAN (Horário de Transportes) que informa, entre outras coisas, os horários programados dos vôos regulares, origens e destinos, tipo de equipamento e natureza dos vôos. O HOTRAN é distribuído em formato eletrônico.

¹³ Apesar de que os oficiais servindo na torre Congonhas em 2001 informavam que, a exemplo do sistema então em funcionamento no aeroporto de Guarulhos, seria também automatizado o registro de vôos em Congonhas. Não disponho, entretanto, da informação acerca da efetivação de tal previsão.

¹⁴ Como o CGNA (Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea) – www.cgna.gov.br

Por fim, uma fonte de dados bastante útil é o planejamento de pátio, feito pela INFRAERO, por conter as posições de estacionamento planejadas, além do tipo de equipamento e horário previsto de pouso e decolagem. Também é feita somente em papel.

c) Escolha da fonte de dados de vôos

Face ao que foi apresentado, a fonte de dados escolhida foi o registro da torre, por sua maior acurácia de instantes de chegada e saída do aeroporto. Essa fonte foi aditada pela informação de posições planejadas da INFRAERO, e por fim comparada ao HOTRAN para correção de erros de digitação ou imprecisões geradas pela dificuldade de leitura dos originais. Os dados de entrada resultado desse cotejo estão no Anexo 3.

A simulação das operações do aeroporto de Congonhas será restrita a um dia, sem prejuízo das replicações que se façam necessárias à asseguarção da representatividade estatística do modelo (tratada no item 5.3.1). Isso se deve à importante característica do aeroporto: o seu fechamento noturno. Essa interrupção de operações leva à não interferência entre os ciclos diários, mantendo-os independentes e possibilitando a simulação do intervalo isolado de um dia (entre 6 e 23 horas).

Quanto aos vôos de chegada - para facilitar a modelagem - foram estes agrupados da seguinte forma:

Tabela 8: Agrupamento de marcas das empresas no modelo

No modelo	Reúne
GLO (Gol)	GLO
TAM (Tam)	PTN, PTB, TAM
TBA ¹⁵ (Transbrasil)	TBA
VRG (Varig)	NES, RSL, VRG
VSP (Vasp)	VSP

¹⁵ Embora já não mais opere, à época da coleta de dados (2001) ainda o fazia. Ressalte-se que seriam poucas as alterações na estrutura do modelo para inclusão ou eliminação de uma empresa.

d) As formas de criação de vôos no modelo

Em relação à criação de vôos no modelo de simulação são duas as opções implementadas. Leitura direta dos vôos reais ou criação de vôos por sorteio¹⁶.

Na primeira modalidade os dados de entrada reais de movimentação do aeroporto são lidos de uma tabela de vôos contendo as seguintes informações:

- instante de chegada,
- categoria,
- empresa,
- tipo de permanência,
- número de assentos da aeronave,
- posição de estacionamento pré-designada (facultativo), e
- instante de partida.

Note-se que esses são as informações individuais dos vôos. Tratam apenas de sua da criação na simulação. Além dessas informações, diversas outras variáveis operacionais são necessárias à simulação, e serão vistas mais adiante.

A outra modalidade de criação de vôos é a de sorteio, que é feita com base na distribuição horária de frequências¹⁷, pelo do recurso de “Schedule” do Arena.

Essas frequências são obtidas a partir dos dados reais, dos quais são retiradas as informações de mix de aeronaves e frequências por intervalos de tempo.

O recurso “Schedule” permite que se estipule o número de vôos em cada intervalo tempo. O Arena usa essa tabela para determinar o intervalo entre as criações de “entidades” que representam os vôos como média de uma distribuição Poisson.

¹⁶ A comparação entra essas duas formas de entrada será feita mais adiante.

¹⁷ Que não precisa ser, necessariamente, uma frequência horária. Podendo ser também calculada em intervalos de 15 minutos, 30 minutos ou outro qualquer.

Mais adiante esta alternativa de entrada de dados será comparada à leitura da tabela completa dos vôos (ou leitura direta dos registros de torre).

e) Formato dos dados de entrada dos vôos

Em resumo, os formatos de dados de entrada são:

Leitura direta dos vôos: os dados obtidos são organizados de acordo com o modelo do excerto da Tabela 9, sendo que os campos de categoria, empresa, tipo de permanência e origem do vôo são substituídos por números de acordo com a Tabela 10. No Anexo 3 apresentam-se os dados de entrada em sua forma completa.

Sorteio com frequência variável: com a contagem de vôos por intervalos de tempo cria-se no Arena o gráfico da Figura 19. Para cada vôo gerado pelo modelo suas características são também sorteadas de acordo com as variáveis informadas ao modelo pela Tabela 11, que é montada tendo-se como base as frequências colhidas dos dados reais de movimentação do aeroporto.

Sorteio com frequência fixa: Idêntico ao anterior, com exceção de que a geração de vôos é feita pela frequência horária considerando-se a operação com 50% de chegadas e 50% de saídas. Nesse caso, utiliza-se a informação da primeira linha da Tabela 11 (Operações horárias considerando-se 50-50), que ora apresenta o limite das pistas de Congonhas que é de 46 operações, ou 23 pousos e 23 decolagens. Essa forma de entrada de dados pode ser interessante somente para se testar o modelo na condição de máxima demanda possível (ou qualquer outra frequência uniforme no tempo).

Tabela 9: Excerto da entrada direta de dados

chega como	aeronave	instante de chegada (SRPV)	categoria	empresa	tipo permanência	número máximo pax	pos. estac. pré-designada	instante planejado saída (INFRAERO)	instante saída (SRPV)	sai como
HG	B735	635	C	VRG	O	117	16	745	744	RSL5102
TAM3431	FK10	643	B	TAM	R	108	17	718	718	TAM3538
RSL5163	B735	649	C	VRG	R	117	13	804	804	RSL5164
HG	A320	700	C	TAM	O	150	23	750	746	TAM3518
HG	B733	700	C	TBA	O	132	9	812	813	TBA1304
TAM3901	A319	703	C	TAM	R	122	1	742	741	TAM3400
VRG2400	B733	721	C	VRG	R	132	10	802	806	VRG2407
TAM3529	FK10	724	B	TAM	R	108	15	759	759	TAM3542
TAM3405	A319	725	C	TAM	R	122	2	815	815	TAM3904
RSL5257	E145	731	B	VRG	R	50	19	924	923	RSL5330
VRG2402	B733	734	C	VRG	R	132	5	831	831	VRG2409
TAM3415	FK10	736	B	TAM	R	108	18	820	821	TAM3412
TAM3541	FK10	737	B	TAM	R	108	17	817	816	TAM3100
TAM3539	FK10	739	B	TAM	R	108	16	809	808	TAM3930
TAM3219	FK10	742	B	TAM	R	108	26	928	929	TAM3252
TAM3231	FK10	744	B	TAM	R	108	25	827	828	TAM3051

Tabela 10: Conversão das classificações em valores numéricos

Categorias	B	1
	C	2
Empresas	GLO	1
	TAM	2
	TBA	3
	VRG	4
	VSP	5
Tipo Permanência	O	1
	P	2
	R	3
	T	4
Chega de/Sai como	HG (hangar)	1
	outros	2

Figura 19: Criação de vôos pelo recurso “schedule” do Arena

Tabela 11: Variáveis de entrada do modelo – mix de aeronaves

Aeronave	unidades	variavel arena
Operações horárias (considerando-se 50-50)	46	intervalo_chegada
Categoria B	40%	porc_cat_B
Vôos GLO	0%	porc_B_GLO
Origem	25%	porc_B_GLO_O
Passagem	25%	porc_B_GLO_P
Retorno	25%	porc_B_GLO_R
Terminal	25%	porc_B_GLO_T
Vôos TAM	76%	porc_B_TAM
Origem	7%	porc_B_TAM_O
Passagem	0%	porc_B_TAM_P
Retorno	87%	porc_B_TAM_R
Terminal	6%	porc_B_TAM_T
Vôos TBA	0%	porc_B_TBA
Origem	25%	porc_B_TBA_O
Passagem	25%	porc_B_TBA_P
Retorno	25%	porc_B_TBA_R
Terminal	25%	porc_B_TBA_T
Vôos VRG	23%	porc_B_VRG
Origem	32%	porc_B_VRG_O
Passagem	4%	porc_B_VRG_P
Retorno	43%	porc_B_VRG_R
Terminal	21%	porc_B_VRG_T
Vôos VSP	1%	porc_B_VSP
Origem	25%	porc_B_VSP_O
Passagem	50%	porc_B_VSP_P
Retorno	25%	porc_B_VSP_R
Terminal	0%	porc_B_VSP_T
Categoria C	60%	porc_cat_C
Vôos GLO	8%	porc_C_GLO
Origem	7%	porc_C_GLO_O
Passagem	43%	porc_C_GLO_P
Retorno	50%	porc_C_GLO_R
Terminal	0%	porc_C_GLO_T
Vôos TAM	26%	porc_C_TAM
Origem	8%	porc_C_TAM_O
Passagem	0%	porc_C_TAM_P
Retorno	90%	porc_C_TAM_R
Terminal	2%	porc_C_TAM_T
Vôos TBA	4%	porc_C_TBA
Origem	14%	porc_C_TBA_O
Passagem	0%	porc_C_TBA_P
Retorno	71%	porc_C_TBA_R
Terminal	14%	porc_C_TBA_T
Vôos VRG	51%	porc_C_VRG
Origem	13%	porc_C_VRG_O
Passagem	0%	porc_C_VRG_P
Retorno	74%	porc_C_VRG_R
Terminal	13%	porc_C_VRG_T
Vôos VSP	11%	porc_C_VSP
Origem	5%	porc_C_VSP_O
Passagem	0%	porc_C_VSP_P
Retorno	85%	porc_C_VSP_R
Terminal	10%	porc_C_VSP_T

5.1.2. Dados operacionais do pátio de aeronaves utilizados na simulação

Além dos dados relativos aos vôos também são lidas pelo modelo diversas informações operacionais, sendo a maioria relacionada aos serviços prestados no pátio e seus respectivos desvios.

Esses dados estão mostradas na Tabela 12, assim como as respectivas variáveis do modelo que os armazenam. As distribuições dos desvios são representadas por números convertidos para as expressões da Tabela 13.

Por fim a Tabela 14 trata das fontes desses dados operacionais.

Tabela 12: Variáveis de entrada do modelo – dados operacionais

Aeronave	média	unidades	desvio	distribuição	variavel arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Velocidade taxiamento	15	mph	10%	5	velocidade_taxi	cv(1)	tipo_dist(1)
Taxa ocupação GLO	62%		15%	2	taxa_ocup_GLO	cv(2)	tipo_dist(2)
Taxa ocupação TAM	60%		15%	2	taxa_ocup_TAM	cv(3)	tipo_dist(3)
Taxa ocupação TBA	63%		15%	2	taxa_ocup_TBA	cv(4)	tipo_dist(4)
Taxa ocupação VRG	62%		15%	2	taxa_ocup_VRG	cv(5)	tipo_dist(5)
Taxa ocupação VSP	61%		15%	2	taxa_ocup_VSP	cv(6)	tipo_dist(6)
Escadas	média	unidades	desvio	distribuição	variavel arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Quantidade	30				frota_escadas		
Velocidade deslocamento	15	mph	20%	5	velocidade_escada	cv(7)	tipo_dist(7)
Ônibus	média	unidades	desvio	distribuição	variavel arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Frota	12				frota_onibus		
Velocidade deslocamento	15	mph	20%	5	velocidade_onibus	cv(8)	tipo_dist(8)
Taxa embarque/desembarque	8	pax/min	20%	5	taxa_ed_pax	cv(9)	tipo_dist(9)
Capacidade	30	pax			capacidade_onibus		
Passageiros	média	unidades	desvio	distribuição	variavel arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Velocidade deslocamento	40	m/min	30%	5	velocidade_pax	cv(10)	tipo_dist(10)
Número de volumes de bagagem por pax	2	volumes	25%	4	bag_por_pax	cv(11)	tipo_dist(11)
Comissaria	média	unidades	desvio	distribuição	variavel arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Frota TAM/VRG	16				frota_com_TV		
Frota VASP	6				frota_com_V		
Frota Outros	8				frota_com_O		
Velocidade deslocamento	15	mph	20%	5	velocidade_comissaria	cv(12)	tipo_dist(12)
Tempo médio atendimento TAM/VRG	12	min	10%	4	tempo_com_serv_TV	cv(13)	tipo_dist(13)
Tempo médio atendimento VSP	12	min	10%	4	tempo_com_serv_V	cv(14)	tipo_dist(14)
Tempo médio atendimento Outros	12	min	10%	4	tempo_com_serv_O	cv(15)	tipo_dist(15)
Combustível	média	unidades	desvio	distribuição	variavel arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Frota	11				frota_combust		
Velocidade deslocamento	15	mph	20%	5	velocidade_combustivel	cv(16)	tipo_dist(16)
Tempo médio atendimento	9	min	15%	4	tempo_combust_serv	cv(17)	tipo_dist(17)

Bagagem	média	unidades	desvio	distribuição	variável arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Frota GLO	4				frota_bag_GLO		
Frota TAM	12				frota_bag_TAM		
Frota TBA	4				frota_bag_TBA		
Frota VRG	12				frota_bag_VRG		
Frota VSP	6				frota_bag_VSP		
Velocidade deslocamento	15 mph		20%	5	velocidade_bagagem	cv(18)	tipo_dist(18)
Taxa de serviço descarregamento GLO	6 volumes/min		15%	5	taxa_bag_serv_d_GLO	cv(19)	tipo_dist(19)
Taxa de serviço descarregamento TAM	8 volumes/min		15%	5	taxa_bag_serv_d_TAM	cv(20)	tipo_dist(20)
Taxa de serviço descarregamento TBA	4 volumes/min		15%	5	taxa_bag_serv_d_TBA	cv(21)	tipo_dist(21)
Taxa de serviço descarregamento VRG	5 volumes/min		15%	5	taxa_bag_serv_d_VRG	cv(22)	tipo_dist(22)
Taxa de serviço descarregamento VSP	4 volumes/min		15%	5	taxa_bag_serv_d_VSP	cv(23)	tipo_dist(23)
Taxa de serviço carregamento GLO	5 volumes/min		15%	5	taxa_bag_serv_c_GLO	cv(24)	tipo_dist(24)
Taxa de serviço carregamento TAM	6 volumes/min		15%	5	taxa_bag_serv_c_TAM	cv(25)	tipo_dist(25)
Taxa de serviço carregamento TBA	4 volumes/min		15%	5	taxa_bag_serv_c_TBA	cv(26)	tipo_dist(26)
Taxa de serviço carregamento VRG	5 volumes/min		15%	5	taxa_bag_serv_c_VRG	cv(27)	tipo_dist(27)
Taxa de serviço carregamento VSP	4 volumes/min		15%	5	taxa_bag_serv_c_VSP	cv(28)	tipo_dist(28)
Capacidade carro bagagem GLO	50 volumes bagagem				volbag_por_carro_GLO		
Capacidade carro bagagem TAM	50 volumes bagagem				volbag_por_carro_TAM		
Capacidade carro bagagem TBA	50 volumes bagagem				volbag_por_carro_TBA		
Capacidade carro bagagem VRG	50 volumes bagagem				volbag_por_carro_VRG		
Capacidade carro bagagem VSP	50 volumes bagagem				volbag_por_carro_VSP		

Carga	média	unidades	desvio	distribuição	variável arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Frota GLO	4				frota_carga_GLO		
Frota TAM	12				frota_carga_TAM		
Frota TBA	4				frota_carga_TBA		
Frota VRG	12				frota_carga_VRG		
Frota VSP	6				frota_carga_VSP		
Velocidade deslocamento	15 mph		20%	5	velocidade_carga	cv(29)	tipo_dist(29)
Taxa de serviço descarregamento GLO	10 volumes/min		10%	5	taxa_carga_serv_d_GLO	cv(30)	tipo_dist(30)
Taxa de serviço descarregamento TAM	12 volumes/min		10%	5	taxa_carga_serv_d_TAM	cv(31)	tipo_dist(31)
Taxa de serviço descarregamento TBA	7 volumes/min		10%	5	taxa_carga_serv_d_TBA	cv(32)	tipo_dist(32)
Taxa de serviço descarregamento VRG	9 volumes/min		10%	5	taxa_carga_serv_d_VRG	cv(33)	tipo_dist(33)
Taxa de serviço descarregamento VSP	7 volumes/min		10%	5	taxa_carga_serv_d_VSP	cv(34)	tipo_dist(34)
Taxa de serviço carregamento GLO	9 volumes/min		10%	5	taxa_carga_serv_c_GLO	cv(35)	tipo_dist(35)
Taxa de serviço carregamento TAM	10 volumes/min		10%	5	taxa_carga_serv_c_TAM	cv(36)	tipo_dist(36)
Taxa de serviço carregamento TBA	6 volumes/min		10%	5	taxa_carga_serv_c_TBA	cv(37)	tipo_dist(37)
Taxa de serviço carregamento VRG	7 volumes/min		10%	5	taxa_carga_serv_c_VRG	cv(38)	tipo_dist(38)
Taxa de serviço carregamento VSP	6 volumes/min		10%	5	taxa_carga_serv_c_VSP	cv(39)	tipo_dist(39)
Capacidade carro carga GLO	50 volumes carga				volcarga_por_carro_GLO		
Capacidade carro carga TAM	50 volumes carga				volcarga_por_carro_TAM		
Capacidade carro carga TBA	50 volumes carga				volcarga_por_carro_TBA		
Capacidade carro carga VRG	50 volumes carga				volcarga_por_carro_VRG		
Capacidade carro carga VSP	50 volumes carga				volcarga_por_carro_VSP		
Volumes de carga por espaço pax livre	2 volumes carga		25%	4	carga_por_espacopax	cv(40)	tipo_dist(40)

Esgoto/Água	média	unidades	desvio	distribuição	variável arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Frota	4				frota_agua		
Velocidade deslocamento	15 mph		20%	5	velocidade_agua_esg	cv(41)	tipo_dist(41)
Tempo médio atendimento	7 min		15%	4	tempo_agua_esg_serv	cv(42)	tipo_dist(42)

Tratoragem	média	unidades	desvio	distribuição	variável arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Frota	22				frota_trator		
Velocidade deslocamento	10 mph		20%	5	velocidade_push	cv(43)	tipo_dist(43)
Tempo médio atendimento	3 min		15%	4	tempo_trator_serv	cv(44)	tipo_dist(44)

Manutenção	média	unidades	desvio	distribuição	variável arena média	variável arena desvio	variável arena tipo distribuição
Frota	20				frota_manutenção		
Probabilidade de necessidade	50%				taxa_proba_manut		
Tempo médio atendimento	15 min		50%	4	tempo_manut_serv	cv(45)	tipo_dist(45)

Tabela 13: Expressões dos tipos de distribuição

#	Expressão
1	media
2	unif(media-desvio,media+desvio)
3	unif(media-desvio,media)
4	tria(media-desvio,media,media+desvio)
5	tria(media-desvio,media,media)
6	norm(media,desvio)
7	expo(media)
8	erla(media/2,2)
9	erla(media/3,3)
10	erla(media/4,4)
11	pois(media)

Tabela 14: Fontes dos dados operacionais utilizados na simulação

Aeronave		fonte
Velocidade taxiamento	práticas operacionais INFRAERO (limite de velocidade no aeroporto)	
Taxa ocupação GLO	IAC (***)	
Taxa ocupação TAM	IAC (***)	
Taxa ocupação TBA	IAC (***)	
Taxa ocupação VRG	IAC (***)	
Taxa ocupação VSP	IAC (***)	
Escadas		fonte
Quantidade	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Velocidade deslocamento	práticas operacionais INFRAERO (limite de velocidade no aeroporto)	
Ônibus		fonte
Frota	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Velocidade deslocamento	práticas operacionais INFRAERO (limite de velocidade no aeroporto)	
Taxa embarque/desembarque	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Capacidade	estimado	
Passageiros		fonte
Velocidade deslocamento	medido no aeroporto (média de amostra com 20 elementos)	
Número de volumes de bagagem por pax	estimado	
Comissaria		fonte
Frota TAM/VRG	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Frota VASP	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Frota Outros	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Velocidade deslocamento	práticas operacionais INFRAERO (limite de velocidade no aeroporto)	
Tempo médio atendimento TAM/VRG	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Tempo médio atendimento VSP	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Tempo médio atendimento Outros	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Combustível		fonte
Frota	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Velocidade deslocamento	práticas operacionais INFRAERO (limite de velocidade no aeroporto)	
Tempo médio atendimento	calculado pelo tempo recomendado (**)	

Bagagem		fonte
Frota GLO	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Frota TAM	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Frota TBA	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Frota VRG	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Frota VSP	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Velocidade deslocamento	práticas operacionais INFRAERO (limite de velocidade no aeroporto)	
Taxa de serviço descarregamento GLO	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço descarregamento TAM	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço descarregamento TBA	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço descarregamento VRG	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço descarregamento VSP	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço carregamento GLO	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço carregamento TAM	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço carregamento TBA	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço carregamento VRG	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço carregamento VSP	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Capacidade carro bagagem GLO	estimado	
Capacidade carro bagagem TAM	estimado	
Capacidade carro bagagem TBA	estimado	
Capacidade carro bagagem VRG	estimado	
Capacidade carro bagagem VSP	estimado	
Carga		fonte
Frota GLO	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Frota TAM	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Frota TBA	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Frota VRG	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Frota VSP	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Velocidade deslocamento	práticas operacionais INFRAERO (limite de velocidade no aeroporto)	
Taxa de serviço descarregamento GLO	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço descarregamento TAM	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço descarregamento TBA	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço descarregamento VRG	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço descarregamento VSP	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço carregamento GLO	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço carregamento TAM	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço carregamento TBA	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço carregamento VRG	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Taxa de serviço carregamento VSP	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Capacidade carro carga GLO	estimado	
Capacidade carro carga TAM	estimado	
Capacidade carro carga TBA	estimado	
Capacidade carro carga VRG	estimado	
Capacidade carro carga VSP	estimado	
Volumes de carga por espaço pax livre	calculado a partir de valor arbitrado	
Esgoto/Água		fonte
Frota	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Velocidade deslocamento	práticas operacionais INFRAERO (limite de velocidade no aeroporto)	
Tempo médio atendimento	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Tratoragem		fonte
Frota	indicações de trabalho de graduação de 2000 (*)	
Velocidade deslocamento	práticas operacionais INFRAERO (limite de velocidade no aeroporto)	
Tempo médio atendimento	calculado pelo tempo recomendado (**)	
Manutenção		fonte
Probabilidade de necessidade	arbitrado (não disponho do dado real)	
Tempo médio atendimento	calculado pelo tempo recomendado (**)	

(*) Referência [64], (**) Referências [16] e [17], (***) Referência [24]

5.2. Determinação do número de replicações da simulação

Devido aos desvios estatísticos considerados os resultados de cada simulação serão diferentes. A determinação do número suficiente de replicações da simulação para que se tenha consistência estatística dos seus resultados será feita utilizando-se o modelo padrão (a ser explicitado mais adiante) sendo a variável escolhida para o teste o tempo de permanência na posição, por abarcar a somatória de todos os tempos dos serviços.

