

6 Aplicação do modelo: Galeão

Os resultados do capítulo 5.2 mostraram que o comportamento de chegadas e partidas de aeronaves em um determinado dia poderia ser extrapolado para os demais sem que isso afetasse significativamente o sistema representado, visto que os atrasos médios das aeronaves em um determinado dia eram claramente causados pelos atrasos médios registrados no anterior. Dessa forma, a única alteração entre o modelo utilizado para a validação da simulação e o modelo de verificação do ponto de saturação do aeroporto será no ajuste do tempo de simulação, que será estendido para 288hs (duzentas e oitenta e oito horas, 12 dias) de simulação.

O modelo utilizado, tanto para validação quanto para avaliação do desempenho do sistema, segue descrito mais detalhadamente.

6.1 Modelagem do Sistema

Neste capítulo serão apresentados mais detalhadamente os procedimentos para a modelagem do sistema no ProModel. Os parâmetros utilizados no modelo são os mesmos da validação, diferenciando apenas o período total da simulação.

Tempo de simulação: 288h (duas semanas)

Locais:

- Pista;
- Desembarque 1 e 2;
- Embarque 1 e 2;
- Estacionamento de aeronaves.

Entidades:

- Avião;
- Fechamento das portas.

Atributos:

- aTerminal – Terminal para o qual o avião se dirige;
- aSentido – Sentido que o avião deve seguir: 1- Terminal de Passageiros, 2- Estacionamento, 3- Pista para decolagem.

Variáveis:

- vChegada – Horário em que o avião entrou no sistema;
- vSaída – Horário em que o avião saiu do sistema.

Somente uma das pistas foi considerada na simulação a fim de simplificar o sistema, já que não há aviões decolando ou aterrissando simultaneamente no Galeão. As capacidades dos locais foram definidas conforme dados dispostos na Tabela 2.

Uma etapa importante do processo de modelagem é a chegada das entidades no modelo. As distribuições de chegada e partida dos aviões foram estudadas considerando os Terminais 1 e 2 como duas bases de dados diferentes, então, já na construção das chegadas eles recebem o atributo aTerminal conforme o Terminal ao qual se destinam.

Devido à irregularidade identificada no intervalo entre chegadas de aeronaves, conforme citado no item 5.3, foi necessário um estudo mais atento do comportamento de chegada/partida dos aviões. Para realizar a atribuição das distribuições de chegada das Entidades, primeiramente, os dados foram divididos em quatro bases distintas, conforme o Quadro 4.

Quadro 4: Divisão da Base de Dados

Movimento	Origem do Movimento	
	Terminal 1	Terminal 2
Decolagens	Base 1	Base 2
Aterrissagens	Base 3	Base 4

Em cada base foram contabilizados os números de aeronaves que aterrissavam/decolavam com um mesmo intervalo de tempo entre si, independente do horário do movimento. Cada um desses grupos recebeu uma distribuição do tipo Normal com média e desvio-padrão calculados com base no intervalo de tempo entre as chegadas de cada aeronave, nos casos de inadequação de aeronaves em alguma distribuição identificada, essa apresenta uma linha exclusiva de chegada cujo valor de sua frequência, por não poder ser representado por uma distribuição, aparece como uma constante. Somente o horário da chegada da primeira aeronave pode ser programado no *software*, porém, a distribuição da frequência de chegadas garantirá que a próxima chegada seja agendada no horário correto. Tomando como exemplo as duas primeiras linhas do Quadro 5 pode-se observar que a primeira linha faz com que o primeiro avião do modelo chegue ao sistema às 00:15h do dia 28 de Janeiro (coluna Primeira Vez Quadro 5) e o segundo, seguindo a distribuição determinada na coluna Frequências, chegará em algum momento determinado pela distribuição Normal com média de 197 minutos e desvio-padrão de 7 minutos, ou seja, por volta das 3:32h, o que não afetará na chegada apresentada na segunda linha do mesmo quadro, que programa o primeiro avião daquele grupo para chegar às 00:30h do mesmo dia.

As demais colunas do Quadro 5 apresentam, Entidade e Local que definem a entidade a ser gerada e o Local em que ela é gerada no sistema, Quantidade que é o número de aeronaves que chegará ao sistema simultaneamente e Lógica cuja função é executar algum comando no exato momento em que a Entidade chega, no caso da simulação proposta, o atributo aTerminal que caracteriza o Terminal de destino da aeronave gerada.