Cada replicação consiste na simulação de um dia inteiro de funcionamento do aeroporto e monta em algo da ordem de 300 pousos e quase o mesmo número de decolagens (das categorias B e C, que utilizam o pátio principal).

A segunda coluna da Tabela 15 mostra o resultado, para cada replicação, da média dos tempos de permanência nas posições. A terceira coluna apresenta a média acumulada entre esses valores. O critério adotado para determinação do número de replicações baseia-se na escolha da replicação em que se obtivesse pela terceira vez consecutiva o mesmo valor para a média acumulada.

Os resultados da simulação serão doravante calculados pela média dos resultados de 18 replicações garantindo-se assim a consistência estatística desses resultados.

Tabela 15: Determinação do número de replicações

replicação	média de cada replicação	média das replicações
1	57.20	57.20
2	58.76	57.98
3	58.70	58.22
4	58.33	58.25
5	58.44	58.29
6	57.97	58.23
7	57.89	58.18
8	57.71	58.13
9	57.43	58.05
10	57.61	58.00
11	57.97	58.00
12	58.11	58.01
13	58.32	58.03
14	58.40	58.06
15	58.73	58.10
16	58.33	58.12
17	58.16	58.12
18	58.05	58.12
19	58.18	58.12
20	58.08	58.12
21	58.15	58.12

Os valores apresentados na tabela acima são da média dos tempos de permanência das aeronaves nas posições.

5.3. Resultados obtidos

5.3.1. *Modelo padrão: calibração e resultados da simulação*

a) Calibração do modelo

O objetivo dessa etapa é criar uma “simulação base” que represente satisfatoriamente as principais características de um dia real. Isso servirá para efeito de calibração, pois o modelo deve ser capaz de representar um dia típico (dia que forneceu os dados de entrada), antes que seja usado para dimensionamento ou outros testes.

A simulação base tem como dados de entrada para criação de vôos a leitura direta da tabela obtida dos registros da torre do aeroporto da quinta-feira dia 15/03/2001.

A escolha desse dia deve-se, além da disponibilidade dos dados, ao fato do mês de março apresentar movimentação próxima à média, comparando-se aos demais meses do ano (Figura 20), e a quinta-feira por apresentar os picos do ciclo semanal (Figura 21)¹⁸. Pretendeu-se assim escolher o ‘dia pico da semana’ do ‘mês médio’, buscando-se com isso uma maior representatividade da amostra¹⁹.

Figura 20: Média dos movimentos mensais entre 1997 e 1999

¹⁸ Embora a quantidade de movimentos seja muito maior em 2001 do que era entre 1997 e 99, seu perfil ainda continua o mesmo. Verifiquei isso a partir de dados de 2000 e 2001, que só não foram aqui apresentados por não cobrirem um período tão longo como os ora apresentados.

¹⁹ Adaptado do critério de determinação de hora-pico usado pelo FAA (“hora-pico é mais ocupada do dia mais ocupado de uma semana típica”) de onde toma-se a porção do “dia mais ocupado de uma semana típica” (mês médio).

Figura 21: Média dos movimentos por dia da semana entre 1997 e 1999

Para efeito de calibração, o modelo é executado com os dados do dia escolhido, e efetua-se a contagem, ao longo da simulação, do número de posições ocupadas. Essa contagem é então comparada à contagem de posições ocupadas dos dados de entrada do dia em questão. O gráfico comparativo (Figura 22) evidencia que na maior parte do tempo da simulação não se chega a ocupar número de posições que foram ocupadas na realidade. Isso ocorre porque na simulação os tempos de permanência nas posições foram menores que os tempos reais. De fato, a média dos tempos de permanência da simulação é de 46 minutos, enquanto que na realidade essa média foi de 59 minutos. A diferença explica-se com as esperas em solo verificadas especialmente devido à política de “slots”. Vem essa constatação ao encontro daquilo que Targa [86] estudou, estimando que um tempo de espera em solo entre 9 e 16 minutos seria suficiente para reduzir a um nível adequado os problemas de tráfego aéreo da TMA-SP.

Buscando aproximar o modelo de simulação à realidade foi introduzido um atraso na forma de uma distribuição triangular com média 15, extremo inferior 0 e extremo superior 20 minutos a ser cumprido após o término do atendimento da aeronave na posição de estacionamento. Essa distribuição foi obtida comparando-se os resultado da simulação e os dados reais.

Com a adição desse atraso probabilístico o resultado da simulação aproximou-se bastante da realidade, com coeficiente de correlação de 0,84 e a média das diferenças entre os números de posições ocupadas simulados e reais em 1,8. O gráfico comparativo (Figura 23) deixa mais clara essa proximidade.

A média dos atrasos sorteados durante a simulação foi de 12,9 minutos, dentro portanto do intervalo estimado por Targa.

Concluindo, considera-se calibrado o modelo com a adição do atraso: $\text{tria}(0,15,20)$.

O gráfico da Figura 24 compara os tempos de ocupação simulados e reais para cada posição.

Figura 22: Número de posições ocupadas (simulação sem consideração dos atrasos)

Figura 23: Número de posições ocupadas (simulação considerando atrasos)

Figura 24: Ocupação das posições (simulação considerando atrasos)

b) Comparação entre as alternativas para entrada de dados

As vantagens proporcionadas pelo modelo detalhado são mais plenamente exploradas com o uso de programação de vôos como dado de entrada, seja a partir de dados reais ou de programações criadas para testes hipotéticos. Até mesmo para

modelos mais simples já era essa a recomendação de Martinelli [57], dentre outros autores mencionados na Revisão Bibliográfica. No entanto, outras formas de entrada de dados podem ser interessantes para dar maior flexibilidade à simulação, permitindo sua rápida alteração para testes qualitativos (como por exemplo, o comportamento do sistema em face de diferentes perfis de demanda).

Assim para que a simulação não dependa exclusivamente da leitura de dados de entrada detalhados foi implementada alternativamente a geração de vôos por sorteio a partir de uma distribuição de ‘número de chegadas de vôos por intervalo de tempo’. Esse sorteio pode ser feito considerando-se frequência fixa²⁰ ou variável ao longo do tempo. Interessa aqui o segundo tipo por representar uma aproximação da realidade (comparando-se, por conseguinte, à simulação com leitura direta dos vôos). Em ambos os casos de sorteio os vôos são aleatoriamente criados a partir de distribuições estatísticas e suas características são sorteadas de acordo com as probabilidades (Tabela 11) extraídas dos dados reais.

A criação de vôos a partir de sorteio com frequências variáveis baseia-se na determinação do intervalo entre a chegada de aeronaves segundo uma distribuição Poisson, com média que varia ao longo do tempo, sendo esta média calculada pela divisão do intervalo de tempo pelo respectivo número de vôos conforme a distribuição mostrada na Figura 19.

A distribuição Poisson com média variável no tempo foi escolhida com base nas recomendações de Martinelli [57], que a utilizou em intervalos de 3 horas. Este trabalho utiliza a média em intervalos de 1 hora. Deve-se atentar, porém, à ressalva feita pelo próprio autor de que essa distribuição deixa de ser representativa para demandas próximas à capacidade da pista. Nesse caso, o autor conclui que a leitura de uma programação de vôos é mais indicada.

O intuito de se substituir a leitura de dados por uma distribuição como a da Figura 19 reside na maior facilidade de criação de novos perfis de demanda ou

²⁰ Nesse caso o número de chegadas por intervalo de tempo será fixo ao longo do dia de simulação. Tal distribuição, se usada na simulação, não geraria resultados que se pudessem comparar àqueles da simulação sobre a leitura dos dados reais - serviria simplesmente para que se verificasse o impacto de chegadas com o intervalo mínimo ditado pela capacidade de pista ou limite do aeroporto (apresentada sob a variável “operações horárias considerando-se 50-50” na Tabela 11).

multiplicação dos valores de um perfil existente por fatores de aumento ou diminuição de demanda.

Comparando-se os resultados dessa simulação à realidade e àquela com leitura direta nota-se que a aproximação imposta reduziu bastante a representatividade dos resultados, com a média das diferenças entre os dados reais e os da simulação com entrada sorteada passando para 3 e coeficiente de correlação para 0,50. As comparações dos resultados estão na Figura 25, Figura 26 e Figura 27.

Figura 25: Número de posições ocupadas – comparação entre as entradas de dados

Figura 26: Número de posições ocupadas – comparação com entrada por leitura direta

Figura 27: Número de posições ocupadas – comparação com entrada por sorteio

c) Resultados da simulação

A Tabela 16 mostra todos os dados que podem ser coletados a partir da simulação. A partir dos resultados da simulação padrão, com os parâmetros apresentados na Tabela 12 e com os dados de entrada do Anexo 3, foram elaborados os gráficos da Figura 28.

Para ilustrar a sequência de atividades de atendimento na posição (Figura 29), foi tomado como exemplo um voo que recebeu todos os serviços (TAM3913, A319 que chegou às 14:30 e deixou o aeroporto com destino ao Rio de Janeiro como TAM3500). É interessante notar que nesse voo o caminho crítico foi o de desembarque de passageiros, abastecimento da aeronave e embarque dos passageiros.

Tabela 16: Informações colhidas da simulação

variável simulação Arena	descrição
FID	número do voo
momento_alocacao	instante de alocação da posição pela aeronave
momento_desocupacao	instante de desocupação da posição pela aeronave
pos_aloc_def	número da posição alocada
num_calc_pax	número de passageiros do voo
util_escada	% de utilização das escadas no momento da alocação da posição
util_comissTV	% de utilização dos carros de comissaria (TAM/VRG) no momento da alocação da posição
util_comissV	% de utilização dos carros de comissaria (VSP) no momento da alocação da posição
util_comissO	% de utilização dos carros de comissaria (Outros) no momento da alocação da posição
util_onibus	% de utilização da frota de ônibus no momento da alocação da posição
util_combust	% de utilização dos veículos de abastecimento de combustível no momento da alocação da posição
util_cargaGLO	% de utilização dos veículos de carga (GLO) no momento da alocação da posição
util_cargaTAM	% de utilização dos veículos de carga (TAM) no momento da alocação da posição
util_cargaTBA	% de utilização dos veículos de carga (TBA) no momento da alocação da posição
util_cargaVRG	% de utilização dos veículos de carga (VRG) no momento da alocação da posição
util_cargaVSP	% de utilização dos veículos de carga (VSP) no momento da alocação da posição
util_bagGLO	% de utilização dos veículos de bagagem (GLO) no momento da alocação da posição
util_bagTAM	% de utilização dos veículos de bagagem (TAM) no momento da alocação da posição
util_bagTBA	% de utilização dos veículos de bagagem (TBA) no momento da alocação da posição
util_bagVRG	% de utilização dos veículos de bagagem (VRG) no momento da alocação da posição
util_bagVSP	% de utilização dos veículos de bagagem (VSP) no momento da alocação da posição
util_agua	% de utilização dos veículos de abastecimento de água no momento da alocação da posição
util_esgoto	% de utilização dos veículos de coleta de esgoto no momento da alocação da posição
util_manut	% de utilização dos veículos de manutenção no momento da alocação da posição
util_trator	% de utilização dos tratores no momento da alocação da posição
i_escada1	instante de requisição das escadas
i_escada2	instante de liberação das escadas
i_desembarq_pax1	instante de início do desembarque de passageiros
i_desembarq_pax2	instante de término do desembarque de passageiros
i_combust1	instante de requisição do veículo de abastecimento de combustível
i_combust2	instante de liberação do veículo de abastecimento de combustível
i_embarq_pax1	instante de início do embarque de passageiros ou requisição dos ônibus
i_embarq_pax2	instante de término do embarque de passageiros ou liberação dos ônibus
i_bag_des1	instante de requisição dos veículos para descarregamento de bagagem
i_bag_des2	instante de liberação dos veículos para descarregamento de bagagem
i_carga_des1	instante de requisição dos veículos para descarregamento de carga
i_carga_des2	instante de liberação dos veículos para descarregamento de carga
i_carga_emb1	instante de requisição dos veículos para carregamento de carga
i_carga_emb2	instante de liberação dos veículos para carregamento de carga
i_bag_emb1	instante de requisição dos veículos para carregamento de bagagem
i_bag_emb2	instante de liberação dos veículos para carregamento de bagagem
i_esgoto1	instante de requisição do veículo de coleta de esgoto
i_esgoto2	instante de liberação do veículo de coleta de esgoto
i_agua1	instante de requisição do veículo de abastecimento de água
i_agua2	instante de liberação do veículo de abastecimento de água
i_comiss1	instante de requisição do veículo de comissaria
i_comiss2	instante de liberação do veículo de comissaria
i_manut1	instante de requisição do veículo de manutenção
i_manut2	instante de liberação do veículo de manutenção
i_push1	instante de requisição do trator para manobras
i_push2	instante de liberação do trator

Figura 28: Resultados da simulação padrão

Figura 29: Seqüência de atividades de um voo

5.3.2. Dimensionamento dos recursos de pátio

Este item explorará uma das possibilidades de análise a partir do modelo de simulação: o balanceamento de recursos.

Os resultados da simulação chamada de padrão no item 5.3.1 mostram que as frotas consideradas para os recursos em alguns casos mostraram-se insuficientes, com o freqüente atingimento de 100% de utilização, e em outros mostraram-se excedentes.

Alguns critérios foram verificados para a determinação da quantidade mais apropriada de recursos. Os critérios que serão examinados foram testados para cada recurso, visando a sua validade no maior número possível dos casos, e especialmente em relação ao processo de atendimento como um todo.

O primeiro critério verificado foi o de que a somatória dos intervalos de tempo em que se atingiu a ocupação total do recurso não ultrapassasse a metade do intervalo de tempo total simulado (dia simulado). Simbolicamente: $\Sigma(\Delta t_{\text{ocupação 100\%}}) \leq 0,5 * \Delta t_{\text{total}}$. Esse critério mostrou-se inválido, gerando filas e esperas exageradas das aeronaves por posições livres no pátio.

O segundo critério examinado foi o de que a duração de cada intervalo em que a ocupação atingiu seu máximo não fosse superior a três vezes o tempo médio do respectivo serviço, ou simbolicamente: $\Delta t_{\text{ocupação}100\%} \leq 3 \cdot \Delta t_{\text{serviço}}$. Por exemplo, observando-se um tempo médio do serviço de comissaria como 14 minutos, o recurso não poderia apresentar ocupação de 100% por mais de 42 minutos consecutivos. Esse segundo critério, para a maior parte dos recursos, elevou o tempo de permanência acima da média real, o que levaria inevitavelmente à perda dos “slots” alocados.

A partir desse ponto passou-se a buscar um critério que possibilitasse o cumprimento dos “slots”, ou seja, que garantisse que os instantes de saída das aeronaves estivessem no intervalo de -5 a + 10 minutos do instante planejado de saída²¹. Esse critério verificou-se, para a maioria dos recursos, na restrição dos intervalos de tempo em que a ocupação atingiu 100% a valores menores ou iguais ao tempo médio do respectivo serviço, ou simbolicamente: $\Delta t_{\text{ocupação}100\%} \leq \Delta t_{\text{serviço}}$.

Em resumo, o critério adotado para determinação da frota ideal de cada recurso foi baseado na porcentagem de ocupação do recurso ao longo do dia. Para cada recurso buscou-se seu menor número para que não se atingisse a utilização total da frota por um intervalo de tempo maior que intervalo de tempo médio da prestação do respectivo serviço. Esse critério garante que na maioria dos casos não haverá espera para prestação do serviço e que serão cumpridos os “slots”.

Assim, para o nível de demanda considerado estão sub-utilizados os recursos de escadas, comissaria VSP e Outros, veículos de manutenção e tratores. Os recursos de comissaria TAM/VRG e veículos de abastecimento de combustível estão balanceados²²; e os demais sobre-utilizados.

Existem outras maneiras de balanceamento dos recursos. Uma delas, baseada no nível de serviço, utilizaria as informações das ‘filas de requisições dos serviços’ e das ‘filas de espera por posições’ coletadas no modelo. Embora o modelo tenha plena capacidade de coletar tais informações, esse critério não foi adotado por não se

²¹ Esses instantes planejados de saída foram obtidas da programação de pátio da INFRAERO e do HOTRAN.

²² Esse equilíbrio pode mudar com a alteração da frota de outros recursos, pois os momentos de requisição serão alterados. Os recursos mais diretamente afetados em função da alteração de frota são aqueles no mesmo “fluxo” (Figura 12).

dispor da informação das faixas de valores aceitáveis para as filas de requisições de cada um dos serviços do pátio de aeronaves.

Passa-se, portanto, aos testes para determinação da frota mínima de cada recurso adotando-se o critério explicado.

a) Escadas

O número de escadas da simulação padrão mostrou-se excessivo. Os testes da Figura 30 e Figura 31 evidenciam que para o número mínimo de escadas para que não se tenha esperas significativas é de 18.

Figura 30: Ocupação das escadas ao longo do dia

Figura 31: Número de escadas vs. porcentagem ocupada no instante pico (08:35)

b) Carros de comissaria

Conforme a Figura 28, o número de carros de comissaria que servem à TAM e à VRG (16) está adequado. Os números de carros que servem à VSP e às Outras empresas (GLO/TBA) estão em excesso.

O efeitos da variação dessas frotas estão na Figura 32 e Figura 33 para VSP e Figura 34 e Figura 35 para Outras. A partir dessas figuras pode-se concluir que a frota necessária para a VSP é de 5 carros de comissaria e das Outras de 6 carros de comissaria.

Figura 32: Ocupação dos carros de comissão VSP ao longo do dia

Figura 33: Número carros de comissão VSP vs. porcentagem ocupada no instante pico (10:10)

Figura 34: Ocupação dos carros de comissão GLO/TBA (Outras) ao longo do dia

Figura 35: Número carros de comissão GLO/TBA (Outras) vs. porcentagem ocupada no instante pico (23:40)

c) Carros de abastecimento de combustível

Pela Figura 28 pode-se perceber que o número de carros de abastecimento de combustível está adequado (11).

d) Ônibus

A frota de ônibus apresenta-se insuficiente, especialmente nos momentos de pico de demanda na manhã. A Figura 36 e a Figura 37 mostram que a frota adequada seria de 18 ônibus.

Figura 36: Ocupação dos ônibus ao longo do dia

Figura 37: Número ônibus vs. porcentagem ocupada no instante pico (08:08)

e) Carros de Carga

Os resultados da Figura 28 mostram que são insuficientes os carros de carga das empresas GLO, TAM, VRG e VSP e que está adequado o número desses carros para a TBA.

Conforme os testes mostrados da Figura 38 à Figura 45 determinou-se a frota de carros de carga adequada para cada empresa, como segue:

- GLO: 8
- TAM: 22
- TBA: 4
- VRG: 16
- VSP: 11

Figura 38: Ocupação dos carros de carga GLO ao longo do dia

Figura 39: Número carros de carga GLO vs. porcentagem ocupada no instante pico (21:50)

Figura 40: Ocupação dos carros de carga TAM ao longo do dia

Figura 41: Número carros de carga TAM vs. porcentagem ocupada no instante pico (08:00)

Figura 42: Ocupação dos carros de carga VRG ao longo do dia

Figura 43: Número carros de carga VRG vs. porcentagem ocupada no instante pico (16:55)

Figura 44: Ocupação dos carros de carga VSP ao longo do dia

Figura 45: Número carros de carga VSP vs. porcentagem ocupada no instante pico (10:40)

f) Carros bagagem

Conforme os resultados da Figura 28, com exceção da TBA as outras empresas apresentam insuficiência no número de carros de bagagem.

Conforme os testes mostrados da Figura 46 à Figura 53 determinou-se a frota de carros de carga adequada para cada empresa, como segue:

- GLO: 7
- TAM: 20
- TBA: 4
- VRG: 14
- VSP: 7

Figura 46: Ocupação dos carros de bagagem GLO ao longo do dia

Figura 47: Número carros de bagagem GLO vs. porcentagem ocupada no instante pico (21:30)

Figura 48: Ocupação dos carros de bagagem TAM ao longo do dia

Figura 49: Número carros de bagagem TAM vs. porcentagem ocupada no instante pico (08:40)

Figura 50: Ocupação dos carros de bagagem VRG ao longo do dia

Figura 51: Número carros de bagagem VRG vs. porcentagem ocupada no instante pico (22:10)

Figura 52: Ocupação dos carros de bagagem VSP ao longo do dia

Figura 53: Número carros de bagagem VSP vs. porcentagem ocupada no instante pico (15:40)

g) Veículos de coleta de esgoto e de abastecimento de água

A frota de carros de abastecimento de água (4) e de coleta de esgoto (4) são insuficientes. Da Figura 54 à Figura 57 estão mostradas as variações simuladas para

essas frotas, das quais pode-se concluir que a frota adequada de carros de coleta de esgoto é de 7 e a frota adequada de carros de abastecimento de água é também de 7 veículos.

Figura 54: Ocupação dos carros de coleta de esgoto ao longo do dia

Figura 55: Número carros de coleta de esgoto vs. porcentagem ocupada no instante pico (09:00)

Figura 56: Ocupação dos carros de abastecimento de água ao longo do dia

Figura 57: Número carros de abastecimento de água vs. porcentagem ocupada no instante pico (08:45)

h) Veículos de manutenção

A Figura 28 mostra que há excesso na frota de manutenção. Da Figura 58 e da Figura 59 chega-se à frota de manutenção mais adequada com total de 5 veículos.

Figura 58: Ocupação dos veículos de manutenção ao longo do dia

Figura 59: Número carros de manutenção vs. porcentagem ocupada no instante pico (10:15)

i) Tratores

A Figura 28 mostra que há excesso na frota de tratores para “push back”. Da Figura 60 e da Figura 61 chega-se à frota de 6 tratores como a mais adequada.

Figura 60: Ocupação dos tratores ao longo do dia

Figura 61: Número carros de tratores vs. porcentagem ocupada no instante pico (06:40)

j) Resultados

Um resumo das alterações nas quantidades de recursos antes e após o balanceamento está apresentado na Tabela 17.

A comparação do número de posições ocupadas no tempo (Figura 62) mostra os resultados antes do dimensionamento²³ e depois do dimensionamento. A maior redução no número de posições ocupadas aconteceu por volta das 08:30. Investigando a razão dessa redução verifica-se que se deve principalmente à redução mais significativa, nesse momento do dia, do tempo de processamento de carga e bagagem de até 10 minutos em alguns casos, que embora não se apresentassem no caminho crítico no exemplo da Figura 29 representavam nessa mesma figura a segunda seqüência de atividades a consumir mais tempo. As atividades do caminho crítico tiveram redução da ordem de 5 minutos.

O tempo de permanência médio das aeronaves nas posições caiu de 60 para 54 minutos, considerando-se o intervalo do dia todo. Para o intervalo entre 08:00 e 09:30 essa média caiu de 61 para 42 minutos.

A comparação dos tempos médios de cada serviço para o intervalo do dia todo está mostrada na Tabela 18. Os tempos ali mostrados são calculados pela diferença entre os instantes de requisição e liberação do recurso. Incluem, portanto, o tempo de deslocamento e eventual tempo de espera pela disponibilidade do recurso. Com exceção do pequeno aumento no tempo médio relativo ao serviço das escadas, o dimensionamento reduziu os tempos médios dos serviços, pela redução das esperas por disponibilidade. O pequeno aumento no tempo relativo às escadas, reflexo da diminuição do seu número após o dimensionamento, não causa impacto no tempo total por esse serviço não estar no caminho crítico do atendimento.

Na Figura 63 pode-se notar que após o balanceamento das frotas de equipamentos um número maior de aeronaves pôde ser atendido em posições mais próximas, o que também contribuiu para a redução do tempo de embarque e

²³ Simulação com leitura direta dos dados e parâmetros de entrada dados pela Tabela 12 considerando os atrasos resultantes da calibração.

desembarque de passageiros, e do carregamento e descarregamento de carga e bagagem.

Tabela 17: Comparação das frotas antes e após dimensionamento

Recurso	Frota antes dimensionamento	Frota após dimensionamento
Escadas	30	18
Comissaria TAM/VRG	16	16
Comissaria VSP	6	5
Comissaria Outros	16	6
Carros abast. combustível	11	11
Ônibus	12	18
Carros Carga GLO	4	8
Carros Carga TAM	12	22
Carros Carga TBA	4	4
Carros Carga VRG	12	16
Carros Carga VSP	6	11
Carros Bagagem GLO	4	7
Carros Bagagem TAM	12	20
Carros Bagagem TBA	4	4
Carros Bagagem VRG	12	14
Carros Bagagem VSP	6	7
Coleta Esgoto	4	7
Carros abastecimento água	4	7
Carros manutenção	20	5
Tratores	22	6

Tabela 18: Comparação dos tempos médios dos serviços antes e depois do dimensionamento

Serviço	Tempo médio de atendimento antes dimensionamento (minutos)	Tempo médio de atendimento após dimensionamento (minutos)
Escadas	23,6	25,7
Comissaria	14,0	14,0
Abastecimento combustível	11,0	11,0
Desembarque passageiros	6,0	5,0
Descarregamento bagagem	7,0	6,0
Descarregamento carga	13,0	10,0
Carregamento carga	16,0	12,0
Carregamento bagagem	8,0	6,0
Embarque passageiros	7,0	6,0
Coleta esgoto	11,0	10,0
Abastecimento água	11,0	10,0
Manutenção	15,0	15,0
Tratoragem	5,0	5,0

Os tempos dessa tabela são contados do momento de requisição do serviço até sua liberação (incluem os tempos de deslocamento e espera, se houver).

Figura 62: Número de posições ocupadas – comparação antes e depois do dimensionamento

Figura 63: Ocupação das posições - comparação antes e depois do dimensionamento

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa tratou da modelagem para simulação do sistema de pátio de aeroportos, com aplicação para o caso do aeroporto de Congonhas.

O modelo de simulação elaborado atingiu os objetivos traçados no início da pesquisa: a identificação dos parâmetros e representação da operação detalhada do pátio do aeroporto integrando os diversos subsistemas e procurando verificar a influência dos fatores de serviço de cada componente no tempo de atendimento/liberação de aeronave em solo.

Os outros objetivos (de análise dos impactos associados ao atendimento de diversos níveis de demanda de vôos e verificação de possibilidades de expansão e alternativas operacionais para atendimento dessa demanda), embora não tenham sido diretamente abordados, são tão-somente outros cenários que podem ser analisados com o presente modelo.

Podem ser mencionados como potenciais estudos que este modelo é capaz de tratar: i) o balanceamento de recursos, ii) teste de políticas e alocação de posições, iii) avaliação do impacto de atrasos (destacando-se as esperas em solo) na capacidade do pátio de estacionamento iv) verificação dos impactos de políticas de concessão de “slots”, iv) comparações entre o compartilhamento ou não de recursos de pátio e v) verificação de alterações operacionais e de desempenhos dos serviços de pátio, dentre diversas outras potencialidades táticas.

As diferentes possibilidades de entradas de dados buscaram dar flexibilidade ao modelo, tendo em vista as necessidades de cada tipo de estudo.

Embora o modelo preste-se às análises operacionais, ainda seriam necessárias algumas melhorias para sua plena capacitação para esse tipo de estudo, sendo as mais aparentes: i) a modelagem de interferências físicas (em especial os cruzamentos), ii) o uso de distribuição de atrasos por intervalos, e iii) uma melhoria

na qualidade dos dados operacionais, buscando consistência estatística com amostras maiores ou estimativas mais acuradas²⁴.

Para que seja possível a exploração das possibilidades de balanceamento com base nos níveis de serviço (regulados pelas filas nas requisições desses serviços) seria necessário um estudo que determinasse ou fornecesse parâmetros para os níveis aceitáveis no caso do aeroporto de Congonhas.

Resta ainda procurar responder a pergunta que parecia ser lançada em cada um dos trabalhos lidos para a revisão bibliográfica: Justifica-se uma modelagem detalhada do pátio de aeronaves?

A conclusão é que se justifica pela capacidade de análise microscópica das atividades nele realizadas, necessária para a melhor utilização de um recurso já escasso em face da demanda. Nenhuma outra abordagem possibilitaria a representação da complexa interação entre os recursos, que ora são compartilhados, ora não o são, que saem de pontos diferentes do aeroporto, percorrendo caminhos diferentes, com velocidades específicas, com capacidades e tempos de processamento ligados a variáveis tão múltiplas e tão enleadas.

Para as críticas ao custo, em termos de tempo de elaboração do modelo e levantamento dos dados necessários à simulação, cabe lembrar que mesmo que possível a ampliação física do aeroporto, os custos certamente seriam muito maiores e os tempos para o projeto das estruturas não seria menor.

²⁴ Especialmente para a determinação da quantidade de carga dos vôos, uma vez que a fórmula de estimativa adotada apresentou resultados muito elevados, não condizentes com a vocação do aeroporto de Congonhas.

7. LISTA DE REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, P. M. S. - “Utilização de simulação na análise de componentes dos terminais de passageiros de aeroportos brasileiros”. Dissertação de Mestrado – ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), São José dos Campos, 1998.
2. ALVES, C. J. – “Um Modelo Heurístico de Designação de Posições de Estacionamento para Aeronaves em Pátios de Aeroportos”. Tese de Doutorado, São José dos Campos, ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), 1987.
3. ALVES, C. J. P. & FORTES, C. N. B. & MULLER, C. – “Planejamento e Projeto de Aeroportos”. Divisão de Infra-Estrutura Aeronáutica do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), São José dos Campos, 1990.
4. ASHFORD, N. & STANTON, H. P. M. & MOORE, C. A. – “Airport Operations”. John Wiley & Sons, New York, 1983 (ISBN 0-471-89613-6).
5. ASHFORD, N. & WRIGHT, P. H. – “Airport Engineering”. John Wiley & Sons, 1979 (cit in Martinelli, 1980 e Rodrigues, 1994).
6. BANDARA, S. & WIRASINGHE, P. H. – “Airport Gate Position Estimation Under Uncertainty”. Transp. Res. Rec. 1199, 1988.
7. BALCI, O. et al. – “Introduction to the Visual Simulation Environment” (VSE). Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson.
8. BARNES, C. D. & LAUGHERY, K. L. – “Advanced Uses for Micro Saint Simulation Software”. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson.
9. BARNES, M. R. – “An Introduction to Quest”. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson.
10. BARROS, A. G. - “Análise da capacidade do lado aéreo do aeroporto internacional de São Paulo / Guarulhos. Dissertação de Mestrado – ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), São José dos Campos, 1994.
11. BEINHAKER, P. H. – “A Primer for Analysis of Airport Landside Capacity”. TRB Conference on Airport Landside Capacity, Tampa, Florida, Abril – May 1975 (cit. in Gualda, 1995).
12. BELSHE, R. D. – “A study of airport terminal gate utilization”. Graduate Report, ITTE, University of Berkeley, Agosto, 1971 (cit in Lopes, 1990).
13. BOTTER, R. C. – “Planejamento Portuário: Modelo para Análise Operacional do Sistema Porto Associado a Níveis de Serviço”. Dissertação de Mestrado apresentada

à Escola Politécnica da USP (Orientação Prof. Dr. Nicolau Dionísio Fares Gualda), São Paulo, 1984.

14. BRAAKSMA, J. P. & SHORTREED, J. H. – “Improving Airport Gate Usage with Critical Path Method”. ASCE, Transp. Eng. J., 97 (TE 2) – p187-205, 1971 (cit in Rodrigues, 94).

15. BRANT Jr., A. E. & McAWARD Jr., P. J. – “Evaluation of airfield performance by simulation”. ASCE Transp. Eng. Journal, 100 (NTE 2): Maio, 1974 (cit in Rodrigues, 94).

16. BOEING – “Airplane characteristics for airport planning – 737-100/200”, D6-58325-2, setembro 1988.

17. BOEING – “Airplane characteristics for airport planning – 737-300/400/500”, D6-58325-2 rev.A, julho 1990.

18. BOWDEN, R. O. & HALL, J. D. – “Simulation Optimization Research and Development”. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.

19. BUTLER, T. D. – “Optimization Model with Fairness Objective for Air Traffic Management”. Dissertação de Mestrado (Orientação: Professor Michael Ball) - University of Maryland at College, 1998.

20. CACI - “The Simmod PLUS! Reference Manual”, Sunnyvale, CA, 2000.

21. CHIANG, J. C. & HAMMER, S. D. & MOORE, K. E. - “ALPHASim Simulation Software Tutorial”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A., Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.

22. CHIN, D. K. & MELONE, F. – “Using Airspace Simulation to Assess Environmental Improvements from Free Flight and CNS/ATM Enhancements”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.

23. CRAIN, R. C. & HENRIKSEN, J. O. – “Simulation Using GPSS/H”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A., Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.

24. DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL – “Anuário do Transporte Aéreo – Vol. I – Dados Estatísticos”, 2001. <www.dac.gov.br/estatisticas/estatisticas1.asp>

25. FEITOSA, M. V. M. – “Um modelo de simulação para terminais de passageiros em aeroportos regionais brasileiros”. Dissertação de Mestrado, ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), São José dos Campos, 2001.

26. FERNANDES, M. G. - “Modelo econômico-operacional para análise e dimensionamento de terminais de contêineres e veículos”. Dissertação de Mestrado

apresentada à Escola Politécnica da USP (Orientação Prof. Dr. Rui Carlos Botter), São Paulo, 2001.

27. FERNANDES, M. G.; ONO, R. T. e BOTTER, R. C. - “Estudo de viabilidade econômica para implantação do terminal de contêineres e veículos no porto de Paranaguá através da técnica de simulação probabilística”. HMS – Harbour Maritime Simulation Systems, Genova, Itália, Set. 1999 - p. 81-6. (ISBN 1-56555-175-3).

28. FTA (‘Flight Transportation Associates Inc.’) – “Models” (DELAYSIM, FLAPS, TASIM, TAXSIM). Disponível em: <<http://www.ftausa.com>>. Acesso em 5 de Novembro de 2001.

29. GATERSLEBEN, M. R. & WEIJ, S. W.– “Analysis and Simulation of Passenger Flows in and Airport Terminal”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.

30. GLOVER, F. & Kelly, J. P. & LAGUNA, M. – “New Advances for Wedding Optimization and Simulation”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.

31. GUALDA, N. D. F. – “Terminais de transportes: contribuição ao planejamento e ao dimensionamento operacional”. Tese de livre docência apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1995.

32. GUALDA, N. D. F. - “Modeling the Airport Terminal Building for Capacity Evaluation Under Level-of-Service Criteria”. Ph.D. Dissertation - The University of Texas, Austin, 1978.

33. GUFFEY, D. – “Runway Capacity Enhancement – Federal Aviation Administration’s ACE Plan (Airport Capacity Enhancement Plan)”. FAA-ASC-100, 1997.

34. HAMAZAWI, S. G. – “Management and Planning of Airport Gate Capacity: A Micro Computer Based Gate Assignment Simulation Model”. Transp. Planning and Technology, vol. II, (3):1986 (cit in Rodrigues, 94).

35. HARREL, C. R. & PRICE, R.N. – “Simulation Modeling and Optimization using Promodel”. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, eds.

36. HASHIZUME, J. & MYIADA, L. K. & HAGIHARA, P. K. – “Maior capacidade de operação para o aeroporto de Congonhas: viabilidade técnica”. Trabalho de Graduação, ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), (Orientação Prof. Dr. Carlos Muller e Prof. Dr. Cláudio Jorge P. Alves), São José dos Campos, 1979.

37. HEALY, K. J. & KILGORE, R. A. – “Introduction to SILK TM and JAVA-Based Simulation”. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.

38. HENRIKSEN, J. O. – “SLX: The X is for Extensibility”. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, eds.
39. HENRIKSEN, J. O. – “General-Purpose Concurrent and Post-processed Animation with PROOF TM”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A., Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.
40. HOCKADAY, S. L. M. et al. – “Development and Application of an Airfield Simulation Model”. Trans. Res. Rec., 655 :1977 (cit in Rodrigues, 94).
41. HOFFMAN, R. L. – “Integer Programming Models for Ground-holding in Air Traffic Flow Management”. Tese de Doutorado (Orientação: Professor Michael Ball) - University of Maryland at College, 1997.
42. HORONJEFF, R. e McKELVEY, F – “Planning & Design of Airports”. McGraw-Hill, 1983. (ISBN 0-07-030367-3).
43. HORONJEFF, R.– “Planning and Design of Airports”. Mc Graw Hill, 1975 (cit in Martinelli, 1980 e Rodrigues, 1994).
44. HULLINGER, D. R. – “Taylor Enterprise Dynamics”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.
45. HUTCHISON, D. W. & HILL, S. D. – “Simulation Optimization of Airline delay with Constraints”. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, and M. W. Rohrer, eds.
46. ICAO - “Aerodrome design and operations”, annex 14, vol. I, 1999.
47. ICAO – “Procedures for Air Navigation Services – Rules of the Air and Air Traffic Services” (PANS-RAC), Doc 4444-RAC/501, 1996 plus amendments, Montreal, Canada.
48. INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION – “Airport Terminals Reference Manual”, 6a edição, Genebra, 1976 (cit in Lopes, 90).
49. JOUSTRA, P. E. & DIJK, N. M. V. – “Simulation of Check-in at Airports”. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, and M. W. Rohrer, eds.
50. KHRAL, D. – “Modeling with Extend TM”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.
51. KLEINMAN, N. L. & HILL, S. D. & ILENDIA, V. A. – “Simulation Optimization of Air Traffic Delay Cost”. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.

52. KRAUTER, K. R. & KHAN, A. M. – “Planning and management of airport gates: a simulation methodology”. Institute of Transportation Engineering Journal: 31-37, setembro, 1978 (cit in Lopes, 1990).
53. KYLE, R. G. – “Washington Dulles International Airport Conveyance Study”. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.
54. LEE, S. & PRITCHETT, A. & GOLDSMAN, D. – “Hybrid Agent-Based Simulation for Analyzing the National Airspace System”. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, and M. W. Rohrer, eds.
55. LOPES, D. R. - “Contribuição à modelagem do problema do planejamento da operação de pátios de aeronaves em aeroportos”. Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da USP (Orientação Prof. Dr. Nicolau Dionísio Fares Gualda), São Paulo, 1990.
56. LOW, D. F. – “Use of Simulation in Airport Planning and Design”. ASCE Transp. Eng. J., 100 (4): novembro 1974 (cit in Rodrigues, 94).
57. MARTINELLI, J. C. N. – “Avaliação de metodologias de cálculo do número de posições de estacionamento de aeronaves nos pátios”. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP (Orientação Prof. Dr. Antônio G. N. Novaes), São Paulo, 1980.
58. McKENZIE, A. J. et al. – “Standing of Improvements to Air Transport Terminals”. ASCE Transp. Eng. J., Novembro, 1974 (cit in Rodrigues, 94).
59. MEHTA, A. & RAWLES, I. – “Business Solutions using Witness”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A. Farrington, H. B. Nemhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.
60. MOUNTJOY, K. – “Airport simulation models”. Proceedings of IX Press, Londres, 1976 (cit in Lopes, 1990).
61. MUMAYIZ, S. A. – “Overview of Airport Terminal Simulation Models”. Transp. Res. Rec., 1273, 1990 (cit in Rodrigues, 94).
62. 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 (ISBN 333-17622-7).
63. NIEHUES, A. et al. - “Punctuality: How Airlines Can Improve On-Time Performance”. Booz Allen & Hamilton - Airline and Aerospace, Executive Summary, 2001.
64. NOVO, D. P. C. et al. – “Modelo de Pátio – Congonhas”, Trabalho de Graduação, EPUSP, São Paulo, 2000

65. 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, Março 1997. Disponível em: <<http://web.mit.edu/aeroastro/www/labs/AATT/aatt.html>>. Acesso em 5 de Novembro de 2001.
66. OLAFSSON, S. & SHI, L. – “Stopping Criterion for a Simulation-Based Optimization Method”. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds
67. OMER, K. F. & KHAN, A. M. – “Airport Landside Level of Service Estimation: Utility Theoretic Approach”. Transp. Res. Rec., 1199, 1988 (cit in Rodrigues, 94).
68. PAQUETTE, R. J. & ASHFORD, N. J. & WRIGHT, P. H. – “Transportation Engineering: Planning and Design”. John Wiley & Sons, 2a edição, 1982 (cit in Rodrigues, 94).
69. PEDGEN, C. D. & SHANNON, R. E. & SADOWSKI, R. P. – “Introduction to Simulation Using SIMAN”. McGraw-Hill, 2nd ed., 1995. (ISBN 0-07-049320-0)
70. PHILLIPS III, R. L. – “Aplication of Computers to Airport Planing and Design”. ASCE Transp. Eng. J., 96 (NTE 3): Agosto, 1970 (cit in Rodrigues, 94).
71. POOL, M. & STTAFORD, R. – “Optimization and Analysis of Performance in Simulation”. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.
72. PRITSKER, A. A. B. & O'REILLY, J. J. – “AweSim: The Integrated Simulation System”. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson.
73. REINHARDT, G. R. & OTTMAN, S. W. & FORD, A. C. – “An Aircraft Taxi Simulation Model for the United Parcel Service Louisville Air Park”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A. Farrington, H. B. Nemhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.
74. RIKFIN, R. M. - “The single airport static stochastic ground holding problem”. Dissertação de Mestrado – Massachusetts Institute of Technology, 1994.
75. RIZZOLI, A. – “Simulation Tools”. Switzerland, 2000. Disponível em: <<http://www.idsia.ch/~andrea/>>.
76. 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 de Mestrado apresentada à COPPE/UFRJ (Orientação Prof. Dr. Amaranto Lopes Pereira), Rio de Janeiro, 1994.
77. ROHRER, M. – “AUTOMOD Product Tutorial (AutoMod, Simulator, AutoStat) by AutoSimulations”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A., Farrington, H. B. Nemhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.

78. ROSENBERGER, J. M. et al. – “SIMAIR: A Stochastic Model of Airline Operations”. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, eds.
79. RTCA - SC-192 1998, “Government and industry guidelines and concepts for NAS analysis and redesign”, RTCA document no. RTCA/DO-244.
80. SCHUMACHER, B. – “Proactive Flight Schedule Evaluation at Delta Airlines”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.
81. SCHWETMAN, H. & MULPUR, A. – “The VisSim / discrete event modeling environment. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson
82. SIEWERDT, ENO – “Gestão de Aeroportos e Espaços Aéreos no Limite de suas Capacidades”, Relatório de Estudos Técnicos – SBTa (Sociedade Brasileira de Pesquisa em Transporte Aéreo), n.02/2002, Novembro, 2002. <<http://www.sbtawebpage.net/>>
83. SNOWDON, J. et al. – “Avoiding the Blues for Airline Travelers”. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.
84. STAFFORD, P. H. & STAFFORD, D. L. – “Space Criteria for Aircraft Aprons”. ASCE Transportation Engineering Journal, 95 (TE 2) – p237-43, Maio, 1969 (cit in Rodrigues, 94).
85. SWETS, R. J. & DRAKE, G. R. – “The ARENA Product Family: Enterprise Modeling Solutions”. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, and M. W. Rohrer, eds.
86. TARGA, D. – “Uma ferramenta automatizada no auxílio à alocação de slots para o problema de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo brasileiro”. Dissertação de Mestrado, ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), São José dos Campos, 2001.
87. TEIXEIRA Jr., A. – “Uma Contribuição ao Estudo de Aplicação de Inteligência Artificial em Engenharia de Transportes: Perspectivas e Prática”. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP (Orientação Prof. Dr. Nicolau Dionísio Fares Gualda), São Paulo, 1989.
88. THE PRESTON GROUP - “TAAM capabilities and applications”, Victoria, 2000.
89. THE PRESTON GROUP - “TAAM functional and conceptual overview”, Victoria, 2000.
90. TRANI, A. A. & BAIK, H – “A New Paradigm to Model Aircraft Operations at Airports: The Virginia Tech Airport SIMulation Model (VTASIM)”. 8 de Setembro de 2000.

91. TUNASAR, C. & BENDER, G. & YOUNG, H. – “Modeling Curbside Vehicular Traffic at Airports”. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.
92. U.S.A. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Transportation Research Board – “Aircraft Parking Position and Gate”. In: “Measuring Airport Landside Capacity”, Washington, D.C., 1987 - p. 61-7 -Special Report 226 (cit in Rodrigues, 94).
93. U.S.A. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Transportation Research Board – “Airport System Capacity: Strategic Choices”, Washington, D.C., 1990 - Special Report 226 (cit in Rodrigues, 94).
94. U.S.A. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Transportation Research Board – “Gate and Apron Utilization”. In: “Measuring Airport Landside Capacity”, Washington, D.C., 1987 - p. 167-73 - Special Report 215 (cit in Rodrigues, 94).
95. WIELAND, F. – “Parallel Simulation for Aviation Applications”. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.
96. WIRASINGHE, S. C. & BANDARA, S. – “Airport Gate Position Estimation for Minimum Total Costs: Approximate Closed Form Solution”. Transp. Res., V24B (4), Agosto, 1990 (cit in Rodrigues, 94).
97. WOOD, B. & TURNAY, K. – “MODSIM III and CACI’s Applications”. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, P. A., Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds.
98. WSC (‘Winter Simulation Conference’). Artigos disponíveis em: <<http://www.informs-cs.org>>. Acesso em 20 de Novembro de 2001.
99. YAN, S. e GHANG, C. - “A Network Model for Gate Assignment”, Journal of Advanced Transportation, vol. 32 no. 2, 1998 (ISSN 0197-6729).
100. ZHONG, C. – “Modeling of airport operations using an object-oriented approach”. Tese de Doutorado apresentada à Virginia Polytechnic Institute and State University (Orientação: Dr. Antonio A. Trani), Blacksburg, Virginia, 1997.

8. ANEXO 1 - ESCOLHA DE UMA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

Uma vez demonstrada as vantagens do uso da simulação para o problema em questão, surge a pergunta de qual ferramenta de modelagem ou linguagem seria mais adequada, uma vez que as opções são tão diversas. Nota-se que são muitos as ferramentas especificamente elaboradas para aplicações aeroportuárias e também são inúmeros os estudos de problemas aeroportuários ou de terminais que utilizaram-se de linguagens de simulação mais genéricas.