Quadro 5: Estimativas para Chegada/Partida de Aeronaves

Entidade	Local	Quantidade	Primeira Vez	Ocorrências	Frequência	Lógica
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 12:15 AM	5	N(197,7)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 12:30 AM	5	N(331,12)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 12:50 AM	5	N(316,16)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 12:40 AM	5	N(310,4)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 01:50 AM	9	N(160,4)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 02:05 AM	5	N(275,3)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 04:55 AM	11	N(37,5)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 05:55 AM	5	N(73,9)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 09:10 AM	7	N(4,1)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 07:10 AM	11	N(88,8)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 07:16 AM	5	N(234,4)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 07:30 AM	5	N(225,5)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 07:30 AM	4	N(16,16)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 09:30 AM	4	N(243,10)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 08:19 AM	3	N(335,2)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 08:50 AM	4	N(301,6)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 09:40 AM	4	N(276,5)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 10:00 AM	4	N(231,7)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 08:59 AM	3	N(319,16)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	2	Thu, Jan 28 2010 @ 10:20 AM	4	N(261,16)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 04:58 PM	4	N(2,2)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	4	Thu, Jan 28 2010 @ 06:00 PM	1	1	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 08:09 PM	4	N(38,10)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 02:05 PM	5	N(26,20)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	2	Thu, Jan 28 2010 @ 08:15 PM	3	N(46,2)	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 05:10 PM	3	N(127,6)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	2	Thu, Jan 28 2010 @ 08:15 PM	1	1	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 09:33 PM	1	1	aTerminal = 1
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 07:20 PM	12	N(11,10)	aTerminal = 2
Avião	Chegada	1	Thu, Jan 28 2010 @ 10:35 PM	1	1	aTerminal = 2
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 01:20 AM	14	N(100,9)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 09:30 AM	16	N(7,7)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	2	Thu, Jan 28 2010 @ 05:00 AM	5	N(251,10)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 01:50 AM	7	N(106,6)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 06:00 AM	12	N(34,7)	aTerminal = 2
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 06:05 AM	6	N(69,14)	aTerminal = 2
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 06:05 AM	9	N(133,15)	aTerminal = 2
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 12:00 PM	4	N(183,5)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 06:40 PM	11	N(30,11)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 03:20 PM	6	N(16,11)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 08:50 AM	3	N(12,2)	aTerminal = 2
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 05:10 AM	8	N(18,18)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 12:25 PM	3	N(325,2)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 07:31 PM	4	N(79,8)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 10:40 AM	3	N(282,2)	aTerminal = 2
FechamentoPortas	Embarque	3	Thu, Jan 28 2010 @ 07:35 PM	4	N(80,13)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 07:44 PM	3	N(82,1)	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 03:25 PM	4	N(16,13)	aTerminal = 2
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 05:55 PM	6	N(8,6)	aTerminal = 2
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 09:06 PM	2	66	aTerminal = 1
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 08:29 PM	6	N(7,5)	aTerminal = 2
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 10:00 PM	12	N(5,5)	aTerminal = 2
FechamentoPortas	Embarque	1	Thu, Jan 28 2010 @ 10:55 PM	1	1	aTerminal = 1

Os aviões chegam ao sistema no local Pista e, caso haja capacidade disponível no seu terminal de destino, ele recebe atributo aSentido 1, e segue para

o terminal; caso este esteja cheio, ele recebe atributo aSentido 2 e se dirige ao Estacionamento onde aguarda até que haja disponibilidade no respectivo terminal; após completar o processo no terminal de passageiros o avião recebe atributo aSentido 3 e se dirige ao Estacionamento, onde aguarda até que seja requisitado pela entidade Fechamento das Portas, conforme pode ser observado na Figura 11.

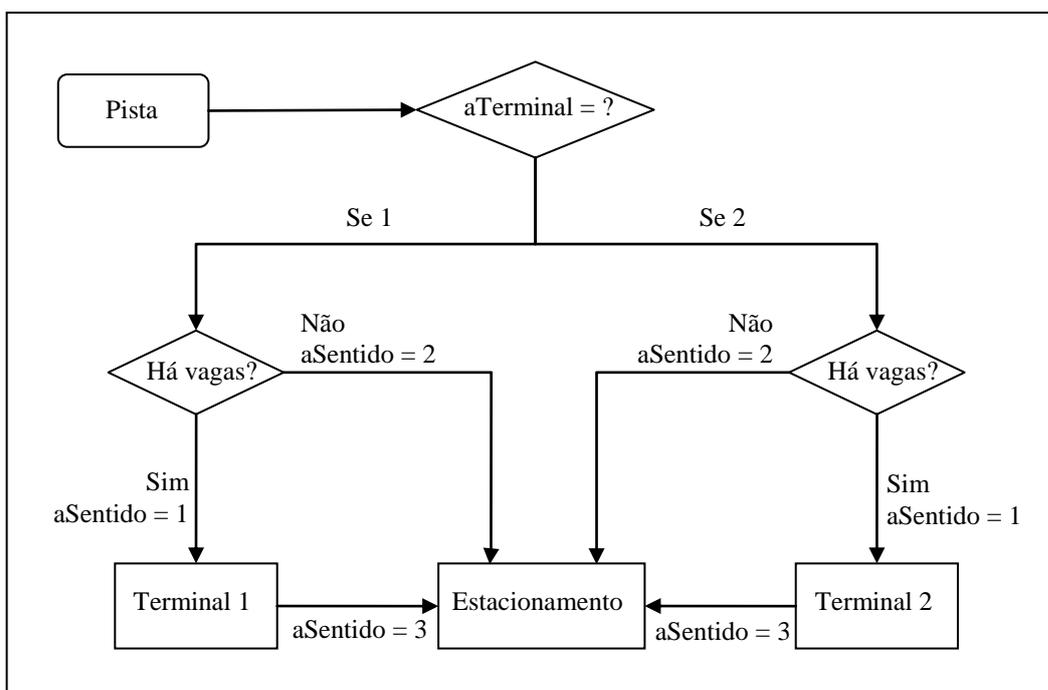


Figura 11: Fluxograma representativo do Sistema - Aterrissagens

No caso particular desse estudo, os aviões que chegam ao aeroporto, embora executem tarefas padrão, como desembarque de passageiros, abastecimento, manutenção etc., ainda que essas etapas estivessem presentes na simulação, não se dirigem para o embarque de passageiros imediatamente após a realização de tais tarefas. Cada voo tem um horário programado de saída e, como o *software* não permite que o horário de partida das entidades seja especificado, foi criada outra entidade para contornar esse problema. Assim, os aviões se dirigem ao estacionamento logo após o procedimento de desembarque e aguardam até que sejam requisitados por essa nova entidade tão logo seja ativada no sistema. Esse procedimento mostrou-se como a solução mais adequada para o caso, já que a distribuição dessa nova entidade foi estimada com base nos horários de partida

dos voos, garantindo que os aviões sairão do sistema no horário programado e as estimativas de decolagem estarão mais próximas da realidade observada.

A entidade Fechamento das Portas chega ao sistema no horário programado, segundo a agenda de decolagens do aeroporto, e dirige-se ao Embarque 1 ou 2 de acordo com o atributo aTerminal, que recebeu na construção de sua chegada. Lá ela requisita os aviões do Estacionamento que possuam o atributo aSentido 3 e se dirige para a Pista onde efetivamente sai do sistema. A Figura 12 ilustra esse processo.