Em face dessa enorme variedade de ferramentas consideradas, as principais características de cada uma foram estudadas para embasar a escolha de uma que fosse adequada, considerando-se os objetivos visados. Essa escolha recaiu sobre o ARENA.

Para facilitar a exposição das ferramentas consideradas foram divididas em dois grandes grupos: ferramentas específicas e ferramentas genéricas. As específicas propõem-se à modelagem de problemas relacionados ao transporte aéreo. As genéricas não apresentam sistemas destinatários na sua concepção.

8.1.1. Ferramentas de simulação específicas

As ferramentas específicas que foram consideradas fazem parte do conjunto que representa o estado da arte da simulação aeroportuária.

Existem diversos modelos de computador especificamente desenvolvidos para análise de aeroportos e espaço aéreo. A revisão mais completa sobre esses modelos encontra-se no estudo de Odoni et al. [65] e no documento da RTCA [79], embora esse último seja em grande parte baseado no primeiro. A presente revisão considerou os trabalhos acima especificados e também incluiu modelos mais recentes.

O trabalho de Odoni et al. [65] divide esses modelos nos seguintes grandes grupos: modelos para análise de capacidade e atraso, modelos para detecção e solução de conflitos, modelos para automação humana, modelos para análises de

custo/benefício e modelos para cálculo de ruído. Será tratado brevemente cada um desses conjuntos²⁵:

a) Modelos para análise de capacidade e atraso

Esse é o grupo que engloba o maior número de modelos, por serem capacidade e atraso as duas principais medidas de performance de aeroportos e espaço aéreo. Esse grupo compreende modelos analíticos e de simulação, e nele se encontram alguns dos modelos que podem ser úteis ao presente trabalho, conforme será discutido mais adiante. Os principais modelos desse grupo são:

- Quase analíticos: *LMI Runway Capacity Model*, *FAA Airfield Capacity Model*, *DELAYS, AND* ('Approximate Network Delays');
- Simulação em grau intermediário de detalhamento de operações em aeroportos e/ou espaço aéreo: *NASPAC* ('National Airspace System Performance Capability'), *TMAC*, *FLOWSIM* (FAA), *ASCENT* ('ATFM26 System Concept Evaluator for New Technologies'), *SDAT* ('Sector Design Analysis Tool - (FAA)');
- Simulação detalhada de operações aeroportuárias: *The Airport Machine*, *HERMES* ('HEuristic Runway Movement Event Simulation'), *VTASIM* [90] ('Virginia Tech Airport Simulation Model');
- Simulação detalhada de operações aeroportuárias e de espaço aéreo: *SIMMOD* [20], *TAAM* [88, 89] ('Total Airspace & Airport Modeller').

b) Modelos para detecção e solução de conflitos

Esse grupo compreende os modelos direcionados à geração de trajetórias de aeronaves, detecção e resolução de conflitos no espaço aéreo (garantia de separação adequada entre as aeronaves), segurança e carga de trabalho de controladores. Alguns modelos desse grupo são: *RAMS* ('Reorganized ATC²⁷ Mathematical Simulator'), *NARSIM* ('NLR²⁸ ATC Research Simulator'), *ARC2000* ('Automatic Radar Control for the years beyond 2000'), *BDT* ('Banc De Test'), *ASIM* ('Airspace

²⁵ A título de informação e para evidenciar as diferenças entre os grupos de modelos trataremos brevemente todos os grupos, embora os modelos que interessam ao presente trabalho pertençam ao grupo de modelos de capacidade e atrasos.

²⁶ Air Traffic Flow Management

²⁷ Air Traffic Control

SIMulation'), *RATSG* (*Robust Air Traffic Situation Generator*'), *TOPAZ* ('*Traffic Organization and Perturbation AnalyZer*').

c) Modelos para automação humana

São aqueles dedicados a simular o comportamento humano para testes de interação entre sistemas automatizados de controle. Exemplos desse grupo são: *SDAT* ('*Sector Design Analysis Tool*'), *DORATASK*, *MIDAS* ('*Man-Machine Integration, Design, and Analysis System*'), *PUMA*.

d) Modelos para análises de custo/benefício

São os modelos matemáticos para previsões de demanda, tamanho de frota e resultados de novas tecnologias na economia do transporte aéreo (como o “free flight”²⁹, por exemplo). Normalmente são baseados em dados estatísticos do mercado de transporte aeronáutico. Exemplos: *ACIM* ('*The ASAC Air Carrier Investment Model*'), *NARIM* ('*The National Airspace Resource Investment Model*').

e) Modelos para cálculo de ruído

Modelos utilizados para determinar o impacto de ruído no entorno de aeroportos. Exemplos: *INM* ('*Integrated Noise Model*') *Version 5.0 (FAA)*, *NOISIM*.

Pelo que foi exposto sobre os diversos grupos pode-se perceber que somente modelos que pertencem ao grupo de capacidade e atrasos podem ser úteis ao presente trabalho, pois só nele se encontram modelos capazes de representar as operações no aeroporto.

Dentre os modelos que podem representar operações aeroportuárias somente serão considerados aqueles com recursos suficientes para representar em detalhe as operações de movimentação e estacionamento das aeronaves no pátio de aeronaves.

²⁸ NLR: *Nationaal Lucht-en Ruimtevaartlaboratorium, National Aerospace Laboratory, Netherlands*

²⁹ *Vôo sem a utilização de rotas pré-estabelecidas, deixando a cargo do piloto a seleção da melhor trajetória a ser seguida.*

A Tabela 19, que mostra a abrangência e grau de detalhamento dos modelos citados anteriormente, permite identificar aqueles capazes de representar o pátio de estacionamento e pistas de táxi.

Tabela 19: Classificação dos modelos analíticos e de simulação para capacidade e atrasos. Fonte: Odoni et ali. (1997)

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

*indica modelos analíticos

** acrescentado pelo autor do presente trabalho

Observa-se portanto que são cinco os modelos que podem representar pátios de aeronaves e caminhos de circulação: TAAM, SIMMOD, The Airport Machine, VTASIM e HERMES. A seguir será tratado cada um desses modelos detalhadamente.

HERMES (*'HEuristic Runway Movement Event Simulation'*) [65, 28, 79] – modelo de simulação capaz de representar o aeroporto e suas operações em três dimensões, desenvolvido pelo “British Civil Aviation Authority (BAA)” para avaliar capacidade de pistas e impacto de demandas futuras. Mostrou-se efetivo na determinação da capacidade do aeroporto inglês de Heathrow e é capaz de simular detalhadamente quase todos os eventos de pouso e decolagem, sendo apropriado para os estudos onde os atrasos no aeroporto são muito sensíveis a variações na demanda.

Embora seja capaz de simular todas as operações aeroportuárias e pistas de táxi sua maior ênfase encontra-se nas operações de pistas de pouso e decolagem.

O modelo é alimentado com dados experimentais de vôos e seus resultados são principalmente os atrasos médios nas operações. Não utiliza estrutura de “links” ou nós para representar o layout de circulação e de pistas do aeroporto. Atinge maior precisão (quanto ao número de operações) do que o SIMMOD e o TAAM (precisão da ordem de 3-4 movimentos/24h contra 12-24 movimentos/24h no SIMMOD ou TAAM).

O principal problema é que o modelo não é comercial (uso restrito do BAA - e do FAA por acordo de cooperação) e foi desenvolvido especificamente para ser utilizado para os aeroportos de Heathrow e Gatwick, sendo que a possibilidade de sua utilização em outros aeroportos é indeterminada.

The Airport Machine [65, 79, 28] – desenvolvido pela “Airport Simulation International (ASI)” permite a simulação em detalhe das operações no aeroporto (incluindo pistas, pistas de táxi e áreas de pátio), não inclui porém a porção aérea (o vôo é representado alguns minutos antes do pouso e após a decolagem somente). Suas principais medidas de performance são fluxo e capacidade por unidade de tempo no aeroporto, assim como atrasos que ocorrem nos vários subsistemas do aeroporto. É baseado em estrutura detalhada de “links” e nós, criando uma rede que representa o aeroporto, onde somente uma aeronave pode trafegar em um dado tramo de cada vez (semelhante ao SIMMOD). Se duas aeronaves convergem para o mesmo nó regras pré-programadas do modelo decidem qual delas ocupará o tramo subsequente e qual incorrerá em atraso.

Exemplos de informações que podem ser obtidas com o “Airport Machine” são número de chegadas e partidas num período de tempo específico, tempo de ocupação das posições de estacionamento, estatísticas de operações de tratoramento, número de posições de estacionamento ocupadas, número de aeronaves nas diversas filas do aeroporto. As operações de ocupação de posições de estacionamento são dadas por valores médio, não sendo divididas nas sub-operações.

Esse programa é está comercialmente disponível e a licença é fornecida para estudos de aeroportos específicos (aproximadamente US\$ 20.000,00 para um aeroporto e mais US\$ 10.000,00 por aeroporto adicional).

Sua principal desvantagem em relação ao SIMMOD (ao qual mais se assemelha em termos de estrutura) deve-se à sua menor flexibilidade na representação do aeroporto e ao fato de ser na sua maior parte um modelo determinístico (não se utiliza de distribuições para as variáveis do modelo).

SIMMOD [65, 20, 79] – é um modelo maduro, escrito com a linguagem SIMSCRIPT II.5, inicialmente desenvolvido pelo FAA (“Federal Aviation Administration”) e atualmente mantido por entidades privadas. Já sofreu várias revisões, por mais de 15 anos.

Permite a simulação em detalhe de um aeroporto (incluindo pistas, pistas de táxi e áreas de pátio), bem como do espaço aéreo associado a esse aeroporto, chegando até a Área Terminal em que este se encontra (com os demais aeroportos representados simplificadaamente).

O aeroporto e espaço aéreo são representados por uma rede de tramos e nós onde as aeronaves se movimentam. Um determinado tramo só pode ser percorrido por uma aeronave de cada vez e quando duas ou mais aeronaves convergem para o mesmo nó estratégias internas são disparadas para decidir qual terá prioridade e qual sofrerá atraso.

Dispõe de diversas opções para simulação de eventos probabilísticos e permite a utilização de quase todo tipo de distribuição (introduzida pelo usuário).

Suas principais medidas de performance são os tempos de viagem das aeronaves, fluxos e capacidade por unidade de tempo nos aeroportos, atrasos e consumo de combustível. As estatísticas que o modelo oferece são bastante detalhadas, até o nível de uma única aeronave.

Sua principal restrição é a de representar o tráfego em uma rede bidimensional de tramos e nós que não permite uma representação realística do espaço aéreo. Essa

restrição não é, entretanto, significativa na representação das operações de solo do aeroporto.

É um modelo de “alta granularidade”, ou seja, capaz de representar bastante detalhadamente as operações de solo (como “push-backs”, ocupação das posições de estacionamento, etc.), entretanto as operações de ocupação de posições de estacionamento são dadas por distribuições, não sendo divididas nas sub-operações.

É considerado um modelo de aprendizado difícil e bastante trabalhoso para aplicações. Seu custo é bastante inferior aos outros modelos (da ordem de US\$ 1.500,00), sendo uma opção em relação a outros modelos mais modernos, porém com preços muito mais elevados, como o TAAM (espaço aéreo e aeroportos) ou RAMS (somente espaço aéreo).

TAAM (Total Airspace and Airport Modeller) [65, 79, 88, 89] – é uma das mais modernas ferramentas de simulação que permite a simulação em grande escala (permitindo até todo um sistema nacional de aeroportos) e com grande detalhamento. Desenvolvido pelo “The Preston Group” (TPG) em cooperação com o “Australian Civil Aviation Authority”, e hoje pertencente à “The Boeing Corporation”.

Utilizado hoje por vários das principais autoridades nacionais de aviação civil e diversas das maiores companhias aéreas do mundo, permite o planejamento e análise de conceitos de ATM (‘Air Traffic Management’), cobrindo todas as operações, de “gate” a “gate”, com maior grau de detalhamento que quaisquer um de seus concorrentes (SIMMOD, ASIM, RAMS, sendo que os dois últimos somente aplicam-se a espaço aéreo).

O TAAM não se utiliza de tramos ou nós: sua representação em quatro dimensões permite grande realismo dos perfis de voo.

Composto de quatro módulos tem excelente interface gráfica, com o módulo de simulação capaz de fornecer animação interativa em duas ou três dimensões dos aeroportos e espaço aéreo. É capaz de efetuar a resolução automática de conflitos (para os casos mais comuns) e permite utilização de regras criadas pelo usuário. Seu

módulo de análise dos resultados pode gerar tabelas e gráficos a partir dos dados de saída da simulação.

Como é um modelo bastante detalhado, os dados de entrada para sua utilização são extensos, compreendendo todo o sistema de espaço aéreo e aeroportos. Alguns exemplos desses dados são:

- dados descrevendo os aeroportos (desenho e funções das áreas)
- rotas de voo e geometria dos setores (de espaço aéreo)
- dados geográficos
- regras de Controle de Tráfego Aéreo
- regras de uso de cada aeroporto (SIDs/STARs/separações/seleção de rotas etc.)
- tabelas de horários de voo (programações de voo)
- trajetórias de voo e rotas
- características de performance de aeronaves
- estratégias de detecção e resolução de conflitos

Uma parte desses dados já vem embutida no modelo (especialmente aqueles que são genéricos) outros podem ser introduzidos pelos módulos interativos de entrada de dados.

Os resultados que podem ser obtidos a partir da simulação são:

- atrasos no sistema
- contagem de conflitos por grau de severidade
- movimentação no aeroporto, atrasos, números de operações em pistas de taxi e de pousos e decolagem, tempos de ocupação de pistas
- métricas de operações de espaço aéreo como: uso de rotas, setores, fixos e ações de coordenação de voos
- consumo total de combustível
- custos agregados (de combustível e outros)
- carga de trabalho dos controladores
- perfis de voo individuais de aeronaves
- diagnósticos mostrando a lógica utilizada pelo modelo nas suas ações

- mensagens de texto descrevendo os eventos
- mensagens de erro
- animações em duas ou três dimensões, com várias janelas em diferentes escalas (desde 30m até 40.000km).

O TAAM foi testado em estudos pelo FAA, e embora seja limitado em termos de resolução de conflitos, com ajustes mais cuidadosos do modelo pode oferecer precisão de até 3 a 4% em comparação aos perfis reais das aeronaves. O mesmo grau de precisão pode ser atingido para movimentação nos aeroportos e outros resultados.

Algumas das principais aplicações encontradas do TAAM incluem estudos de :

- capacidade de aeroportos (número de posições de estacionamento, pistas de táxi, capacidade de pistas de pouso e decolagem)
- planejamento de ampliações e modificações em aeroportos
- “de-icing”
- impacto de ruído
- desenvolvimento preliminar de procedimentos de voo para áreas terminais (SIDs/STARs)
- desenvolvimento preliminar de setores de áreas terminais
- determinação de carga de trabalho de controladores
- impacto de novas regras de controle de tráfego aéreo (por exemplo redução de separações verticais entre aeronaves)
- propagação de atrasos no sistema
- custo/benefício

Seu custo é bastante elevado (da ordem de meio milhão de dólares) e seu uso fica restrito às grandes companhias aéreas ou autoridades nacionais da aviação civil. A necessidade de uma enorme quantidade de dados para elaboração de um modelo, envolvendo desde espaço aéreo até detalhes de cada aeroporto, podem levar a um grande consumo de tempo e esforço. Em alguns casos mais simples ou problemas mais localizados ou específicos outros modelos podem ser mais rápidos e eficientes, sem qualquer prejuízo na precisão dos resultados.

Em relação ao seu uso para o presente estudo, constata-se que o tratamento dos tempos de estacionamento é dado por um valor médio para cada tipo de aeronave (plenamente de acordo com a proposta de um modelo tão abrangente), não apresentando, portanto, o grau de detalhamento necessário.

O TAAM não é capaz de considerar o tempo de estacionamento sub-dividido nos seus diversos serviços e operações prestadas por recursos de pátio. O objetivo do presente trabalho é justamente de representar em detalhe essas operações para balanceamento dos recursos de pátio. Desse modo, os resultados deste trabalho poderiam fornecer dados de entrada para simulações no TAAM, possibilitando a verificação do impacto no sistema aeroportuário da melhor utilização dos recursos de solo.

VTASIM (*‘Virginia Tech Airport Simulation Model’*) [90] – esse modelo de simulação discreta recentemente desenvolvido é, em vários aspectos, semelhante ao SIMMOD (estrutura de rede). As novidades trazidas por esse modelo estão na estrutura orientada à objetos (programada em C++), na capacidade de simular as comunicações entre controladores de área terminal e de torre com as aeronaves (podendo determinar a carga de trabalho de controladores) e simulação das aeronaves no solo do aeroporto incluindo as comunicações com a torre de controle e o controle de solo. Pode representar pistas, pistas de táxi e posições de estacionamento, sem entrar nos detalhes da operação nessas posições. É um modelo híbrido pois trata a parte das comunicações como orientada por eventos discretos e a parte das movimentações de aeronaves como orientada por tempo discreto.

Indicado para estudos de aeroportos e especialmente para aplicações em tempo real como sistemas de apoio ao controle de área, além de avaliação de teste de estratégias comparando comunicações por canal de voz ou “data link”.

Existe ainda um outro grupo de programas que não foi tratado por Odoni [65] que são os desenvolvidos pela FTA [28] (*‘Flight Transportation Associates Inc.’*), para uso dessa empresa de consultoria, a saber: (DELAYSIM): DELAYSIM (*‘Delay Simulation’*) baseado no DELAYS, tratando de capacidade de pistas carga de trabalho de controladores; FLAPS (*‘Flexible Airport Simulation’*), modelo

estocástico orientado por eventos, capaz de representar o solo do aeroporto e o espaço aéreo (somente a partir do fixo de entrada da área terminal, ou seja, representa uma porção reduzida do espaço aéreo). Tem basicamente as mesmas características do SIMMOD: rede composta por tramos e nós para representar as trajetórias de voo e de movimentação em solo, tratando o pátio de estacionamento de maneira semelhante a este modelo, ou seja, sem detalhamento de operações; TASIM (*'Terminal Airspace Simulation'*) – com uma rede representando a área terminal permite a avaliação de estratégias de operação de voo. Menos detalhado que o TAAM ou RAMS, por exemplo. Fora do escopo do presente trabalho; TAXSIM (*'Taxiway Simulation'*), também baseado em rede composta por tramos e nós (semelhante ao SIMMOD), simula o fluxo de aeronaves nas pistas de pouso e decolagem e pistas de táxi, sendo uma ferramenta de planejamento de configuração de pistas de táxi, influencia de mix de aeronaves e estratégias de alocação de posições de estacionamento. Esse modelo também não representa as operações de solo, utilizando-se de valores médios de tempos de ocupação de *gates*.

A investigação apresentada sobre todos os modelos específicos de simulação aeroportuária demonstra que os modelos têm uma abrangência bastante grande. Todos são capazes de representar pelo menos o aeroporto e suas operações. Outros ainda podem representar em todo ou parte o espaço aéreo (TAAM e SIMMOD, respectivamente) e a sua rede de aeroportos (de maneira simplificada no SIMMOD e de maneira completa no TAAM). Nenhum, no entanto, chega a subdividir as operações nas posições de estacionamento, utilizando-se de valores médios ou distribuições para representar o tempo de ocupação total. Por isso não se prestam à análise proposta pelo presente trabalho. Vale mencionar mais uma vez que visto que objetivo do presente trabalho é justamente de representar em detalhe essas operações para balanceamento dos recursos de pátio, seus resultados poderiam fornecer dados de entrada para simulações no TAAM, SIMMOD e outras ferramentas que tratam do aeroporto, possibilitando a verificação do impacto no sistema aeroportuário da melhor utilização dos recursos de solo.

A seguir serão investigadas outras ferramentas que poderiam servir ao desenvolvimento do modelo proposto.

8.1.2. Ferramentas de simulação genéricas

Gualda [31], descrevendo um trabalho de simulação destinado ao dimensionamento de pátios de interface, compara os resultados da aplicação do programa DYNAMO, no qual a simulação é baseada na analogia fluida contínua de Forrester, e do programa GPSS, que permite a simulação discreta. Conclui que não houve vantagem na utilização da simulação contínua em relação à discreta. Acrescenta que essa constatação, aliada ao fato de que a aplicação do modelo de fluxo contínuo envolveu simplificação e análise parcial do problema levam-no a considerar mais adequado e abrangente a simulação discreta para análises de sistemas apresentando processos estocásticos de formação de redes de filas, especialmente nos casos onde esses processos envolvem transientes e não apresentam saturação em pelo menos um nó da rede. Por isso serão consideradas a seguir, preferencialmente, as ferramentas que permitem a simulação discreta.

As ferramentas ou linguagens de simulação genéricas podem ser encontradas num número bastante grande, assim fugiria ao escopo desse trabalho estudar as peculiaridades de cada uma delas.

A Tabela 20 foi construída para dar um panorama dos programas ou linguagens de computador que a princípio foram julgados como possíveis opções para uso no presente trabalho. Essa tabela foi feita a partir de um levantamento nos anais da WSC [98] (“Winter Simulation Conference”) de 1997 a 2001 e por pesquisas na “Internet” [75] de ferramentas de simulação utilizadas em problemas aeroportuários ou de outros terminais de interface. Não se pretende esgotar o universo dos programas disponíveis, tampouco escolher o melhor dentre eles, pois nem todos foram analisados mais profundamente.

A partir desse levantamento a escolha da ferramenta deu-se por comparação de suas características com os requisitos ou funcionalidades necessárias ou que sejam interessantes para elaboração do modelo de simulação proposto pelo presente trabalho. Há que se mencionar também a “vantagem” dada às ferramentas de uso mais corrente no panorama acadêmico brasileiro.

Apresentam-se, portanto as razões da escolha do ARENA para elaboração do modelo:

- Possui ambiente gráfico de programação: proporciona uma lógica mais clara e intuitiva de programação, não demandando programação excessiva, pois possui elementos funcionais de aplicação mais imediata.
- Permite, caso se deseje, o desenvolvimento de modelos dentro do paradigma de orientação à objetos (defendido por Zhong [100] para simulação aeroportuária), garantindo flexibilidade e possibilidade de reutilização de partes independentes do modelo em modelos futuros.
- Tem capacidade de animação de grande qualidade, que permite a identificação visual de gargalos e de problemas na modelagem.
- Apresenta capacidade de interface com outros programas para entrada de dados (desenhos, dados estatísticos, etc.)
- É baseado em linguagem uma linguagem de simulação bastante reconhecida (SIMAN), que foi criada pelos mesmos grupos que desenvolveram linguagens consagradas de simulação como GPSS e GASP e portanto incorpora as qualidades dessas ferramentas além de diversas melhorias.
- Familiaridade com o programa (bem como sua disponibilidade): por ser este o programa adotado como ferramenta de apoio didático nas disciplinas de simulação no Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Corroborando com essa escolha podem ser citados alguns exemplos onde o ARENA foi a ferramenta escolhida para simulação de aspectos operacionais de terminais e casos específicos de aplicação aeroportuária:

- Feitosa [25]: modelo de simulação de um terminal regional de passageiros, compreendendo todos os processos de embarque e desembarque de passageiros, balcão de emissão de bilhetes, “check-in” e fluxo de bagagens, com validação feita por comparação dos resultados da simulação com dados reais do aeroporto.