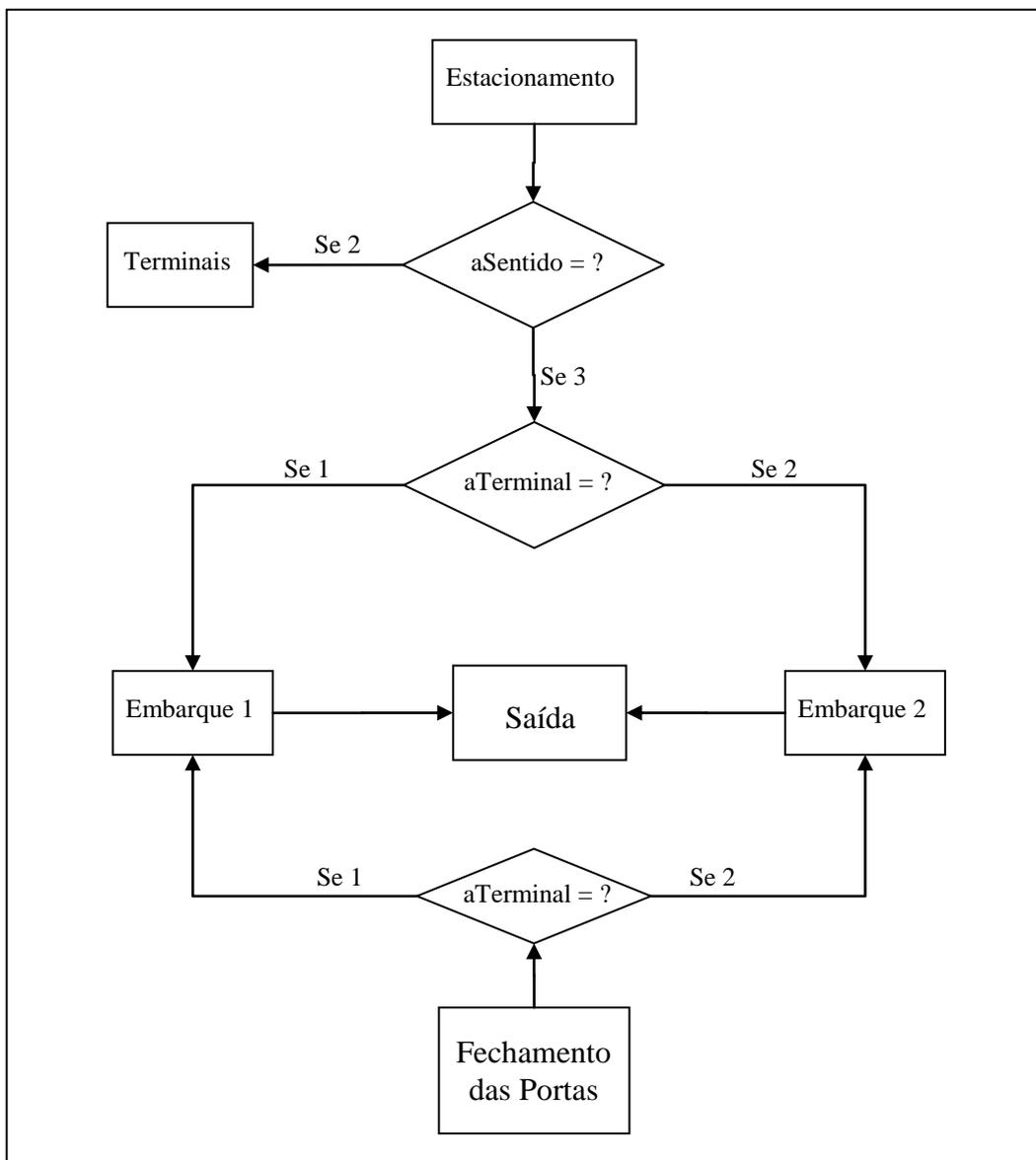


Figura 12: Fluxograma representativo do Sistema - Decolagens

No Estacionamento há dois tipos de avião: aqueles que já passaram pelo seu terminal de destino e aqueles que foram para o local diretamente por falta de vagas nos Terminais (aSentido = 2). Esses últimos devem passar pelo respectivo Terminal para o desembarque de passageiros antes de dirigirem-se ao Embarque. O processo realizado é mostrado na **Figura 13** e descrito em seguida.

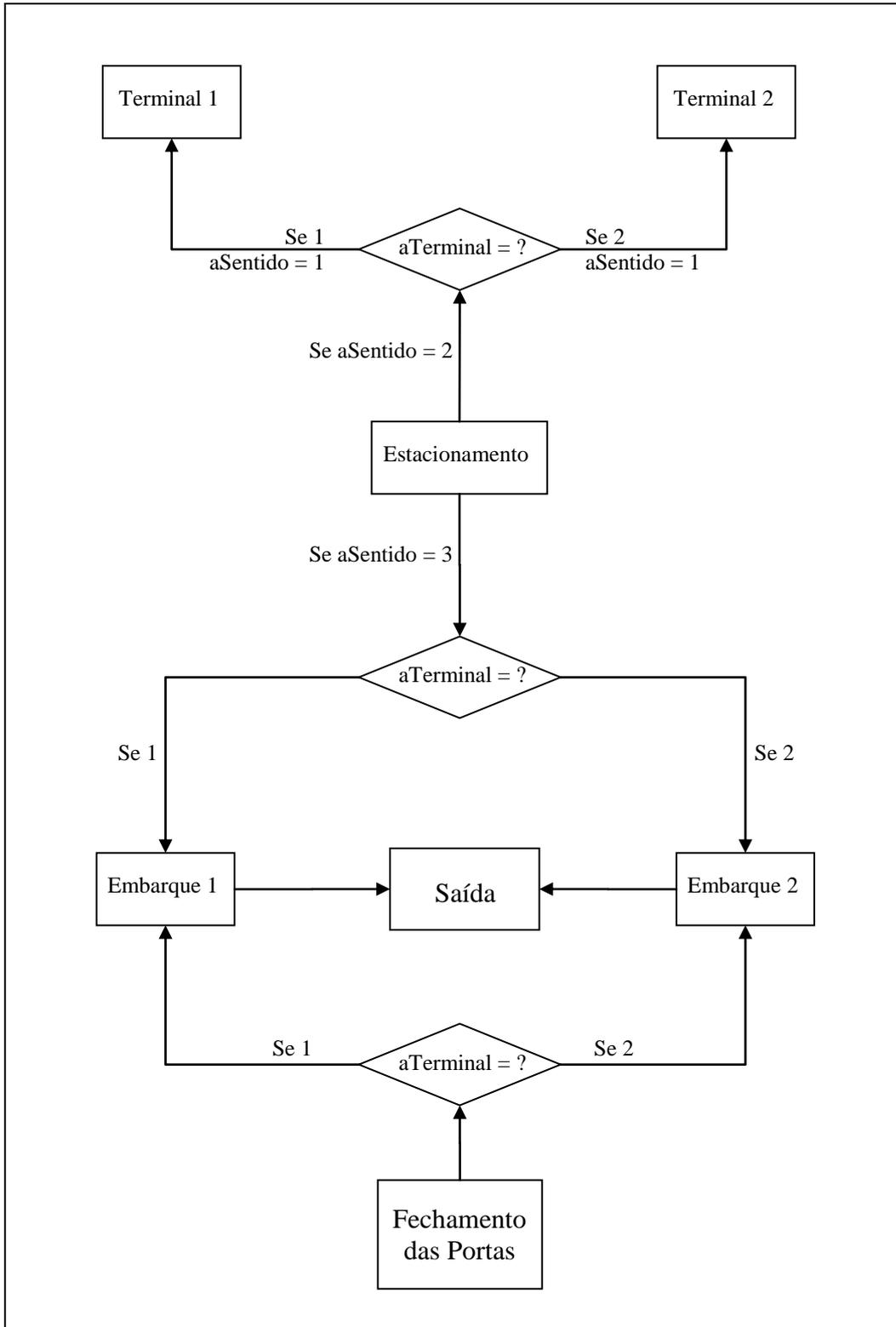


Figura 13: Fluxograma representativo do Sistema - Estacionamento

Os Aviões que chegaram ao Estacionamento diretamente da pista de pouso (aSentido = 2) seguirão para o Terminal de Passageiros 1 ou 2, conforme o

atributo `aTerminal`, que receberam na chegada ao sistema. Os demais Aviões, cujo atributo `aSentido` é igual a 3, seguirão para o Embarque 1 ou 2, também segundo seus atributos `aTerminal`.

Os locais Embarque 1 e 2, embora sejam na realidade os Terminais 1 e 2, no modelo eles foram criados como Locais diferentes para garantir que a Entidade Avião passasse por todos os processos do modelo antes de sair do sistema.

Os três passos descritos apresentam-se de forma resumida no fluxograma da Figura 14.