- Fernandes [26]: modelo de simulação extremamente detalhado da operação de um terminal de contêineres e veículos, já discutido na “Revisão Bibliográfica”.
- Schumacher [80]: mesmo tendo um laboratório dedicado à aplicação do TAAM para efetuar suas simulações, essa equipe da Delta Airlines utilizou-se do ARENA para determinar os impactos na programação de vôos do fechamento parcial de pistas no Aeroporto Internacional de Atlanta. Alterações de programação de vôos e de utilização das posições nos seus pátios de estacionamento de aeronaves foram então sugeridas para diminuir os atrasos e sua propagação no seu sistema baseado em “hub and spokes”, que tem como “hub” aquele aeroporto.
- Gatersleben e Weij [29]: desenvolveram um modelo de simulação para identificação dos gargalos operacionais do terminal de passageiros do Aeroporto Schiphol (de Amsterdã). A identificação dos gargalos com diferentes cenários de crescimento de demanda serviram como base para delinear as políticas de desenvolvimento do terminal de passageiros daquele aeroporto.
- Tunasar, Young e Bender [91]: equipe do Grupo SABRE descreve seu modelo de simulação de tráfego de veículos nos acessos e garagens de estacionamento, e embarque e desembarque de passageiros desses veículos no Aeroporto Internacional de Austin-Bergstrom visando a determinação dos impactos das alterações propostas para a reconfiguração desses acessos. Como resultado desse trabalho puderam demonstrar quais configurações causariam mais congestionamento, e identificar os pontos onde esse congestionamento seria mais intenso.

Tabela 20: Programas ou linguagens genéricas de simulação

Programas ou linguagens	Desenvolvido por	Linguagem que utiliza	Tipo simulação	Animação	Observação
<i>Bibliotecas de Programas</i>					
C++SIM, SSS, CSIM18 [75]	?	C	discreta	?	Bibliotecas em C++ para simulação de eventos discretos.
SIMJAVA [75]	?	JAVA	discreta	?	Bibliotecas em Java para simulação de eventos discretos.
<i>Ferramentas de simulação</i>					
Taylor ED [44]	F&H Simulations Inc.	4D-script	discreta ou contínua	sim	Ferramenta da com arquitetura orientada a objetos para modelagem e simulação de processos de controle de negócios e aplicações industriais.
SIMUL8 [75]	Visual Thinking Intl.	?	discreta	sim	Com objetos de simulação pré-definidos e distribuições estatísticas embutidas. Também permite modelagem hierárquica.
Extend [50]	ImagineThat Inc.	ModL (parecida com C)	discreta ou contínua	sim	Ambiente de simulação gráfico, com capacidade de animação, contendo bibliotecas de modelos e hierarquia para os modelos. Módulos personalizados podem ser criados com a linguagem ModL.
VisSim [81]	Visual Solutions Inc. / Mesquite Software Inc.	CSIM18	discreta ou contínua	sim (gráficos das tarefas)	Linguagem visual de diagrama de blocos (orientada a processos) para simulação de dinâmica não linear e para simulação de eventos discretos. Mostra gráficos das tarefas conforme a simulação é executada.
AweSim [72]	Pritsker Corporation / Symix Systems Inc.	Visual SLAM/Visual C++	discreta ou contínua	sim	Presta-se a modelos de redes, simulação de eventos discretos ou contínuos, sua arquitetura é orientada a objetos, com blocos pré-definidos. Funciona em ambiente Windows, podendo ser integrado a aplicações em outras linguagens visuais (V Basic ou Visual C).
MicroSaint [8]	Micro Analysis and Design Inc.	?	discreta ou contínua	sim	Programa de simulação genérico e bastante flexível com interface gráfica do tipo diagrama de fluxo, ou rede de tarefas. Aplicações em diversas áreas (desde industrial até hospitalar).
Simprocess [97]	CACI Products Company	MODSIM III	discreta ou contínua	sim	SIMPROCESS (Business Process Simulator), arquitetura hierárquica, orientada a objetos, combinando a simplicidade dos diagramas de fluxo com simulação, análise estatística, custos baseados em atividades e animação.

Programas ou linguagens	Desenvolvido por	Linguagem que utiliza	Tipo simulação	Animação	Observação
WITNESS [59]	Lanner Group	?	discreta	sim	Ambiente gráfico para elaboração de simulações voltadas para fluxo de materiais/veículos no sistema. É capaz de gerar animações em 3D (“Virtual Realit Models”)
ARENA [85]	Systems Modeling Corp	SIMAN	discreta ou contínua	sim	Ambiente gráfico de programação, arquitetura orientada a objetos com aplicações em virtualmente qualquer área em que se necessite da simulação. Seus objetos permitem a modelagem de sistemas nos mais variados graus de complexidade e com abordagem “top to bottom”, tornando o modelo mais detalhado ou “bottom to top”, agregando-se modelos menores. Arquitetura aberta (integrável a outros aplicativos via VBA). Baseado na linguagem SIMAN, criada por pessoas que participaram nas criações do SLAM e GPSS, incorporando assim as vantagens dessas linguagens. Pode ser usado para otimização em conjunto com simulação (módulo OptQuest).
Promodel [35]	Promodel Corporation	C, Pascal ou Basic (para rotinas externas)	discreta ou contínua	sim	ProModel Optimization Suite é um programa de simulação orientado a objetos para avaliação, projeto ou reengenharia de sistemas logísticos, indústrias ou armazéns.
AutoMod [77]	AutoSimulations Inc.	?	discreta ou contínua	sim	Permite a simulação de instalações industriais ou de armazenagem em 3 dimensões, permitindo a avaliação do funcionamento da instalação industrial e de parâmetros estatísticos de desempenho. O módulo AutoMod é o responsável pelo ambiente de modelagem e simulação, o módulo AutoStat é usado para análises estatísticas e otimização e o módulo AutoView permite a navegação na animação.
Proof [39]	Wolverine Software Corporation	n/a	discreta ou contínua	sim	É um poderoso programa de animação de simulações a partir de arquivo de texto criado por programas de simulação. As simulações a serem animadas podem ser feitas com SLX, GPSS/H Extend SLAM, SIMAN, Simscript II.5, C, JAVA etc. Tem interfaces com programas de CAD (“Computer Aided Design”).
Quest[9]	Deneb Robotics,	SCL (Simulation	discreta	sim	Modelo para simulação industrial com capacidade de simulações

Programas ou linguagens	Desenvolvido por	Linguagem que utiliza	Tipo simulação	Animação	Observação
	Inc.	Control Language), pode comunicar-se com programas em C			em 3D considerando as geometrias dos objetos. Integrado com ferramentas de CAD.
Alpha/Sim[21]	AlphaTech Inc.	?	discreta	sim	Baseado em redes de Petri, permite a modelagem hierárquica, em ambiente totalmente visual. Pode ser conectado a outros programas, coletando dados de filas e outros dados estatísticos automaticamente.
VSE[7]	Orca Computer Inc.	?	discreta	sim	Desenvolvido no escopo do SDME (‘Simulation Model Development Environment’) projeto iniciado em 1983 na Virginia Tech com financiamento da Marinha dos EUA. Totalmente orientado a objetos (e classes de objetos).
<i>Linguagens de Simulação</i>					
SLAM II [72]	?	Visual SLAM	discreta ou contínua	n/a	Ver AweSim
GPSS/H [23]	Wolverine Software Corporation	GPSS	discreta	n/a	General Purpose Simulation System (GPSS). Modelos são desenvolvidos em código em formato texto, que são compilados e carregados diretamente na memória para execução, o que permite alta performance. A modelagem é baseada na interação entre processos, ou seja, o modelo descreve o fluxo de um objeto, o que garante uma leitura do código como um fluxograma do sistema modelado. Esses objetos são controlados e estatísticas são geradas como resultado da simulação. É uma linguagem amplamente difundida e tem sido usada nas mais diversas áreas.
MODSIM III [97]	CACI Products Company	MODSIM III	discreta ou contínua	n/a	Linguagem para simulação tanto em arquitetura orientada a objetos como a processos. Desenvolvida para modelagem de sistemas complexos. Contém bibliotecas específicas de simulações e animação. Tem interface para o HLA (‘High Level Architecture’), padrão do Departamento de Defesa dos EUA de simulação distribuída. É melhor que linguagens como JAVA ou C++ pois além de oferecer as mesmas vantagens em termos de polimorfismo, herança e encapsulamento é uma linguagem voltada para simulação.

Programas ou linguagens	Desenvolvido por	Linguagem que utiliza	Tipo simulação	Animação	Observação
Simscrip II.5 [75]	?	Simscrip II.5	discreta ou contínua	n/a	Linguagem de forma livre (em inglês). Usada em diversas aplicações. O SIMMOD foi construído nessa linguagem.
SIMAN [69]	Pedgen / Systems Modeling Corporation	SIMAN	discreta e/ou contínua	n/a	Desenvolvido por participantes do projeto que desenvolveu a linguagem SLAM. Seu desenvolvimento contém heranças desde o GPSS e GASP. É a linguagem base do ARENA.
<i>Programas e linguagens de simulação “web based” e distribuída</i>					
SILK[37]	ThreadTech Inc	JAVA	discreta e/ou contínua	n/a	Silk é uma ferramenta de modelagem que une as características de modelagem por descrição de processos com uma linguagem orientada a objetos, com todas as vantagens que isso pode trazer (herança, encapsulamento, polimorfismo etc.). Sua grande vantagem é a possibilidade de reutilização de sub-modelos e componentes criados por outros usuários. Assim essas bibliotecas descrevendo o comportamento de determinados objetos poderiam ser coletadas na “Internet” e integradas compondo um modelo de simulação, poupando muito esforço de desenvolvimento.
SLX[38]	Wolverine Software Corporation	C	discreta e/ou contínua		SLX é construído sobre os avanços dados pelo GPSS/H. Sua estrutura em diversas camadas, desde o código parecido com C até um nível médio baseado no GPSS/H até uma linguagem totalmente visual, voltada á aplicações. É compatível com o HLA (‘High Level Architecture’), e possui ilimitada expansibilidade, em quaisquer dos níveis em que se deseje tal expansão, podendo assim servir de ferramenta para virtualmente qualquer tipo de modelo de simulação.
JSIM [75]		JAVA	discreta e/ou contínua		Ambiente de simulação e animação baseado em JAVA . Modelos podem ser construídos graficamente com orientação a eventos (‘Event-Scheduling Paradigm’) ou a processos (‘Process-Interaction Paradigm’). Pode acessar bases de dados para entradas ou saídas da simulação.

9. ANEXO 2 – DESCRIÇÃO DO MODELO EM ARENA

O capítulo 4 tratou da modelagem do problema de simulação, desenvolvida pela análise das operações e atividades realizadas no pátio de maneira a evidenciar suas seqüências lógicas, restrições operacionais e as decisões envolvidas.

O presente capítulo tratará da implementação da lógica do modelo de simulação no Arena.

Procurar-se-á, sempre que possível, relacionar o que será apresentado neste capítulo com o modelo apresentado no capítulo 4.

O modelo será apresentado por trechos, o que por vezes pode confundir o leitor quanto à sua seqüência. Por isso, as figuras que representam porções do modelo serão também referenciadas num mapa geral do modelo à Figura 93.

9.1. Modelo Principal

9.1.1. Trecho I – Criação de vôos

A seqüência de comandos mostrada pela Figura 64 faz a leitura das variáveis de mix de aeronaves e dos parâmetros operacionais e seus desvios e tipos de distribuições escolhidos (ver 5.1.1). O contador, que atribui um número de identificação para cada vôo recebe o seu valor inicial (FID = 1).

Figura 64: Leitura variáveis Arena

A Figura 65 ilustra a seqüência de criação de vôos. O bloco “Create 2” cria os vôos e o sorteio de suas características se dá no sub modelo “*sorteia mix*”. O bloco “*FID incremento*” incrementa o contador de identificação de vôos.

Figura 65: Criação de vôos

O conteúdo do bloco “*sorteia_mix*” é mostrado na Figura 66 . O primeiro bloco (“*Decide Cat*”) sorteia o atributo de categoria do voo (B ou C). A seguir nos blocos “*atrib num_max_pax B*” e “*atrib num_max_pax C*” são sorteados os valores de “*num_max_pax*” (quantidade de assentos na aeronave). O bloco “*decide empresa B*” e bloco “*decide empresa C*” sorteiam o direcionamento do voo aos blocos que lhes atribuirão o dado “*empresa*”. Em seguida a aeronave recebe seu atributo de “tipo de permanência”.

Figura 66: Conteúdo do bloco “*sorteia_mix*”

Prosseguindo no modelo principal observa-se no seu trecho mostrado na Figura 67 que os vôos são separados por categoria para receberem o atributo da sua posição de estacionamento planejada (“*pos_estac_plan*”). Essa posição é preliminar, ou seja, pode ser mudada caso esteja ocupada.

No bloco de decisão “*separa tipo perm*” se o voo for do tipo terminal seguirá para o bloco “*se T nao ha pax desemb*”. Caso o tipo de permanência seja de retorno, passagem ou origem seguirá para o bloco “*Assign tx ocup/PIC*”.

O voo com atributo de permanência do tipo terminal que vai para o bloco de decisão “se *T* não ha pax desem”, será verificado quanto à necessidade de desembarque de passageiros. Caso não tenha passageiros a serem desembarcados, será descartado (pois dirigir-se-á diretamente ao hangar, não chegando a ocupar posição no pátio). Caso contrário volta à sequência lógica normal (dos voos com permanência dos tipos origem, retorno ou passagem), indo ao bloco “Assign tx ocup/PIC”.

No bloco “Assign tx ocup/PIC” (sub modelo apresentado na Figura 68) são atribuídos os valores de taxa de ocupação por empresa e as figuras que representam as aeronaves de cada empresa.

A taxa de ocupação lida no início do modelo é o multiplicador do número de assentos (“num_max_pax”) que dá o número de assentos ocupados, ou seja, o número de passageiros do voo (“num_calc_pax”).

Em seguimento (voltando à Figura 67) verifica-se se há posição de estacionamento planejada. Isso é feito pois o presente modelo também pode ler os dados reais do aeroporto (que contém a posição planejada), em vez de sorteados, como ora faz. Estando a posição planejada livre passará esta a ser a posição designada. Se o voo não tinha informação de posição planejada ou esta se apresentava ocupada outra posição deverá ser encontrada.

Figura 67: Trecho do modelo principal

Figura 68: Conteúdo do bloco “Assign tx ocup/PIC”

Até aqui o modelo seguiu o fluxograma do modelo principal apresentado na Figura 9 (Capítulo 4). Nesse fluxograma principal o bloco de alocação de posições está resumido, sendo explicitado na Figura 11, do mesmo capítulo.

9.1.2. Trecho II – Alocação de posições de estacionamento

No que segue será apresentado o trecho do modelo em Arena correspondente ao que se mostra nessa Figura 11, que é a lógica de designação de posições.

Note-se que o primeiro bloco da Figura 69, “*empresas pos*”, é o último bloco mostrado na Figura 67.

Nesse trecho do modelo é feita a busca por uma posição livre, para os casos em que a posição planejada estava ocupada. Entretanto, pelo exposto na Tabela 4 deve-se procurar escolher uma posição dentre as posições preferenciais para cada empresa.

As cinco saídas do bloco “*empresas pos*” correspondem às cinco empresas (GLO, TAM, TBA, VRG e VSP, nessa ordem). Com exceção da Gol (GLO), é feita a busca dentre as posições preferenciais de cada empresa para verificar-se se há uma posição livre.

Um contador (K) representa temporariamente a posição preferencial que está sendo verificada, partindo do menor número de posição preferencial da empresa e sendo incrementado de uma unidade a cada verificação. Essa verificação ocorre dentro do comando recorrente dado pelos blocos “*While*” e “*EndWhile*”. Caso uma posição livre seja encontrada, esta será designada à aeronave (blocos “*Assign 102*” a “*Assign 105*”).

Caso nenhuma das posições preferenciais esteja livre, a aeronave seguirá (pelos ramos que deixam os blocos “*EndWhile*”) para o algoritmo seguinte, de alocação geral de aeronaves, independente da empresa e dependente da categoria da aeronave, como será visto mais adiante. Em relação ao primeiro ramo, dos casos que deixam o bloco “*empresas pos*” (dos vôos GLO - Gol), ressalta-se que, por não terem posições preferenciais serão enviados diretamente ao algoritmo geral de alocação, do qual falar-se-á em seguida.

Figura 69: Trecho do modelo principal – posições preferenciais

Não sendo possível a escolha de uma posição preferencial da empresa, o vôo passa por um algoritmo geral de alocação de posição, representado na Figura 70. Nesse trecho do modelo o primeiro bloco “*categoria eh B*” separa os vôos entre as categorias B e C.

Para os vôos de categoria B (ramo superior) são verificadas uma a uma todas as posições remotas (19 a 26), pelo trecho recorrente entre os blocos “*While*” e “*EndWhile*”. Caso uma posição remota livre seja encontrada (teste no bloco “*pos REM lotado*”) esta será alocada (“*Assign 115*”). Caso nenhuma esteja livre, o vôo entrará numa fila de espera (bloco “*Queue*”) até que uma posição remota seja

liberada, o que é sinalizado ao bloco “Wait”. Nesse bloco “Wait” o sinal recebido indica somente que há posição remota livre, portanto, nesse caso o voo retorna ao trecho recorrente para que seja determinada qual a posição remota livre.

Para os vãos de categoria C, que seguem pelo ramo inferior, os testes são os mesmos. No entanto as posições verificadas são as próximas (1 a 18). Essa verificação é feita pelo trecho recorrente entre os blocos “While” e “EndWhile”. Caso uma posição próxima livre seja encontrada (teste no bloco “pos PROX lotado”) esta será alocada (“Assign 105”). Caso nenhuma esteja livre, o voo entrará numa fila de espera (bloco “Queue”) até que uma posição próxima seja liberada, o que é sinalizado ao bloco “Wait”. Nesse bloco “Wait” o sinal recebido indica somente que há posição próxima livre, portanto, nesse caso o voo retorna ao trecho recorrente para que seja determinada qual a posição próxima livre.

Figura 70: Trecho do modelo principal - alocação geral de posições

9.1.3. Trecho III – Ocupação das posições de estacionamento

Uma vez determinada qual posição está disponível para a aeronave, seja esta a posição planejada, uma das preferenciais por empresa ou uma livre qualquer, a variável “pos_aloc_def” (posição alocada definitiva) recebe o número da posição escolhida. Essa anotação é feita nos blocos (da Figura 71) de “anota 1” até “anota 7” e no bloco “pos_aloc le variable” é associada ao voo como atributo.

Em seguida o bloco de verificação “vai para pos PROX” determina quais vãos vão para posições remotas e quais vão para posições próximas. Isso é feito para que os contadores dos blocos “Assign 85” e “Assign 84” incrementem o número de

posições ocupadas em cada um desses tipos. Com isso é feito o controle do número de posições ocupadas, que enviará o sinal aos blocos “*Wait*” mostrado na Figura 70.

O bloco “*Seize 1*” é onde ocorre o bloqueio da posição alocada. O bloco seguinte “*Separate 2*” duplica a entidade que representa o voo. A partir daí uma entidade continuará representando o voo e a outra será replicada para a representação dos serviços de atendimento no pátio.

Figura 71: Trecho do modelo principal - bloqueio da posição alocada

Percorrendo-se primeiramente o ramo da entidade original (Figura 72 e Figura 73), que seguirá representando o voo (aeronave), tem-se o bloco “*Assign 401*”, onde são anotados todos os atributos relativos às ocupações instantâneas dos recursos de atendimento (quantidade de recursos em uso). Isso é feito para que se tenha um retrato da disponibilidade de recursos no instante da ocupação da posição.

O Bloco “*st_entrada*” coloca a entidade que representa a aeronave na posição de entrada no pátio. A velocidade de táxi é sorteada no bloco “*Assign 185*”. Os dois blocos seguintes (“*rt_taxi in*” e “*st_posicoes*”) representam a rolagem até a posição de estacionamento.

Uma vez na posição é dado o sinal de início da operação de atendimento, correspondendo ao instante de calço (bloco “*Signal*”). Em “*Assign Pic*” a entidade que representa a aeronave na posição recebe a figura da empresa correspondente ao voo. O bloco “*Wait*” é o sinalizador de calços fora, ou seja, todas os serviços já foram prestados e a aeronave está liberada para decolagem. O bloco “*Assign 144*”

anota o instante em que a aeronave deixa a posição e o bloco “*Release 1*” libera a posição para outro voo.

Figura 72: Trecho do modelo principal – ocupação da posição

Na sequência (Figura 73) o bloco de decisão “*veio de pos PROX*” separa as aeronaves que deixaram posição próxima ou remota para que se decremente o número de posições ocupadas, que é feito respectivamente nos blocos “*Assign 87*” e “*Assign 86*”. Os blocos “*Decide 29 REM*” e “*Decide 30 PROX*” verificam se o número de posições ocupadas de cada tipo (próxima ou remota) são inferiores aos respectivos limites.

Caso o sejam um sinal é enviado pelo bloco “*Signal*” ao bloco “*Wait*” da Figura 70 para que uma aeronave que eventualmente esteja na fila aguardando por uma posição possa alocar a posição recém liberada. Caso contrário segue-se diretamente para os blocos “*rt_taxi out*” e “*st_saida*” que representam o deslocamento da posição de estacionamento até a posição de saída do pátio.

O bloco “*Assign 402*” converte os instantes anotados de entrada e saída da posição em horas e minutos e o bloco “*ReadWrite 3*” grava em arquivo todos os dados anotados anteriormente.

A entidade aeronave é então descartada, no bloco “*Dispose 1*”, representando sua decolagem.

Figura 73: Trecho do modelo principal – liberação da posição

9.2. Atendimento na posição de estacionamento

9.2.1. Parte geral do atendimento na posição de estacionamento

O intervalo de tempo que a aeronave ocupa a posição é ditado, caso não ocorram atrasos ou esperas em solo, pelo tempo necessário à prestação dos diversos serviços de solo.

Conforme mencionado em referência ao bloco “*Separate 2*” da Figura 71, enquanto uma entidade segue representando a aeronave (abordado no item 9.1.3), outra é duplicada, para logo a seguir ser replicada em outros ramos para a representação dos serviços que são prestados à aeronave durante sua permanência no pátio de estacionamento. Esses serviços iniciam-se com a colocação dos calços (aeronave na posição de estacionamento) e somente após concluídos a aeronave é liberada (bloco “*Wait*” da Figura 72).

Os ramos de serviços correspondem aproximadamente àqueles mostrados na Figura 12, com exceção do fluxo 2, valendo dizer que na conversão para o Arena o fluxo 1 e 2 se fundem devido ao seqüenciamento das atividades.

Passando pois à análise do primeiro ramo, vê-se na Figura 74 o bloco “*Separate 19*” que replica a entidade de modo que uma segue para representar outros serviços, enquanto outra segue para nova replicação no bloco “*Separate 24*”, após o quê uma entidade passa a representar as escadas, que são alocadas para os vôos de categoria C e a outra segue para o bloco “*Wait*”. Caso não sejam necessárias as escadas a entidade que as representa será descartada.