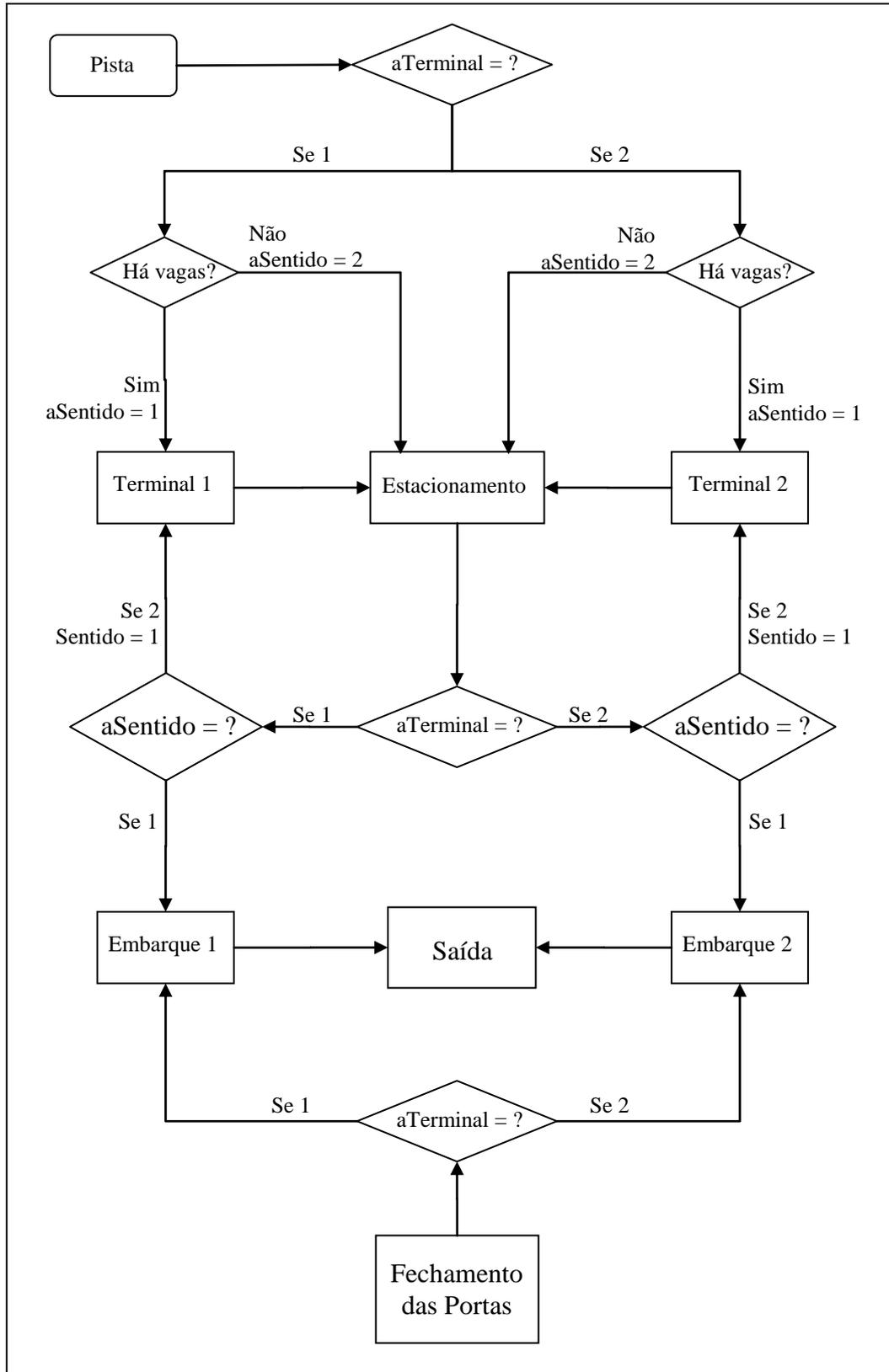


Figura 14: Fluxograma representativo do modelo

6.2 Resultados

Os atrasos médios obtidos na simulação são dados pela diferença entre o horário previsto de chegada registrado durante a coleta de dados do *site* da INFRAERO e o horário computado pelas variáveis do modelo: *vChegada*, que recebe o valor contido no relógio do *software* no momento em que o avião chega no sistema, e *vSaída*, que recebe o valor do relógio do *software* no momento em que o avião entra na pista para decolagem.

Os valores obtidos são apresentados nos Gráficos 14 à 25 à seguir.