Aquela entidade que deixa o bloco “*Separate 24*” aguarda no bloco “*Wait*” até que a aeronave esteja na posição (colocação de calços). Isso porque os serviços de desembarque dependem, obviamente, da aeronave estar calçada na posição. Esse sinal é dado pelo bloco “*Signal*” da Figura 72.

Após deixar o bloco “*Wait*” a entidade passa pelo bloco “*Decide perm RPT*”. Os vôos com permanência do tipo origem não terão passageiros a serem

desembarcados. Os outros tipos (retorno, passagem ou terminal) necessariamente terão passageiros para desembarque, uma vez que os vôos do tipo terminal sem passageiros foram separados no bloco “*se T nao ha pax disemb*” da Figura 67.

Uma vez que todos os passageiros tenham desembarcado (sub modelo “*Desembarque PAX*”), ou no caso de não haver desembarque, a entidade passará a representar o serviço de abastecimento (sub modelo “*Atendimento Combustível*”), que só atenderá aos vôos em permanência dos tipos retorno, passagem ou origem (selecionados no bloco “*Decide_2 perm RPO*”), já que os vôos com permanência do tipo terminal dirigir-se-ão aos hangares.

Em seguida as aeronaves que assumirão ou continuarão seus vôos (permanência dos tipos origem, retorno ou passagem) são selecionadas no bloco “*Decide perm RPO2*” e recebem os passageiros (sub modelo “*Embarque PAX*”).

O bloco “*Decide 82*” separa as entidades que representam vôos categoria C para a liberação das duas escadas nos dois blocos “*Signal*”.

Por fim os instantes de alocação e liberação de cada um dos recursos são anotados no bloco “*ReadWrite 10*”.

Figura 74: Atividades correspondentes aos fluxos 1 e 2

O segundo ramo corresponde às atividades do fluxo 2 (ver Figura 12) está apresentado na Figura 75.

A entidade é duplicada no bloco “*Separate 23*” e aguarda o sinal de colocação de calços para iniciar os serviços de descarregamento e carregamento de bagagem e carga.

No bloco de decisão “*Decide 52*” assim como no bloco “*Decide 53*” verifica-se se as permanências são dos tipos retorno passagem ou terminal, correspondendo a vôos com bagagem e carga a serem descarregadas. Tendo o vôo bagagem a ser descarregada, esta atividade é realizada (sub modelo “*Descarrega Bagagem*”). Em seguida a carga, uma vez que exista, é descarregada (sub modelo “*Descarrega Carga*”).

Caso não exista bagagem ou carga a serem descarregadas ou após seu descarregamento dirige-se a entidade ao bloco “*Decide 59*”. Neste bloco verifica-se o tipo de permanência. Aqueles com permanência do tipo terminal não terão bagagem ou carga a serem carregadas. Os demais são carregados com carga e bagagem (sub modelos “*Carrega Carga*” e “*Carrega Bagagem*”, respectivamente).

Os blocos “*Assign 364*”, “*Assign 366*”, “*Assign 368*” e “*Assign 370*” registram os instantes em que os serviços de descarregamento de bagagem e carga e o carregamento de carga e bagagem são iniciados. Por sua vez os blocos “*Assign 365*”, “*Assign 367*”, “*Assign 369*” e “*Assign 371*” registram o término dos respectivos serviços.

Por fim o bloco “*ReadWrite 11*” salva os instantes coletados em arquivo.

Figura 75: Atividades correspondentes ao fluxo 3

O ramo apresentado na Figura 76 inicia-se pela replicação da entidade (bloco “*Separate 25*”) que ora representará a atividade de coleta de esgoto e abastecimento de água, de que se utilizam as aeronaves da TAM.

O bloco “*Wait*” permitirá o início da atividade de coleta de esgoto logo que a aeronave esteja parada na posição. O bloco “*Decide 54 eh TAM*” verifica se o vôo é da empresa TAM, em caso positivo o serviço é prestado (sub *modelo* “*Serv. Agua Esgoto*”).

Finalmente o bloco “*ReadWrite 12*” anota os instantes de início e término de cada uma das atividades.

Figura 76: Atividades correspondentes ao fluxo 4

Semelhante aos ramos anteriores, aquele apresentado à Figura 77 inicia-se com a replicação da entidade (“*Separate 26*”) passando à representação do serviço de comissaria.

O bloco de decisão “*Decide perm RPO*” verifica quais são os vôos com permanência dos tipos retorno, passagem ou origem que serão atendidos pela equipe de comissaria.

Os blocos “*Assign 375*” e “*Assign 376*” anotam os instantes de início e término do atendimento de comissaria (sub modelo “*Serv. Comissaria*”). Esses instantes são depois gravados no bloco “*ReadWrite 13*”.

Figura 77: Atividades correspondentes ao fluxo 5

A Figura 78 mostra o ramo correspondente ao serviço de manutenção.

Nos ramos anteriores os serviços foram representados em sub modelos (que serão analisados mais adiante) para facilitar a organização do modelo. No presente ramo, que representa os serviços de manutenção, isso não foi necessário.

Desse modo, após a replicação (“*Separate 27*”) e espera pelo calço (“*Wait*”) o bloco “*Decide 56*” separa as aeronaves com permanência dos tipos retorno ou passagem, pois são essas as únicas que poderão ter serviços de manutenção prestados na própria posição. As demais terão esse serviço prestado ainda no hangar.

O bloco de decisão “*Decide 57*” sorteia, com base na taxa de probabilidade de manutenção (variável “*taxa_proba_manut*”), os vôos que necessitarão de tal serviço. O início do atendimento é anotado no bloco “*Assign 377*” e o recurso “*carro de manutenção*” é alocado no bloco “*Seize 12*”. Caso nenhum carro de manutenção esteja disponível a requisição aguardará numa fila até que possa ser atendida. O bloco “*Assign 236*” sorteia o tempo de atendimento, que será cumprido no bloco “*Delay 19*”. Uma vez concluído o atendimento, o carro de manutenção é liberado pelo bloco “*Release 10*” e o bloco “*Assign 378*” anota o instante de liberação.

Por fim os instantes de início e término do serviço de manutenção são gravados pelo bloco “*ReadWrite 14*”.

Figura 78: Atividades correspondentes ao fluxo 6

Com o cumprimento de todas as atividades necessárias de cada ramo sairá uma entidade. Uma vez que todas as entidades sejam liberadas, o que é verificado pelo reagrupamento das entidades no bloco “*Batch 13*” da Figura 79, considerar-se-á o atendimento da aeronave concluído e requisitar-se-á o trator para o serviço de “push-back”.

O bloco “*Assign 379*” anota o momento da requisição do trator, que é feita no bloco “*Seize 10*”. Caso não haja trator disponível, a requisição entra numa fila de espera até que um trator seja liberado. Em “*Assign 134*” uma figura é atribuída à entidade para representar o trator e a velocidade de deslocamento é sorteada em “*Assign 237*”.

Os blocos “*Route 12*” e “*Station 19*” dirigem o trator até a porção em que este foi requisitado e os blocos “*Assign 133*” e “*Assign 239*” sorteiam o tempo de atendimento e manobras que é executado no bloco “*Delay 18*”. Em “*Assign 135*” e “*Assign 238*” uma figura é novamente atribuída à entidade e sorteia-se a velocidade com que o trator retornará à sua base. O retorno é feito pelos blocos “*Route 13*” e “*Station 17*”. Uma vez na base o trator é liberado (“*Release 8*”) e um sinal (bloco “*Signal*”) libera a entidade que representa a aeronave, pelo bloco “*Wait*” (Figura 72) para o taxiamento até a saída do pátio.

A seguir é anotado o instante de conclusão do serviço de “push-back” (“*Assign 380*”) que é gravado, juntamente com o instante de início, pelo bloco “*ReadWrite 15*”, e a entidade é descartada por “*Dispose 10*”.

Figura 79: Push-back

9.2.2. Sub modelos do atendimento na posição de estacionamento.

Visando uma melhor distribuição, mais clareza e facilidade de visualização dos caminhos percorridos pelas entidades algumas porções do modelo foram encapsuladas em sub modelos. Esses sub modelos referem-se principalmente aos trechos que controlam os atendimentos prestados pelos diversos recursos, à exceção da manutenção e “push-back”, já analisados.

Adotando-se a mesma seqüência do item 9.2.2 serão analisados os seguintes sub modelos: i) da Figura 74: “Escadas”, “Desembarque PAX”, “Abastecimento Combustível”, “Embarque PAX”; ii) da Figura 75: “Descarrega Bagagem”, “Descarrega Carga”, “Carrega Carga” e “Carrega Bagagem”; iii) da Figura 76: “Serv. Agua Esgoto”; iv) e por fim da Figura 77: “Serv. Comissaria”.

a) Sub modelo “Escadas”

O sub modelo que trata das escadas está mostrado na Figura 80.

Nesse sub modelo o bloco “Decide 74” seleciona os vôos categoria C, que são os que utilizam escadas³⁰.

³⁰ As aeronaves de categoria B que operam em Congonhas, em sua grande maioria são dotadas de escadas próprias.

O bloco “Assign 355” anota o instante de requisição das escadas. A entidade é duplicada no bloco “Separate 88” para que represente as escadas de vante e ré. Essa foi a solução adotada para que o desembarque seja feito mesmo que se tenha disponível uma só escada.

Os dois trechos a partir do bloco “Separate 88” são idênticos. A posição que requisita as escadas é informada no bloco “Assign 167” (e “Assign 168”). No bloco “Assign 186” (e “Assign 187”) sorteia-se a velocidade de deslocamento da escada até a posição.

A requisição e deslocamento da escada são comandados pelo bloco “R_escada1” (e “R_escada2”). Não havendo escada disponível o pedido entra numa fila até que uma escada seja liberada.

Uma vez na posição a escada aguarda (bloco “Wait”) até que seja sinalizado o fim da operação de embarque de passageiros (bloco “Signal” da Figura 74). A seguir a escada será liberada no bloco “Free 45” (e “Free 46”) e permanecerá na mesma posição. Isso é feito pois a cada requisição de escada buscar-se-á a que estiver mais próxima da posição requisitante. De fato, é isso o que ocorre no aeroporto. Após a utilização das escadas, estas são movidas para a frente da posição de estacionamento, deixando a área livre para a manobra da aeronave, mas não são levadas a alguma base, pois outro voo poderá utilizar-se destas escadas logo em seguida.

Por fim, o bloco “Assign 356” anota o instante de liberação das escadas e o bloco “ReadWrite 9” grava os instantes de início e término da operação.

A entidade que representa as escadas não será mais necessária e é descartada em “Dispose 79”.

Figura 80: Sub-modelo “Escadas”

b) Sub modelo “Desembarque PAX”

Esse sub modelo (Figura 81) apresenta dois ramos principais: o primeiro, que representa o desembarque por ônibus e o segundo, que representa o desembarque a pé.

O bloco “*Assign 357*” anota o instante de início do desembarque. A seguir o bloco de decisão “*Decide 75*” seleciona os vãos em função da posição que ocupam para desembarque a pé ou por ônibus, conforme mostrado na Tabela 5.

Tomando o ramo do desembarque por ônibus, no bloco “*Separate 89*” a entidade é replicada em função da quantidade de passageiros a serem desembarcados, pela expressão

$$unidades_onibus = ANINT(num_calc_pax/capacidade_onibus)$$

onde:

- *unidades_onibus*: número de ônibus que serão necessários para o desembarque dos passageiros
- *ANINT*: arredonda a expressão para o valor inteiro mais próximo
- *num_calc_pax*: dado pelo número de assentos da aeronave multiplicado pela taxa de ocupação (função da empresa)
- *capacidade_onibus*: capacidade de passageiros do ônibus

A entidade original segue para o bloco “*Batch 78*” onde aguarda o seu agrupamento com entidades replicadas para prosseguir no modelo.

Caso seja necessário que mais de um ônibus atenda a posição, estes seguirão ao mesmo tempo, desde que disponíveis.

O bloco “*Assign 169*” informa a posição que requisita o desembarque e o bloco “*Assign 193*” sorteia a velocidade de deslocamento do ônibus. A requisição e deslocamento são feitos pelo bloco “*R_onibus_desl*”.

O bloco “*Assign 194*” sorteia a taxa de desembarque de passageiros, que multiplicada pelo número de passageiros a serem desembarcados dá o tempo de desembarque. Esse tempo de desembarque é cumprido pelo bloco “*Delay 8*”.

Concluído o desembarque o ônibus deverá levar os passageiros até a sala de desembarque. Isso não impede, entretanto, que outra atividade seja realizada. Por isso o bloco “*Separate 91*” duplica as entidades. Uma segue adiante para representar a atividade seguinte e as outras seguem representando os ônibus em retorno.

As primeiras serão reagrupadas no bloco “*Batch 78*” e no bloco “*Assign 358*” e o instante de conclusão do serviço de desembarque será anotado.

As demais seguem para o bloco “*Assign 196*” onde sorteia-se a velocidade de deslocamento dos ônibus até a sala de desembarque. O bloco “*Move 43*” dá o comando de retorno. No bloco “*Assign 197*” sorteia-se a taxa de desembarque dos passageiros dos ônibus, de modo que um tempo de desembarque seja cumprido no bloco “*Delay 8s*”.

Por fim os ônibus são liberados no bloco “*Free 47*” e as entidades que os representavam são descartadas no bloco “*Dispose 81*”.

No caso do desembarque a pé, representado pelo ramo inferior, o bloco “*Separate 90*” replica a entidade tantas vezes quantos forem os passageiros (“*num_calc_pax*”). O bloco “*Assign 170*” informa a posição de onde saem os passageiros e a sua velocidade de caminamento é sorteada no bloco “*Assign 195*”. O bloco “*Route 15*” move os passageiros da posição de estacionamento até a sala de desembarque, representada pelo bloco “*Station 22*”. As entidades que representam os passageiros são então re-agrupadas, numa única entidade pelo bloco “*Batch 15*” e seguem para a anotação do instante em que o desembarque foi concluído (bloco “*Assign 358*”).

Figura 81: Sub modelo “Desembarque PAX”

c) Sub modelo “Abastecimento Combustível”

Na Figura 82 o bloco “Assign 359” anota o instante da requisição do serviço de abastecimento. O bloco “Assign 171” informa qual a posição que está requisitando o serviço. Em “Assign 222” sorteia-se a velocidade de deslocamento do caminhão de combustível, que é feito pelo bloco “R_combustivel”.

O tempo de abastecimento é sorteado no bloco “Assign 223” e cumprido no bloco “Delay 6”.

Uma vez realizado o serviço, duplica-se a entidade (“Separate 92”) e uma segue no modelo, sendo o instante de término desse serviço anotado por “Assign 360”. A outra entidade continuará representando o caminhão que retornará à sua base. No bloco “Assign 226” sorteia-se a velocidade de retorno. O comando de retorno à base é dado pelo bloco “Move 44” e o tempo de reabastecimento do reservatório de combustível do caminhão é sorteado em “Assign 227” e cumprido em “Delay 6x”. Só então o caminhão estará livre para outra operação de abastecimento (“Free 48”). Isso é feito para que, caso se necessite do caminhão imediatamente após seu retorno à base, considere-se o tempo de reabastecimento do reservatório.

Uma vez liberado o recurso, a entidade pode ser descartada (“Dispose 82”).

Figura 82: Sub-modelo “Abastecimento Combustível”

d) Sub modelo “Embarque PAX”

O sub modelo de embarque de passageiros mostrado na Figura 83 segue exatamente a mesma lógica do sub modelo de desembarque de passageiros, com a diferença de que os passageiros são originados da sala de embarque e serão levados ou caminharão até a posição que requisita o embarque.

Não há, pois, necessidade de uma descrição detalhada deste sub modelo, uma vez que a leitura da descrição do sub modelo de desembarque de passageiros bastará ao seu entendimento.

Figura 83: Sub modelo “Embarque PAX”

e) Sub modelo “Descarrega Bagagem”

No sub modelo de descarregamento de bagagem da Figura 84 vê-se claramente 5 ramos. Cada um desses ramos representa o serviço de descarregamento de uma empresa aérea.

O encaminhamento para o ramo correspondente à empresa é feito pelo bloco de decisão “*Decide 70*”.

Uma vez que cada ramo representa o atendimento a uma empresa, pode-se afirmar que a única diferença entre esses ramos está nos recursos (carros de bagagem) que serão requisitados.

Passa-se então à análise de um desses ramos, o primeiro deles, mostrado à Figura 85.

O primeiro bloco “*Assign 340*” sorteia o número médio de volumes de bagagem que cada passageiro leva (“*bag_por_pax*”).

O bloco “*Separate 44*” calcula quantos carros de bagagem serão necessários, a partir da quantidade de bagagem a ser descarregada, e replica a entidade para representar cada um desses carros de bagagem.

A expressão para a empresa Gol é:

$$\begin{aligned} \text{unidades_bagagem_GLO} = \\ = \text{ANINT}(\text{num_calc_pax} * \text{bag_por_pax} / \text{volbag_por_carro_GLO}) \end{aligned}$$

onde:

- *unidades_bagagem_GLO*: número de carros de bagagem necessários ao descarregamento
- *ANINT*: arredonda a expressão para o valor inteiro mais próximo
- *num_calc_pax*: dado pelo número de assentos da aeronave multiplicado pela taxa de ocupação
- *bag_por_pax*: número de volumes de bagagem por passageiro
- *volbag_por_carro_GLO*: capacidade do carro de bagagem da empresa GLO em número de volumes

A expressão é análoga para cada empresa, mudando-se somente a capacidade do carro de bagagem.

No bloco “*Assign 145*” é informada a posição que requisita os serviços e no bloco “*Assign 265*” sorteia-se a velocidade de deslocamento do carro de bagagem. A requisição dos carros de bagagem e seu deslocamento até a posição são comandados pelo bloco “*R_bagagemIGLO*”.

Em “*Assign 260*” sorteia-se a taxa de descarregamento de bagagem, que multiplicada pela quantidade de bagagem a ser descarregada, resulta no tempo de descarregamento. Esse tempo é cumprido no bloco “*Delay 7GLO*”.

Concluído o embarque da bagagem nos carros de bagagem, estes ainda terão que levá-la à sala de desembarque, mas outro serviço já pode ser iniciado. Por isso o bloco “*Separate 45*” duplica as entidades que representam os carros de bagagem. As originais continuarão representando o retorno dos carros de bagagem. As cópias serão agrupadas no bloco “*Batch 19*”, e seguirão no modelo.

O bloco “*Assign 270*” sorteia a velocidade de retorno dos carros de bagagem e o bloco “*Move 21*” dá o comando de retorno. A taxa de descarga da bagagem é sorteada em “*Assign 275*” para cumprimento do tempo de descarregamento no bloco “*Delay 23GLO*”. Uma vez liberados os carros de bagagem, em “*Free 23*”, as entidades que o representavam são descartadas (“*Dispose 36*”).

Figura 84: Sub modelo “Descarrega Bagagem”

Figura 85: Detalhe do sub modelo “Descarrega Bagagem”

f) Sub modelo “Descarrega Carga”

O sub modelo de descarregamento de carga, mostrado na Figura 86 é bastante semelhante ao sub modelo de descarregamento de bagagem, já analisado.

A principal diferença deste em relação àquele está no cálculo do número de carros de carga necessários.

O bloco “*Separate 56*” mostrado na Figura 87 replica a entidade de acordo com o resultado da expressão abaixo.

$$unidades_carga_GLO = ANINT\{[(num_max_pax - num_calc_pax) * carga_por_espacopax] / volcarga_por_carro_GLO\}$$

onde,

- *unidades_carga_GLO*: número de carros de carga necessários ao descarregamento
- *ANINT*: arredonda a expressão para o valor inteiro mais próximo
- *num_max_pax*: número de assentos da aeronave
- *num_calc_pax*: número de passageiros (número de assentos ocupados)
- *carga_por_espacopax*: quantidade (número de volumes) de carga por assento livre
- *volcarga_por_carro_GLO*: capacidade do carro de carga da empresa Gol

Uma vez que a vocação do aeroporto de Congonhas está no transporte de passageiros, esta expressão busca estimar a quantidade de carga que pode ser levada em função do número de assentos vagos. Assim, considerando-se o peso do passageiro e sua bagagem, pode-se estimar a quantidade de volumes de carga (de aproximadamente 32 Kg) que o substituiria. Convém entretanto notar que o valor de “*carga_por_espacopax*” não é necessariamente o resultado da divisão do peso médio do passageiro mais a sua bagagem pelo peso médio estimado do volume de carga (peso máximo para o volume de bagagem estipulado pela INFRAERO). No valor de “*carga_por_espacopax*” já está computado o fator de aproveitamento do espaço de carga gerado pelos assentos livres, de maneira análoga à taxa de ocupação.

Cumpra também salientar que para a determinação do tempo de descarregamento da aeronave e carregamento dos carros de carga a taxa de descarregamento utilizada (sorteada no bloco “Assign 330” e em “Assign 325”) é diferente da taxa de descarregamento de bagagem.

Figura 86: Sub modelo “Descarrega Carga”

Figura 87: Detalhe do sub modelo “Descarrega Carga”

g) Sub modelo “Carrega Carga”

O sub modelo de carregamento de carga mostrado na Figura 88 segue exatamente a mesma lógica do sub modelo de descarregamento de carga, com a diferença de que a carga é originada na sala de embarque e será levada até a posição de estacionamento.

Não há, pois, necessidade de uma descrição detalhada deste sub modelo, uma vez que a leitura da descrição do sub modelo de descarregamento de carga bastará ao seu entendimento.

Figura 88: Sub modelo “Carrega Carga”

h) Sub modelo “Carrega Bagagem”

O sub modelo de carregamento de bagagem mostrado à Figura 89 segue exatamente a mesma lógica do sub modelo de descarregamento de bagagem, com a diferença de que a bagagem é originada na sala de embarque e será levada até a posição de estacionamento.

Não há, portanto, necessidade de uma descrição detalhada deste sub modelo, uma vez que a leitura da descrição do sub modelo de descarregamento de bagagem basta ao seu entendimento.

Figura 89: Sub modelo “Carrega Bagagem”

i) Sub modelo “Serv. Agua Esgoto”

Nesse sub modelo, apresentado na Figura 90, o bloco “*Assign 372*” anota o instante de requisição do serviço de coleta de esgoto. O bloco “*Seize 13*” aloca o carro de esgoto ou põe a requisição numa fila, no caso de estarem todos os recursos ocupados.

O bloco “*Assign 177*” caracteriza a entidade como carro de esgoto, e o bloco “*Assign 228*” sorteia a velocidade de deslocamento da sua base até a posição de estacionamento da aeronave. O percurso é comandado pelo bloco “*Route 19*” que envia a entidade à posição de estacionamento contida no bloco “*Station 25*”.

Como se trata do serviço de coleta de esgoto o bloco de decisão “*Decide 77*” encaminha a entidade ao ramo superior, que se inicia com o bloco “*Assign 176*” atribuindo uma figura à entidade.

O bloco “*Assign 232*” sorteia o tempo de atendimento, executado pelo bloco “*Delay 102*”. Em “*Assign 178*” nova figura é atribuída à entidade e em “*Assign 230*”

sorteia-se a velocidade de retorno à base. O retorno é feito pelo bloco “*Route 20*” até a base indicada em “*Station 26*”.