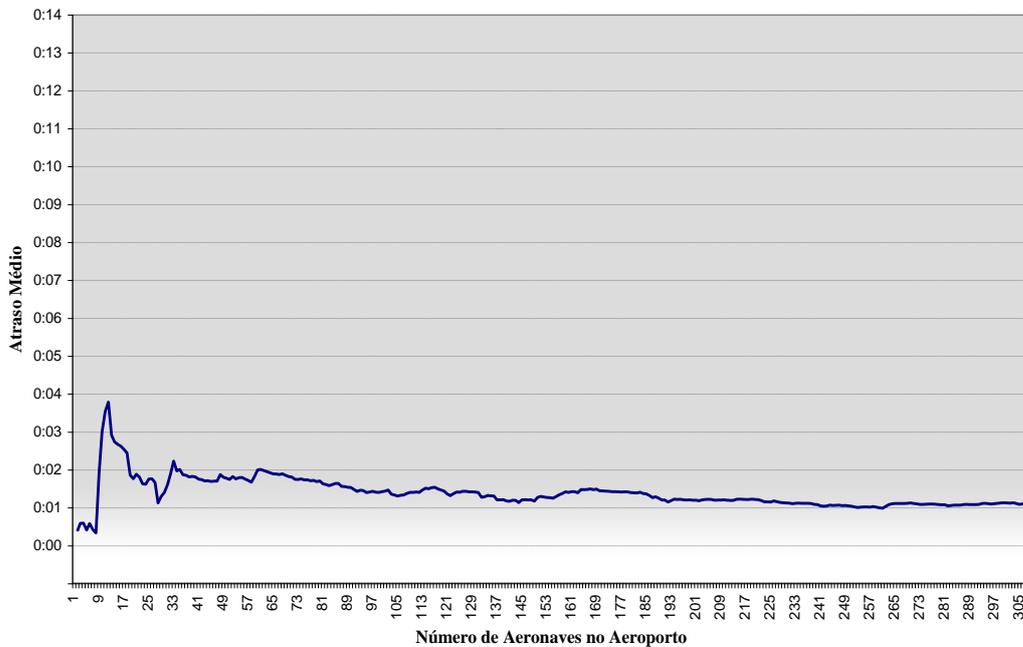


Gráfico 14: Simulação Dia 1

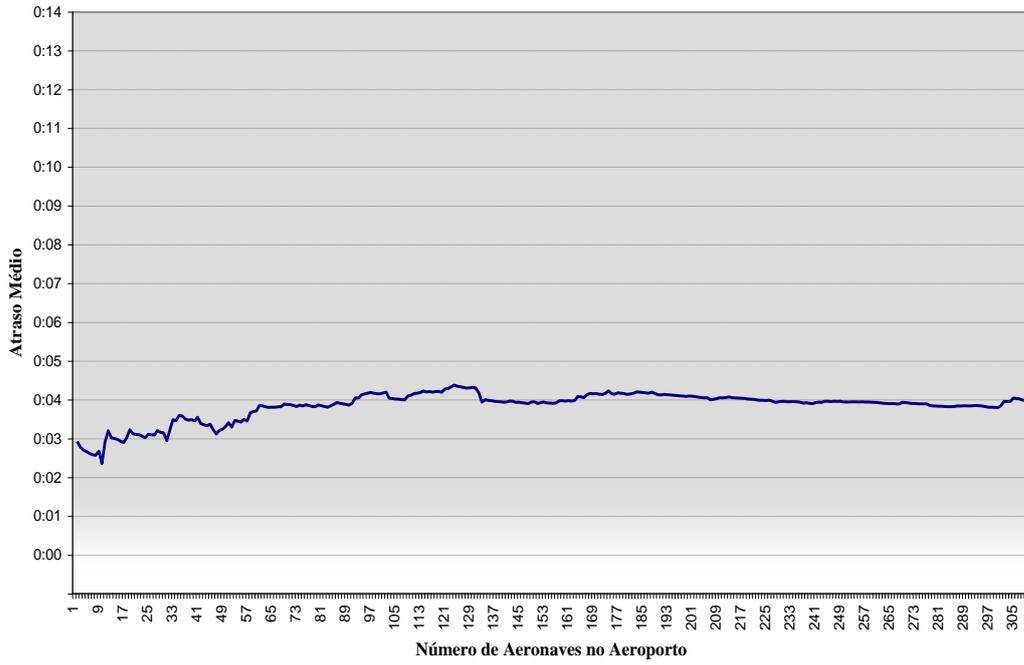


Gráfico 15: Simulação Dia 2

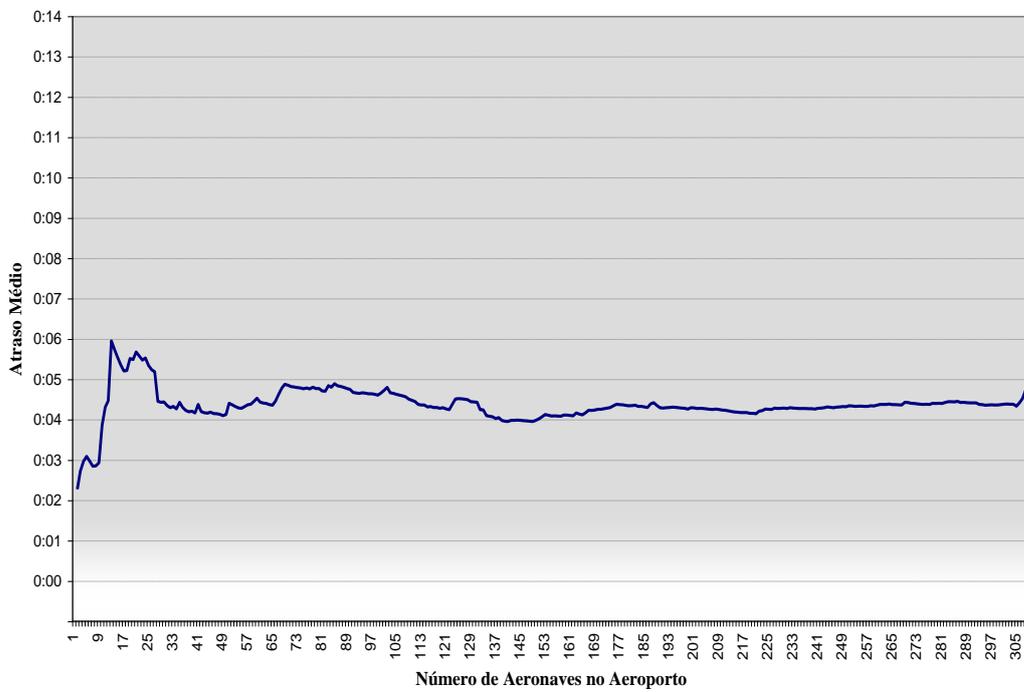


Gráfico 16: Simulação Dia 3