No bloco de decisão “*Decide 78*”, como ainda se trata do serviço de esgoto, escolhe-se o ramo superior. O bloco “*Separate 96*” duplica a entidade de modo que uma continuará representando o carro de esgoto na sua operação de alijamento do esgoto, enquanto a outra passará a representar o carro de água.

A primeira entidade segue para o bloco “*Assign 234*” onde se sorteia o tempo de descarregamento do esgoto, que é cumprido pelo bloco “*Delay 34x*”, e a entidade que representa o carro de esgoto já pode ser descartada (“*Dispose 85*”) após sua liberação pelo bloco “*Release 11*”.

A segunda entidade, que passou a representar o carro de água, segue para o bloco “*Assign 373*” onde se anota o instante de conclusão do atendimento pelo carro de esgoto e requisição do serviço de abastecimento de água. O recurso “*carro de abastecimento de água*” é alocado pelo bloco “*Seize 14*”, e a sua identidade atribuída no bloco “*Assign 175*”.

A velocidade de deslocamento do carro de água é sorteada no bloco “*Assign 229*” e o percurso comandado pelo bloco “*Route 17*” da base até a posição de estacionamento, contida em “*Station 25*”. Nesse ponto, por tratar-se agora do serviço de abastecimento de água, o ramo escolhido no bloco “*Decide 77*” será o inferior.

No bloco “*Assign 174*” procede-se atribuição de figura à entidade e no bloco “*Assign 233*” sorteia-se o tempo de abastecimento da aeronave, cumprido em “*Delay 101*”. Após a nova atribuição de figura em “*Assign 179*” é sorteada a velocidade de retorno à base por “*Assign 231*”. Esse retorno é feito pelo bloco “*Route 18*” até a base, representada no bloco “*Station 26*”.

O bloco de decisão “*Decide 78*” levará a entidade ao ramo inferior, e no bloco “*Separate 97*” a entidade é duplicada, de modo que a original continuará representando o re-abastecimento do carro de água, enquanto a cópia seguirá no modelo, pois a operação de abastecimento da aeronave foi concluída nesse instante (que é anotado pelo bloco “*Assign 374*”).

A entidade original seguindo para o bloco “Assign 235” terá nele o tempo de re-abastecimento sorteado. Depois de cumprido esse tempo pelo bloco “Delay 35x” e liberado o recurso em “Release 12” a entidade que representa o carro de abastecimento de água é descartada (“Dispose 86”).

Figura 90: Sub modelo “Serv. Agua Esgoto”

j) Sub modelo “Serv. Comissaria”

O sub modelo do serviço de comissaria mostrado na Figura 91 inicia-se com a duplicação da entidade no bloco “Separate 98”. Isso é feito pois cada aeronave de categoria C será atendida por dois carros de comissaria (um a vante e outro à ré). No ramo inferior que deixa o bloco “Separate 98” existe um bloco “Decide 41 eh cat C” que desvia as entidades que venham de aeronaves categoria B. Essas aeronaves utilizar-se-ão somente de um carro de comissaria e nesse caso, somente o ramo superior atuará, enquanto a entidade do ramo inferior seguirá diretamente para o bloco “Batch 18” de re-agrupamento, para a prosseguir no modelo.

Os blocos “Assign 180” e “Assign 181” que aparecem antes dos blocos de decisão “Decide 80” e “Decide 81” informam a posição que requisita o serviço de comissaria.

Os blocos de decisão “Decide 80” e “Decide 81” separam os grupos que compartilham recursos. Cada ramo que deixa esses blocos é idêntico aos demais, à exceção do recurso alocado. Assim tem-se para o primeiro ramo a alocação dos carros de comissaria que servem às empresas TAM e VARIG, para o segundo ramo a alocação dos carros de comissaria que servem à VASP e no terceiro ramo a alocação dos carros de comissaria que servem às demais empresas.

Passando-se então à análise de um desses ramos, que aplicar-se-á aos demais, a Figura 92 apresenta o bloco “Assign 198” no qual é sorteada a velocidade de deslocamento do carro de comissaria, requisitado e deslocado, caso disponível, para a posição de estacionamento pelo bloco “R_comissariaTV”.

O bloco “Assign 204” sorteia então o tempo de atendimento que é cumprido no bloco “Delay 4”. Uma vez cumprido esse tempo o serviço será considerado completo, e no bloco “Separate 99” a entidade é duplicada, para que possa seguir para o bloco “Batch 18” e continuar no modelo, e para que possa também, representar o carro de comissaria que retorna à sua base e se reabastece.

Esse retorno inicia-se com o sorteio da velocidade de deslocamento no bloco “Assign 210”, e o comando de retorno pelo bloco “Move 46”. O bloco “Assign 216”, por sua vez, sorteia o tempo de re-abastecimento do carro de comissaria, que cumprido no bloco “Delay 4x” libera o carro no bloco “Free 50”, podendo então ser descartada a entidade que o representava em “Dispose 87”.

Figura 91: Sub modelo “Serv. Comissaria”

Figura 92: Detalhe do sub modelo “Serv. Comissaria”

9.3. Animação do modelo

A animação do modelo é feita sobre a foto aérea do aeroporto mostrada na Figura 95. Essa animação também pode ser feita sobre a planta do aeroporto, mostrada na Figura 94.

Para a animação dos diversos recursos, todas as suas possíveis rotas foram traçadas no Arena, e tabelas foram criadas definindo as distâncias associadas a cada uma delas.

As rotas conectam blocos chamados no Arena de “stations” ( ).

A Figura 96 mostra essas rotas sobre a tela de animação.

Figura 93: Modelo completo – Mapa

Figura 94: Fundo animação – planta do pátio

Figura 95: Fundo animação – foto aérea do pátio

Figura 96: Tela animação – rotas de aeronaves e veículos de atendimento

10. ANEXO 3 – DADOS DE ENTRADA

chega como	aeronave	inst chegada (IEPV)	categoria	empresa	tipo perm	num max pax	pos estac pre-des	inst plan part (INFRAERO)	inst part (IEPV)	destino	sai como
HG	B735	528	C	VRG	O	117	13	606	607	SBKP	RSL5444
HG	E145	535	B	VRG	O	50	20	622	622	SBKP	NES5830
HG	E120	540	B	VRG	O	30	18	620	621	SBCH	RSL5400
HG	FK10	558	B	TAM	O	108	21	641	641	SBCT	TAM3370
HG	B733	600	C	VRG	O	132	11	633	633	SBRJ	VRG2401
HG	A319	600	C	TAM	O	122	2	644	645	SBRJ	TAM3900
HG	B735	600	C	VRG	O	117	12	650	645	SBVT	RSL5130
HG	E120	600	B	VRG	O	30	16	648	647	SBMG	RSL5410
HG	B733	600	C	VSP	O	132	4	648	650	SBBH	VSP4130
HG	AT42	600	B	TAM	O	45	23	651	651	SBNL	TAM3320
HG	B735	600	C	VRG	O	117	14	656	657	SBNF	RSL5096
HG	B733	600	C	VRG	O	132	9	702	701	SBRJ	VRG2403
HG	E145	600	B	VRG	O	50	15	703	703	SBLO	RSL5268
HG	B733	600	C	VRG	O	132	10	706	706	SBBR	VRG2500
HG	A320	600	C	TAM	O	150	5	710	707	SBCT	TAM3432
PTLQR	C500	603	A						643	SBRJ	
HG	B735	605	C	VRG	O	117	22	704	704	SBCT	RSL5068
HG	FK10	608	B	TAM	O	108	26	652	652	SBUL	TAM3020
HG	E120	610	B	VRG	O	30	18	712	712	SBJF	RSL5480
HG	A320	610	C	TAM	O	150	3	720	720	SBBR	TAM3522
HG	E145	612	B	VRG	O	50	19	703	700	SBJV	RSL5254
TAM3313	FK10	619	B	TAM	R	108	20	658	700	SBSJ	TAM3210
HG	B737	620	C	GLO	O	136	24	705	705	SBBR	GLO1770
HG	B733	630	C	VRG	O	132	11	730	728	SBRJ	VRG2405
TAM3239	AT42	631	B	TAM	R	45	25	723	723	SDCO	PTN4740
TAM3555	A319	634	C	TAM	T	122				SBRP	HG
HG	B735	635	C	VRG	O	117	16	745	744	SBBH	RSL5102
TAM3431	FK10	643	B	TAM	R	108	17	718	718	SBBU	TAM3538
RSL5163	B735	649	C	VRG	R	117	13	804	804	SBGL	RSL5164
HG	A320	700	C	TAM	O	150	23	750	746	SBBR	TAM3518
HG	B733	700	C	TBA	O	132	9	812	813	SBRJ	TBA1304
TAM3901	A319	703	C	TAM	R	122	1	742	741	SBRD	TAM3400
PTOZR	BE90	707	A							SBBR	
PTLYU	BE58	718	A							SDLP	
PTB1450	E120	720	B	VRG	P	30	21	749	720	SBRP	PTB1450
VRG2400	B733	721	C	VRG	R	132	10	802	806	SBRJ	VRG2407
TAM3529	FK10	724	B	TAM	R	108	15	759	759	SBAU	TAM3542
TAM3405	A319	725	C	TAM	R	122	2	815	815	SBRJ	TAM3904
PTLLU	C500	728	A							SSYA	
PTYZB	EC35	729	A							SBMT	
RSL5257	E145	731	B	VRG	R	50	19	924	923	SBJ?	RSL5330
PTORG	BE90	731	A						1038	SNFE	PTORG
PTHVW	ZZZZ	732	A							QAF	
VRG2402	B733	734	C	VRG	R	132	5	831	831	SBRJ	VRG2409
TAM3415	FK10	736	B	TAM	R	108	18	820	821	SBRP	TAM3412
TAM3541	FK10	737	B	TAM	R	108	17	817	816	SBSR	TAM3100

chega como	aeronave	inst chegada (IEPV)	categoria	empresa	tipo perm	num max pax	pos estac pre-des	inst plan part (INFRAERO)	inst part (IEPV)	destino	sai como
TAM3539	FK10	739	B	TAM	R	108	16	809	808	SBUL	TAM3930
TAM3219	FK10	742	B	TAM	R	108	26	928	929	SBCT	TAM3252
TAM3231	FK10	744	B	TAM	R	108	25	827	828	SBFL	TAM3051
RSL5083	B735	744	C	VRG	R	117	14	916	917	SBCT	RSL5090
TAM3533	A320	748	C	TAM	R	150	1	838	838	SBBR	TAM3216
TAM3057	FK10	749	B	TAM	R	108	20	833	834	SBFL	TAM3030
RSL7003	B737	751	C	VRG	T	132				SBRJ	HG
TAM3561	FK10	753	B	TAM	R	108	21	839	840	SBLO	TAM3220
FAB2714	LJ35	755	A							SBBR	
PTLTO	BE90	757	A						1808	SBJF	PTLTO
RSL5000	B735	758	C	VRG	R	117	12	829	829	SBRJ	RSL5070
RSL5119	B735	801	C	VRG	R	117	11	842	842	SBBH	RSL5104
TAM3213	A320	803	C	TAM	R	150	3	844	843	SBBH	TAM3520
GLO1600	B737	805	C	GLO	P	136	23	904	805	SBFL	GLO1600
PTVKZ	PA34	808	A							SSZW	
TAM3903	A319	810	C	TAM	R	122	2	855	855	SBRJ	TAM3506
TAM3325	AT42	810	B	TAM	R	45	22	858	858	SBML	PTN4750
TAM3001	FK10	814	B	TAM	R	108	15	852	852	SBCT	TAM3580
VRG2404	B733	817	C	VRG	R	132	9	853	853	SBRJ	VRG2411
GLO1741	B737	818	C	GLO	R	136	24	908	909	SBBR	GLO1720
RSL5002	B733	823	C	VRG	R	132	10	907	908	SBRJ	RSL5003
RSL5155	B735	826	C	VRG	T	117	13	900	900	SBUL	HG
TAM3051	FK10	828	B	TAM	R	108	25	827	744	SBBU	TAM3231
TAM3905	A319	829	C	TAM	R	122	1	922	919	SBRJ	TAM3906
TAM3472	FK10	830	B	TAM	R	108	16	902	903	SBNF	TAM3471
TAM3058	FK10	832	B	TAM	R	108	17	921	922	SBGO	TAM3214
TAM3058	FK10	832	B	TAM	R	108	17	921	922	SBCT	TAM3214
GLO1601	B737	834	C	GLO	P	136	5	914	834	SBGL	GLO1601
TAM3551	FK10	836	B	TAM	R	108	20	918	911	SBCX	TAM3280
TAM3281	FK10	838	B	TAM	R	108	18	905	905	SBVT	TAM3230
RSL5189	B735	841	C	VRG	R	117	12	920	926	SBBR	NES5704
PTOZL	BE90	843	A						1016	SBBU	PTOZL
TAM3086	FK10	844	B	TAM	R	108	21	920	920	SBCT	TAM3430
PTRUM	PA34	847	A							SBMT	
FAB2116	B737	848	C	FAB	P	132			848	SBBR	FAB2116
VRG2406	B733	850	C	VRG	R	132	9	933	933	SBRJ	VRG2413
PTWVH	C560	852	A						1010	SDAG	PTWVH
RSL5069	B735	853	C	VRG	T	117	11	935	935	SBCT	HG
RSL5121	B735	857	C	VRG	R	117	15	950	949	SBBH	RSL5150
VSP4131	B733	858	C	VSP	R	132	4	936	936	SBBH	VSP4006
TAM3981	A319	901	C	TAM	R	122	2	947	947	SBRJ	TAM3908
RSL5095	B735	905	C	VRG	R	117	16	1224	1214	SBLO	RSL5168
TAM3021	FK10	910	B	TAM	R	108	18	943	943	SBUL	TAM3560
PTN4741	AT42	913	B	TAM	R	45	21	1005	959	SBJF	TAM3494
RSL9000	B735	918	C	VRG	R	117	14	1133	1133	SBPA	RSL5140
TAM3211	FK10	926	B	TAM	R	108	17	1001	1000	SBBH	TAM3526

chega como	aeronave	inst chegada (IEPV)	categoria	empresa	tipo perm	num max pax	pos estac pre-des	inst plan part (INFRAERO)	inst part (IEPV)	destino	sai como
TAM3211	FK10	926	B	TAM	R	108	17	1001	1000	SBBH	TAM3526
TAM3401	A319	928	C	TAM	R	122	1	1021	1022	SBRJ	TAM3982
TAM3008	A320	940	C	TAM	R	150	2	1018	1018	SBCT	TAM3530
RSL5411	E120	941	B	VRG	R	30	19	1023	1023	SBMG	RSL5453
RSL5131	B735	944	C	VRG	R	117	10	1059	1059	SBUT	RSL5166
FAB2126	HS25	947	A							SBGR	
VRG2408	B733	950	C	VRG	R	132	5	1033	1033	SBRJ	VRG2415
VSP4007	B733	952	C	VSP	R	132	4	1051	1051	SBRJ	VSP4152
VSP4151	B733	954	C	VSP	R	132	9	1045	1044	SBBR	VSP4008
TAM3983	A319	956	C	TAM	R	122	3	1054	1054	SBRJ	TAM3910
RSL5481	E120	959	B	VRG	R	30	18	1204	1204	SBJF	RSL5442
GLO1721	B737	1000	C	GLO	R	136	21	1049	1049	SBBH	GLO1610
TAM3587	FK10	1002	B	TAM	R	108	15	1041	1041	SBIL	TAM9040
TAM3413	FK10	1003	B	TAM	R	108	20	1038	1038	SBRP	TAM9002
RSL5401	E120	1005	B	VRG	T	30	22	1035		SBCH	HG
RSL5103	B735	1008	C	VRG	R	117	11	1052	1052	SBBH	RSL5106
TAM3101	FK10	1009	B	TAM	R	108	17	1116	1116	SBCT	TAM3372
PTVLU	PA34	1011	A							SBCA	
NES5735	B735	1012	C	VRG	R	117	13	1117	1117	SBRJ	NES5732
TBA1307	B735	1013	C	TBA	R	117	12	1056	1056	SBRJ	TBA1310
PTOCZ	LJ35	1016	A							SBBR	
VSP4009	B733	1018	C	VSP	R	132	23	1102	1101	SBRJ	VSP4010
PTWUY	BE36	1019	A							SDPW	
PPTET	C525	1021	A							SBRJ	
VRG2412	B733	1022	C	VRG	R	132	5	1106	1107	SBRJ	VRG2419
TAM3907	A319	1025	C	TAM	R	122	1	1119	1119	SB?G	TAM3504
RSL5139	B735	1027	C	VRG	R	117	19	1212	1212	SBNF	RSL5050
TAM3221	FK10	1029	B	TAM	R	108	26	1104	1104	SBG?	TAM3534
RSL5071	B735	1031	C	VRG	R	117	25	1207	1208	SBCT	RSL5108
TAM3557	AT42	1034	B	TAM	R	45	24	1313	1313	SBML	PTN4786
TAM9003	FK10	1036	B	TAM	R	108	22	1114	1114	SBVT	TAM3250
VRG2414	B733	1040	C	VRG	R	132	4	1135	1135	SBRJ	VRG2421
NES5831	E145	1043	B	VRG	R	50	20	1151	1151	SBLO	RSL5260
TAM3455	FK10	1046	B	TAM	R	108	21	1158	1158	SBBH	TAM3584
PPCFE	DA22	1047	A							SBGR	
TAM3521	A320	1049	C	TAM	R	150	2	1125	1125	SBBR	TAM3348
TAM3403	A319	1058	C	TAM	R	122	3	1147	1147	SBRJ	TAM3912
RSL5105	B735	1104	C	VRG	R	117	10	1203	1203	SBBH	RSL5136
RSL5255	E145	1106	B	VRG	R	50	15	1157	1157	SBJV	RSL5144
PTVZB	EC35	1109	A							SDHB	
PTOAS	BE58	1110	A							SBGR	
PTWXH	BE90	1111	A						2001	SBBR	PTWXH
VRG2416	B733	1112	C	VRG	R	132	9	1210	1210	SBRJ	VRG2429
RSL9001	B735	1121	C	VRG	T	117	11	1246	1246	SBGL	HG
TAM3909	A319	1132	C	TAM	R	122	1	1229	1230	SBRJ	TAM3502
PTLPZ	C500	1135	A						1411	SBRP	

chega como	aeronave	inst chegada (IEPV)	categoria	empresa	tipo perm	num max pax	pos estac pre-des	inst plan part (INFRAERO)	inst part (IEPV)	destino	sai como
VSP4011	B733	1139	C	VSP	R	132	4	1225	1215	SBRJ	VSP4012
TAM3253	FK10	1142	B	TAM	R	108	17	1213	1213	SBBH	TAM3566
RSL5097	B735	1143	C	VRG	R	117	12	1651	1651	SBNF	RSL5262
RSL5165	B735	1145	C	VRG	R	117	13	1234	1233	SBBR	RSL5076
TAM3371	A320	1148	C	TAM	R	150	2	1235	1235	SBCT	TAM3042
PTIRQ	PA34	1148	A							ZZZZ	
VRG2418	B733	1151	C	VRG	R	132	5	1231	1231	SBRJ	VRG2423
TAM3417	FK10	1152	B	TAM	R	108	14	1236	1236	SBRP	TAM3011
PTLBC	PA34	1153	A							SBBU	
TAM3911	A319	1155	C	TAM	R	122	3	1249	1249	SBRJ	TAM3986
PTODU	BE36	1158	A							SDJL	
PTWHC	BE90	1202	A							SBRT	
PTWVH	C560	1209	A						1620	SBSR	PTWVH
PTN4751	AT42	1211	B	TAM	R	45	23	1257	1257	SBML	TAM3326
RSL5269	E145	1215	B	VRG	R	50	20	1255	2255	SBLO	RSL9003
TAM3953	A320	1217	C	TAM	R	150	21	1358	1359	SBBR	TAM3954
PTXLR	LJ45	1220	A							SBNT	
GLO1761	B737	1222	C	GLO	R	136	4	1258	1258	SBGL	GLO1772
VSP4013	B733	1223	C	VSP	R	132	9	1300	1301	SBRJ	VSP4132
HG	FK10	1225	B	TAM	O	108	26	1321	1321	SBIL	TAM3350
PTFIC	PA34	1225	A							SNFU	
TAM3987	A319	1229	C	TAM	R	122	1	1317	1317	SBRJ	TAM3988
VRG2420	B733	1230	C	VRG	R	132	5	1311	1310	SBRJ	VRG2425
TAM3233	FK10	1233	B	TAM	R	108	16	1312	1312	SBJV	TAM3460
TAM3535	FK10	1236	B	TAM	R	108	17	1320	1320	SBKP	TAM3282
TBA1313	B733	1238	C	TBA	R	132	10	1319	1318	SBRJ	TBA1316
PTVNM	PA34	1242	A							SDFX	
TAM3031	FK10	1244	B	TAM	R	108	18	1326	1326	SBC?	TAM3261
VSP4015	B733	1245	C	VSP	R	132	3	1325	1325	SBRJ	VSP4014
HG	E120	1245	B	VRG	O	30	25	1340	1340	SBTD?	RSL5420
RSL9015	B737	1247	C	VRG	T	132				SBRJ	HG
TAM3439	FK10	1248	B	TAM	R	108	15	1333	1336	SBBU	TAM3374
TAM3050	FK10	1254	B	TAM	R	108	22	1345	1345	SBFL	TAM3053
PTHLU	ZZZZ	1254	A							QAP	
VRG2422	B733	1256	C	VRG	T	132	4	1355	1355	SBRJ	HG
HG	B737	1300	C	VRG	O	132	14	1400	1400	SBNF	RSL5098
TAM3553	A319	1301	C	TAM	R	122	2	1350	1348	SBRJ	TAM3914
RSL5107	B735	1305	C	VRG	R	117	13	1406	1407	SBBH	RSL5110
TAM3075	AT42	1308	B	TAM	R	45	23	1354	1354	SBBR	PTN4704
VRG2424	B737	1311	C	VRG	R	132	9	1351	1351	SBRJ	VRG2427
TAM3014	A320	1315	C	TAM	R	150	1	1438	1440	SBGR	TAM3378
TAM3499	AT42	1316	B	TAM	R	45	24	1417	1418	SBJF	TAM3498
PTNTY	PA28	1319	A							SBMT	
RSL9030	E145	1321	B	VRG	T	50				SBCT	HG
RSL5091	B735	1323	C	VRG	R	117	11	1555	1557	SBCT	RSL5182
RSL5443	E120	1326	B	VRG	R	30	20	1407	1408	SBFL	RSL5435