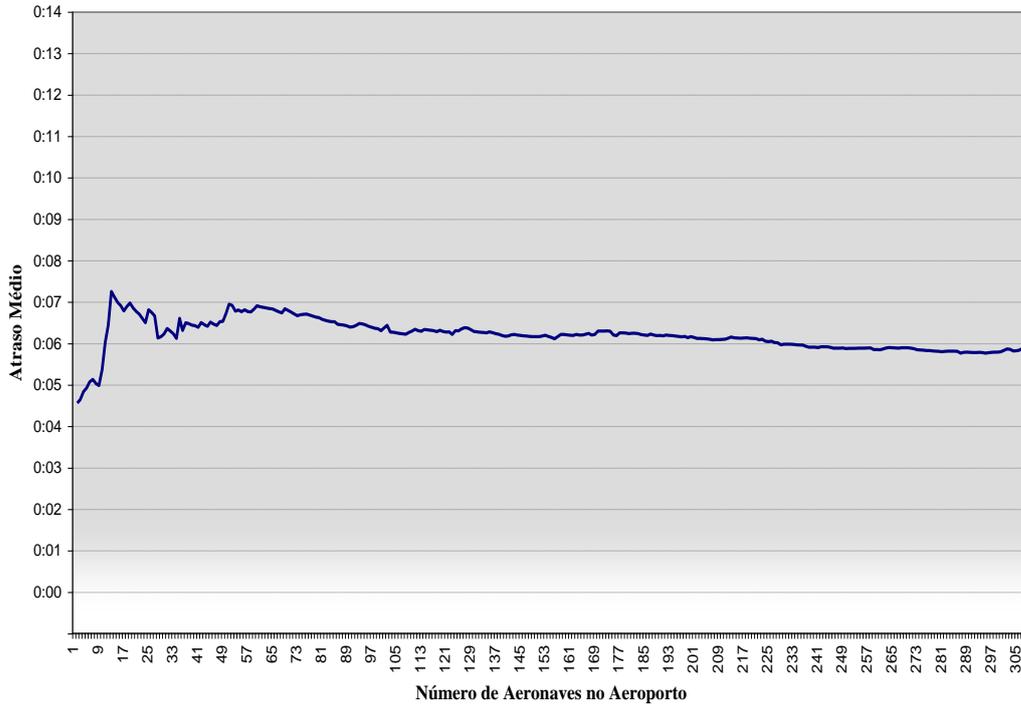


Gráfico 17: Simulação Dia 4

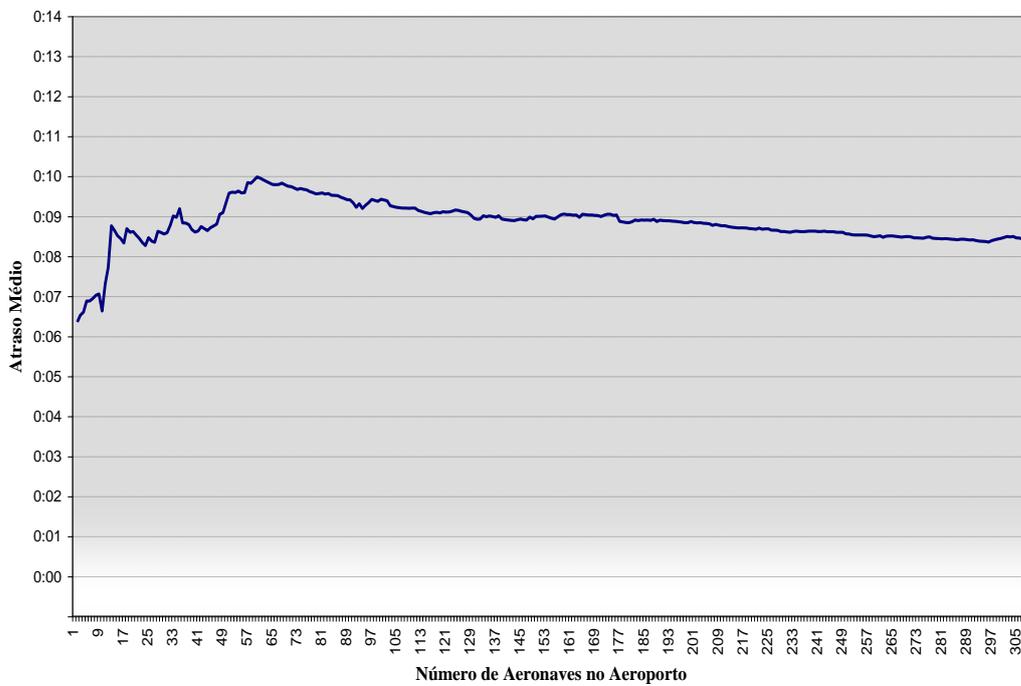


Gráfico 18: Simulação Dia 5

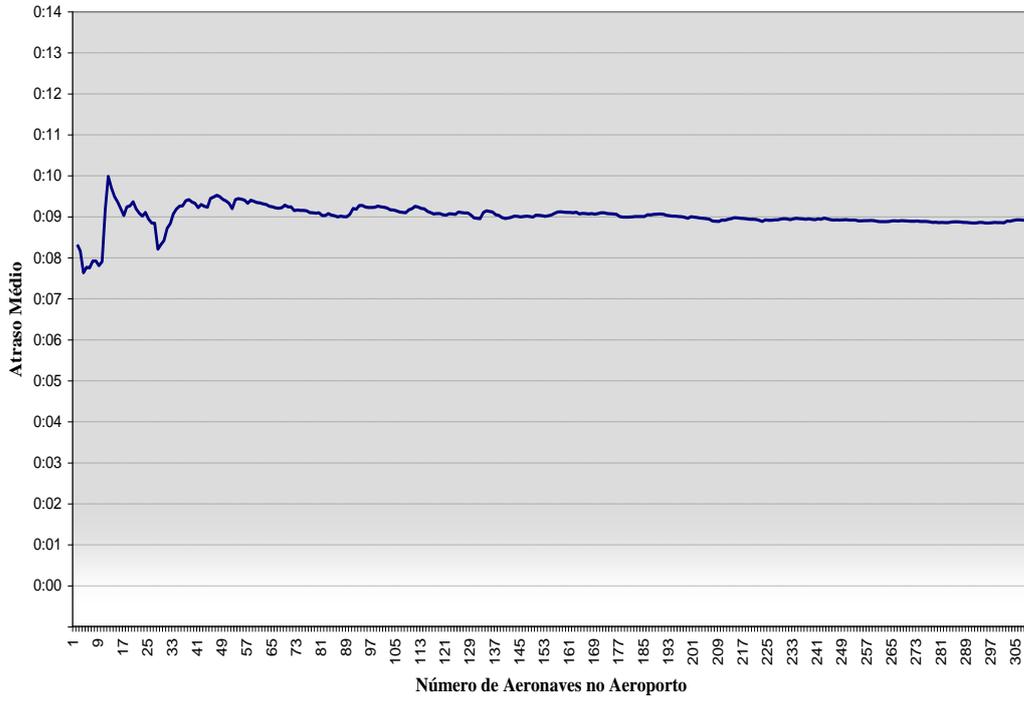


Gráfico 19: Simulação Dia 6