chega como	aeronave	inst chegada (IEPV)	categoria	empresa	tipo perm	num max pax	pos estac pre-des	inst plan part (INFRAERO)	inst part (IEPV)	destino	sai como
TAM3989	A319	1328	C	TAM	R	122	3	1416	1417	SBRJ	TAM3916
N541CV	C500	1328	A							SBBH	
TAM3262	FK10	1330	B	TAM	R	108	17	1419	1421	SBNF	TAM3516
TAM3283	FK10	1333	B	TAM	R	108	18	1421	1422	SBLO	TAM3544
PTIPR	PA31	1334	A							SBRP	
TAM3459	FK10	1337	B	TAM	R	108	16	1414	1414	SBBH	TAM3232
RSL5434	E120	1338	B	VRG	T	30	19	1405	1405	SBST	HG
GLO1602	B737	1339	C	GLO	P	136	5	1431	1339	SBFL	GLO1602
RSL5157	B735	1341	C	VRG	R	117	10	1519	1520	SBGO	RSL5055
TAM9821	FK10	1343	B	TAM	R	108	15	1435	1436	SBKP	TAM9820
VRG2426	B733	1345	C	VRG	R	132	9	1433	1434	SBRJ	VRG2431
TAM3549	FK10	1347	B	TAM	R	108	22	1505	1506	SBUL	TAM3536
TAM3375	FK10	1350	B	TAM	R	108	25	1507	1509	SBCT	TAM3254
TAM3503	A319	1353	C	TAM	R	122	2	1447	1448	SBRJ	TAM3552
TAM9525	FK10	1357	B	TAM	T	108	26	1440	1440	SBKP	HG
RSL5421	E120	1403	B	VRG	T	30	20	1441	1441	SDTD	HG
VSP4153	B733	1405	C	VSP	R	132	13	1529	1530	SBBR	VSP4154
VSP4019	B733	1412	C	VSP	R	132	4	1503	1502	SBRJ	VSP4018
PTWJS	BE90	1415	A						1426	SBPA	PTWJS
RSL5167	B735	1419	C	VRG	R	117	14	1522	1523	SBBR	RSL5180
RSL5077	B735	1423	C	VRG	R	117	16	1606	1607	SBCT	RSL5112
PTWOV	C172	1427	A							SBMT	
TAM3913	A319	1430	C	TAM	R	122	1	1514	1515	SBRJ	TAM3500
RSL5006	B735	1434	C	VRG	R	117	9	1517	1517	SBRJ	RSL5007
RSL5109	B735	1437	C	VRG	R	117	16	1640	1641	SBBH	RSL5078
VRG2428	B733	1442	C	VRG	R	132	5	1532	1533	SBRJ	VRG2435
TAM3955	A320	1449	C	TAM	R	150	2	1612	1608	SBBR	TAM3952
PTLVD	?	1450	A							SBRJ	
TAM3543	FK10	1453	B	TAM	R	108	17	1538	1528	SBLO	TAM3438
TAM3505	A319	1456	C	TAM	R	122	3	1545	1546	SBRJ	TAM3990
TBA1319	B733	1459	C	TBA	R	132	4	1534	1535	SBRJ	TBA1322
HG	AT42	1500	B	TAM	O	45	23	1614	1616	SBSR	TAM3074
PTRAA	PA38	1500	A							SDIH	
RSL5453	E120	1507	B	VRG	R	30	20	1811	1811	SBLJ	RSL5402
GLO1771	B737	1512	C	GLO	R	136	26	1616	1617	SBBR	GLO1722
TAM3105	FK10	1513	B	TAM	R	108	18	1542	1543	SBCT	TAM9004
TAM3517	FK10	1516	B	TAM	R	108	14	1635	1637	SBSR?	TAM9660
VRG2430	B733	1519	C	VRG	R	132	9	1603	1611	SBRJ	VRG2437
PTOMD	C650	1521	A							SBKP	
VSP4133	B733	1524	C	VSP	R	132	10	1613	1614	SBBH	VSP4134
TAM3461	FK10	1526	B	TAM	R	108	12	1603	1603	SBBH	TAM3376
VSP4021	B733	1531	C	VSP	R	132	4	1625	1625	SBRJ	VSP4020
TAM3991	A319	1534	C	TAM	R	122	1	1622	1622	SBRJ	TAM3918
PTLQR	C500	1536	A							SBPA	
TAM3377	FK10	1539	B	TAM	R	108	18	1628	1629	SBCT	TAM3288
RSL5169	B735	1541	C	VRG	R	117	13	1829	1829	SBBR	RSL5142

chega como	aeronave	inst chegada (IEPV)	categoria	empresa	tipo perm	num max pax	pos estac pre-des	inst plan part (INFRAERO)	inst part (IEPV)	destino	sai como
PTLYO	BE58	1545	A							SDLP	
PTOSO	BE90	1547	A						2054	SBRJ	PTOSO
FAB2113	B737	1550	C	FAB	R	132			1659	SBUR	FAB2115
GLO1723	B737	1554	C	GLO	R	136	5	1633	1634	SBBH	GLO1760
RSL5137	B735	1555	C	VRG	R	117	11	1703	1703	SBCX	RSL5092
RSL5333	E145	1558	B	VRG	R	50	19	1639	1702	SBSR	NES5832
HG	B735	1600	C	VRG	O	117	25	1654	1655	SBGO	RSL5156
GLO1603	B737	1602	C	GLO	P	136	3	1653	1602	SBGL	GLO1603
PTOVU	C650	1604	A							SBFL	
VRG2432	B733	1607	C	VRG	R	132	9	1657	1657	SBRJ	VRG2439
PTVGU	PA34	1607	A							SDCO	
RSL5261	E145	1610	B	VRG	R	50	17	1706	1700	SBLO	RSL5246
TAM3915	A319	1613	C	TAM	R	122	2	1645	1646	SBRJ	TAM3920
RSL5141	B735	1615	C	VRG	R	117	10	1715	1716	SBJV	RSL5184
TAM3351	FK10	1619	B	TAM	R	108	15	1652	1653	SBIL	TAM3548
VRG2434	B733	1621	C	VRG	R	132	4	1707	1708	SBRJ	VRG2441
TAM3043	A320	1624	C	TAM	R	150	1	1704	1705	SBBH	TAM3456
RSL5051	B735	1628	C	VRG	R	117	18	1730	1731	SBRP	RSL5114
TAM3917	A319	1631	C	TAM	R	122	22	1713	1713	SBRJ	TAM3998
RSL5111	B735	1633	C	VRG	R	117	14	1900	1909	SBBH	RSL5080
TAM9041	FK10	1643	B	TAM	R	108	16	1717	1718	SBTC?	TAM3222
VRG2438	B733	1647	C	VRG	R	132	5	1735	1736	SBRJ	VRG2445
PTEHL	PA31	1650	A							SBRP	
RSL5145	E145	1652	B	VRG	R	50	19	1753	1753	SBMG	RSL5278
VSP4025	B733	1656	C	VSP	R	132	9	1738	1738	SBRJ	VSP4024
HG	FK10	1701	B	TAM	O	108	26	1748	1749	JBCX	TAM3032
TAM3323	AT42	1709	B	TAM	R	45	22	1745	1746	SBML	TAM3556
RSL5008	B735	1721	C	VRG	R	117	4	1814	1815	SBRJ	RSL5009
TAM3531	A320	1723	C	TAM	R	150	1	1801	1801	SBBR	TAM3532
TAM9005	FK10	1724	B	TAM	R	108	17	1807	1807	SBVT	TAM3418
TAM3016	FK10	1727	B	TAM	R	108	16	1804	1804	SBCT	TAM3015
HG	E120	1730	B	VRG	O	30	23	1823	1824	SBJF?	RSL5482
PTIIQ	LJ25	1730	A							LCL	
TBA1325	B733	1732	C	TBA	R	132	5	1822	1822	SBRJ	TBA1328
TAM3565	FK10	1735	B	TAM	R	108	18	1818	1818	SBLO	TAM3022
TAM3919	A319	1737	C	TAM	R	122	2	1815	1840	SBRJ	TAM3406
NES5733	B735	1741	C	VRG	R	117	10	1922	1924	SBIL	NES5734
PTVOU	PA34	1744	A							SBST	
PTWUM	C750	1746	A							SBRJ	
TAM3052	FK10	1748	B	TAM	R	108	15	1848	1848	SBFL	TAM3462
PTOVZ	LJ31	1751	A							SBPA	
TAM3215	FK10	1752	B	TAM	R	108	19	1858	1858	SBCT	TAM3108
VRG2440	B733	1756	C	VRG	R	132	9	1900	1900	SBRJ	VRG2447
RSL5055	B735	1758	C	VRG	R	117	11	1913	1913	SBJV	RSL5116
HG	E120	1800	B	VRG	O	30	24	1842	1842	SBLJ	RSL5450
TAM3937	FK10	1801	B	TAM	R	108	16	1911	1912	SBBH	TAM3087

chega como	aeronave	inst chegada (IEPV)	categoria	empresa	tipo perm	num max pax	pos estac pre-des	inst plan part (INFRAERO)	inst part (IEPV)	destino	sai como
TAM3929	A319	1803	C	TAM	R	122	1	1920	1920	SBRJ	TAM3994
PTMEV	PA31	1811	A							SDOI?	
GLO1611	B737	1818	C	GLO	R	136	21	1952	1953	SBEL	GLO1726
VSP4027	B733	1822	C	VSP	R	132	4	1929	1929	SBRJ	VSP4026
VRG2442	B733	1826	C	VRG	R	132	5	1925	1926	SBRJ	VRG2449
PTJDV	C310	1828	A							SDPW	
TAM3537	FK10	1832	B	TAM	R	108	20	1930	1931	SBUL	TAM3464
PTMJC	C650	1835	A							SBJR	
VSP4135	B733	1836	C	VSP	R	132	12	1933	1933	SBBH	VSP4136
RSL5113	B737	1839	C	VRG	R	132	18	2000	1942	SBBH	RSL5186
TAM3585	FK10	1840	B	TAM	R	108	18	2000	2001	SBRP	TAM3044
PTN4787	AT42	1843	B	TAM	R	45	22	1935	1934	SBML	TAM3324
TAM3921	A319	1845	C	TAM	R	122	2	1938	1939	SBRJ	TAM3922
TAM3479	FK10	1847	B	TAM	R	108	26	2044	2046	SBBU	TAM3284
RSL5263	B735	1850	C	VRG	R	117	11	1943	1943	SBLO	RSL5264
PTLLU	C550	1852	A							SBKP	
TAM3476	FK10	1853	B	TAM	R	108	17	1958	1959	SBNF	TAM3554
RSL5181	B735	1856	C	VRG	R	117	14	2018	2019	SBBR	RSL5132
VSP4155	B733	1857	C	VSP	R	132	16	2011	2012	SBBR	VSP4156
PTRAA	PA34	1901	A							SBGL	
RSL5079	B735	1904	C	VRG	R	117	10	2225	2212	SBUL	RSL5154
TAM3519	A320	1906	C	TAM	R	150	1	2003	2003	SBBR	TAM3007
VRG2444	B733	1908	C	VRG	R	132	9	1959	1955	SBRJ	VRG2451
TAM3407	A319	1911	C	TAM	R	122	3	2014	2015	SBRJ	TAM3924
PTMMC	BE30	1913	A						2007	SBCT	PTMMC
RSL5183	B735	1916	C	VRG	R	117	19	2102	2101	SBRJ	RSL5011
TAM9661	FK10	1918	B	TAM	R	108	20	2136	2117	SBCT	TAM3017
TAM3217	FK10	1920	B	TAM	R	108	23	2024	2025	SBCT	TAM3059
PTJQM	C750	1923	A							SBRJ	
PTLPL	C500	1924	A							SBRP	
TAM3223	A320	1926	C	TAM	R	150	24	2024	2029	SBCT	TAM3208
TAM3525	A320	1928	C	TAM	R	150	2	2031	2030	SBBR	TAM3218
PTWDF	HS25	1931	A							SBRJ	
TAM3497	AT42	1933	B	TAM	R	45	22	2107	2107	SBJF	TAM3496
TAM3463	A320	1935	C	TAM	R	150	22	2102	2103	SBBH	TAM3524
VRG2446	B733	1938	C	VRG	R	132	5	2027	2028	SBRJ	VRG2453
VSP4031	B732	1941	C	VSP	R	122	4	2048	2048	SBRJ	VSP4030
PTEQB	PA31	1944	A							SDCO	
TAM3527	FK10	1946	B	TAM	R	108	18	2059	2058	SBSR	TAM3546
TAM3995	A319	1948	C	TAM	R	122	25	2049	2050	SBRJ	TAM3996
TAM3419	FK10	1950	B	TAM	R	108	17	2047	2046	SBRP	TAM3478
TAM3235	FK10	1953	B	TAM	R	108	16	2100	2100	SBJV	TAM35??
TAM3285	FK10	1954	B	TAM	R	108	13	2048	2048	SBVT	TAM3586
TAM3523	A320	1957	C	TAM	R	150	3	2051	2051	SBBR	TAM3110
TAM3545	FK10	1958	B	TAM	R	108	14	2118	2118	SBLO	TAM3540
HG	B733	2000	C	VRG	O	132	15	2052	2052	SBRJ	VRG2455

chega como	aeronave	inst chegada (IEPV)	categoria	empresa	tipo perm	num max pax	pos estac pre-des	inst plan part (INFRAERO)	inst part (IEPV)	destino	sai como
PTN4705	AT42	2005	B	TAM	R	45	23	2105	2105	SBGV	PTN4742
PTOLQ	BE90	2006	A						2144	SBRP	PTOLQ
RSL5099	B735	2008	C	VRG	R	117	11	2128	2147	SBCT	RSL5082
TAM3547	FK10	2009	B	TAM	R	108	24	2157	2109	SBJV	TAM3234
VRG2450	B733	2011	C	VRG	R	132	9	2103	2103	SBRJ	VRG2457
RSL5115	B735	2014	C	VRG	R	117	12	2116	2100	SBBR	RSL5188
PTOSM	C550	2017	A							SBBR	
TAM3409	A319	2021	C	TAM	R	122	2	2142	2142	SBRJ	TAM340?
TBA1331	B733	2023	C	TBA	R	132	5	2136	2136	SBRJ	TBA1334
PTWLY	C650	2024	A							SBRP	
RSL5153	B735	2027	C	VRG	R	117	25	2146	2146	SBUL	RSL5??8
RSL5010	B735	2029	C	VRG	R	117	4	2147	2147	SBRJ	RSL5?11
PTEDE	PA31	2032	A							SBBU	
PTECI	PA34	2037	A							SBGW	
PTISF	PA34	2038	A							SBAQ	
RSL5185	B735	2040	C	VRG	R	117	17	2210	2141	SBLO	RSL5094
RSL5279	E145	2043	B	VRG	T	50	26	2120	2120	SBMG	HG
TAM3023	FK10	2044	B	TAM	R	108	3	2145	2120	SBFL	TAM3056
PTEVK	PA34	2051	A							SBFC	
PTWLB	BE55	2053	A							SBHL	
TAM3997	A319	2056	C	TAM	R	122	3	2135	2115	SBRJ	TAM3926
PTRDR	PA31	2057	A							SBRP	
PTNLB	BE55	2101	A							SBML	
TAM3010	FK10	2102	B	TAM	T	108		2101		SBCT	HG
PPPPA	D90	2105	A							SBBH	
TAM3223	A319	2108	C	TAM	R	122			2223	SBRJ	TAM3928
PTRDR	PA31	2110	A							SBKP	
GLO1773	B737	2113	C	GLO	R	136	22	2222	2215	SBBR	GLO1740
RSL5081	B735	2115	C	VRG	R	117	11	2218	2207	SBCT	RSL5120
NES5833	E145	2117	B	VRG	T	50				SBIO	HG
RSL5093	B735	2119	C	VRG	T	117	13	2308	2308	SBCX	HG
VRG2501	B737	2121	C	VRG	T	132				SBBR	HG
PTWNM	BE58	2123	A							SBAV	
GLO1605	B737	2126	C	GLO	P	136	21	2220	2126	SBGL	GLO1605
GLO1604	B737	2128	C	GLO	P	136	23	2235	2128	SBFL	GLO1604
TAM3411	A320	2130	C	TAM	T	150	1	2113		SBBR	PERNOITE
TAM3321	AT42	2132	B	TAM	R	45	25	2235	2205	SBML	TAM3238
VRG2454	B737	2134	C	VRG	R	132	9	2232	2216	SBRJ	VRG2461
TAM3012	A320	2137	C	TAM	T	150	3	2134		SBCT	PERNOITE
NES5705	B737	2138	C	VRG	T	132	12	2305	2305	SBBR	HG
TAM3925	A319	2140	C	TAM	R	122	2	2244	2213	SBRJ	TAM3558
RSL5117	B735	2142	C	VRG	R	117	12	2228	2224	SBBH	RSL5138
RSL5403	E120	2143	B	VRG	T	30	18	2241	2241	SBCH	HG
VSP4137	B737	2146	C	VSP	R	132		2141	2218	SBBH	VSP4036
PTVOV	PA31	2149	A							SBRJ	
RSL5445	B737	2151	C	VRG	R	132		2212	2240	SBKP	RSL5162

chega como	aeronave	inst chegada (IEPV)	categoria	empresa	tipo perm	num max pax	pos estac pre-des	inst plan part (INFRAERO)	inst part (IEPV)	destino	sai como
RSL5265	E145	2153	B	VRG	R	50	19	2255	2255	SBLO	RSL5??2
TAM3255	FK10	2155	B	TAM	T	108		2230		SBBH	HG
VRG2456	B735	2157	C	VRG	R	117	5	2307	2307	SBRJ	VRG9490
NES5737	B737	2159	C	VRG	T	132	11	2310	2310	SBKP	HG
RSL5143	B735	2202	C	VRG	T	117	16	2320	2320	SBJV	HG
TAM3927	A319	2204	C	TAM	T	122	24	2205	2205	SBRJ	PERNOITE
RSL5133	B735	2208	C	VRG	T	117	11	2335	2335	SBVT	HG
TAM3033	FK10	2209	B	TAM	R	108	6	2241	2241	SBCX	TAM3???
RSL5187	B735	2211	C	VRG	T	117	14	2330	2330	SBBR	HG
VRG2458	B733	2218	C	VRG	T	132	9	2323	2323	SBRJ	HG
PTN4743	AT42	2223	B	TAM	T	45	26	2220	2220	SBUL?	HG
VSP4037	B733	2223	C	VSP	T	132	5	2335	2335	SBRJ	HG
VSP9505	A300	2226	C	VSP	T	250				SBGL	HG
TAM3567	FK10	2229	B	TAM	T	108	21	2319	2320	SBKP	HG
TAM3999	A319	2231	C	TAM	T	122	1	2233		SBRJ	PERNOITE
TAM3045	FK10	2232	B	TAM	T	108	2	2335	2335	SBBR	HG
TAM3111	A320	2235	C	TAM	T	150	13	2228		SBCT	PERNOITE
TBA1337	B735	2238	C	TBA	T	117	12	2335	2335	SBRJ	HG
RSL5483	E120	2240	B	VRG	T	30	14	2153	2153	SBJF	HG
TAM3379	FK10	2242	B	TAM	T	108	3	2335	2335	SBCT	HG
GLO1727	B737	2244	C	GLO	T	136	23			SBBH	PERNOITE
VSP4039	B733	2246	C	VSP	T	132	13	2340	2340	SBRJ	HG
VRG2460	B737	2249	C	VRG	T	132		2249		SBRJ	HG
TAM3465	FK10	2250	B	TAM	R	108	4	2309	2245	SBSJ	TAM3112
RSL5451	E120	2253	B	VRG	T	30	17	2250	2250	SBLJ	HG
RSL9003	B735	2255	C	VRG	T	117	14	2246	2246	SBGL	HG
	PA34		A						608	SBGR	PTEFX
	BE58		A						625	SBAU	PTWNM
	BE58		A						627	SBML	PTWLB
	PA34		A						632	SBAG	PTISF
	PA31		A						635	SBBU	PTEDE
	PA34		A						636	SBFL	PTEVK
HG	B737		C	VRG	O	132			640	SBRP	NES5731
	PA34		A						653	SBDN	PTVEZ
	PA31		A						654	SBRP	PTRDR
	PA41		A						711	SBSR	PTOLF
	PA34		A						713	SBGW	PTECI
	PA31		A						714	SBCO	PTEQB
	BE30		A						717	SBCY	PTWYD
TAM3559	A319		C	TAM	R	122	21	726	727	SBRJ	TAM3902
	PA50		A						734	SBBH	PPPMV
HG	B737		C	VRG	O	132			736	SBRJ	VRG7002
	BE30		A						738	SBT?	PTMMC
	C650		A						818	SBBT	PTOMV
HG	B737		C	VSP	O	132			825	SBRJ	VSP4000
	C550		A						832	SBSV	PTLLU

chega como	aeronave	inst chegada (IEPV)	categoria	empresa	tipo perm	num max pax	pos estac pre-des	inst plan part (INFRAERO)	inst part (IEPV)	destino	sai como
	EC35		A						840	SDPM	PTYZB
	HS25		A						857	SBRJ	PTWPF
	C750		A						900	SBRJ	PPJQM
	C560		A						906	SBBH	PTORC
	BE55		A						924	SDPW	PTODO
	BE58		A						930	SDLP	PTLYU
	PA34		A						937	SBBU	PTTBC
	C560		A						1006	SBBH	N541CV
	C650		A						1008	SBFL	PTOVU
	LJ31		A						1014	SBGR	PTOVZ
	BE90		A						1024	SBLO	PTOVY
	PA31		A						1036	SBRP	PTIPR
	BE90		A						1046	SBUL	PTOCI
	LJ35		A						1110	SBBR	FAB2714
	EC35		A						1137	SBMT	PTYZB
HG	A300		C	VSP	O	250		1154	1154	SBGR	VSP9502
	PA34		A						1159	SBLO	PTVLU
	HS25		A						1216	SBGL	FAB2126
	PA34		A						1239	SBJV	PTVOV
	BE90		A						1247	SBM?	PTWHF
	BE20		A						1300	SDNB	PTJVB
	RASA		A						1346	SBMT	PTIPR
	PA28		A						1423	SBGR	PTNTY
	C525		A						1441	SBGR	PTMJC
	C560		A						1442	SBML	PTWMZ
	PA34		A						1505	SBKP	PTIKQ
	PA34		A						1521	SBGL	PTRAA
	C525		A						1537	SBGR	PTXAC
	C97		A						1559	SBSJ	FAB2005
	LJ25		A						1638	SBSP	PTLLQ
	BE58		A						1710	SDLP	PTLYU
	PA34		A						1725	SBKP	PTVNM
	BE30		A						1733	SBGR	PPISC
	F90		A						1741	SBRJ	PTOEX
	C560		A						1827	SBBH	PPISJ
	C650		A						1837	SBKP	PPJRA
	BE40		A						1844	SBGR	PTWHC
	BE58		A						1946	SBBU	PTOAS
	PA34		A						2032	SBBU	PTVGU
	LJ35		A						2054	SBBR	PTOCZ
	C?S		A						2111	SBFL	FAB2289
	BE40		A						2114	SBLN	PTWJS
TAM3709	FK10		B	TAM	R	108	20	2209	2122	SBNF	TAM3475
TAM3581	FK10		B	TAM	R	108	18	2216	2129	SBAV	TAM3528
VRG2452	B737		C	VRG	R	132	5	2212	2135	SBRJ	VRG2459
HG	FK10		B	TAM	O	108		2220	2137	SBCT	TAM3003
	C750		A						2146	SBRJ	PTWUM
	PA31		A						2150	SBRP	PTRUM
RSL543?	E145		B	VRG	R	50	15	2238	2201	SBJV	RSL5256
HG	FK10		B	TAM	O	108			2310	SBRJ	TAM3414