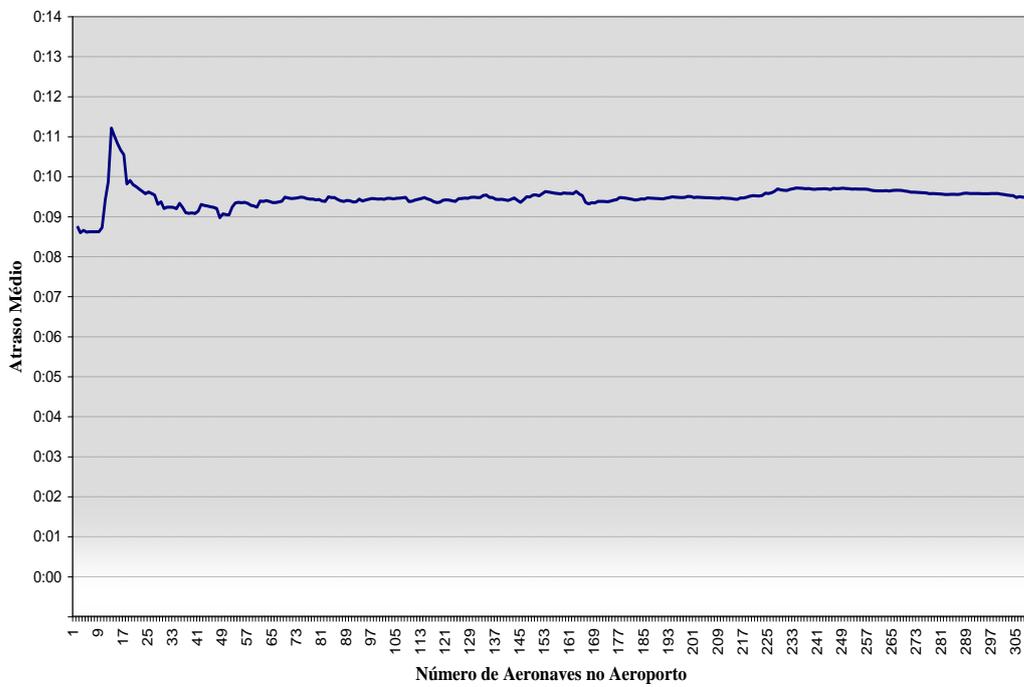


Gráfico 20: Simulação Dia 7

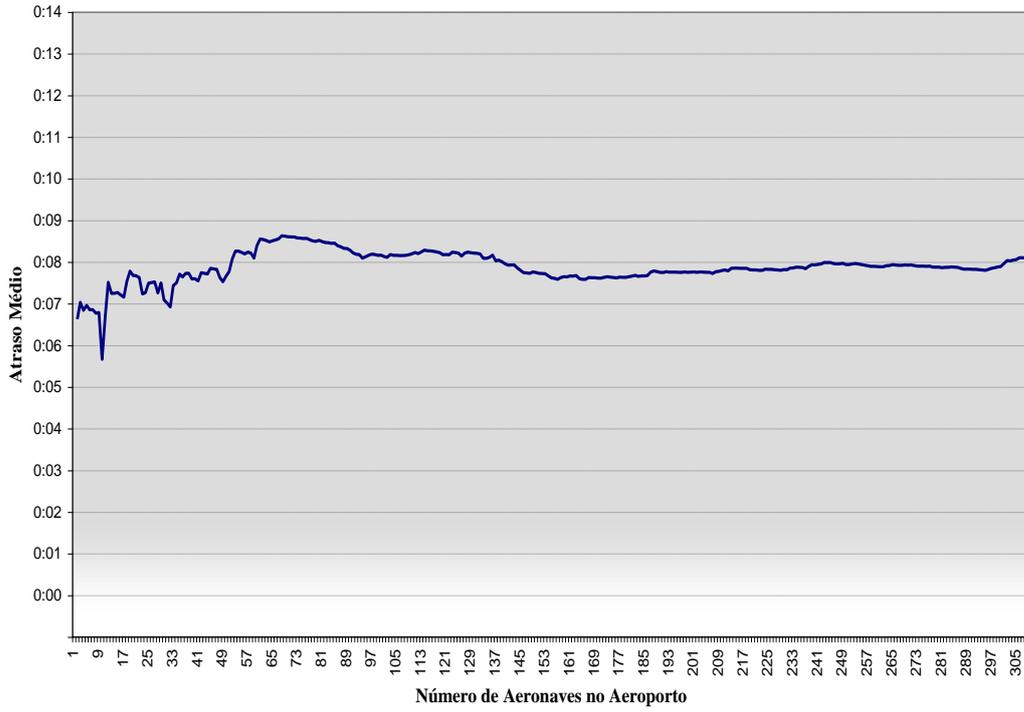


Gráfico 21: Simulação Dia 8

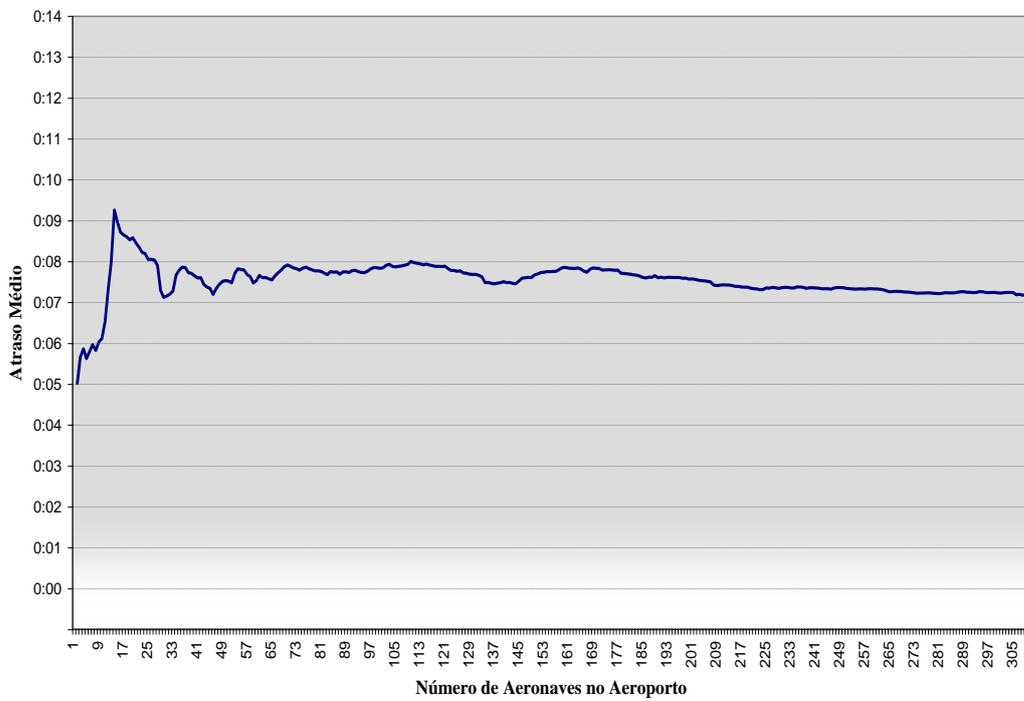


Gráfico 22: Simulação Dia 9

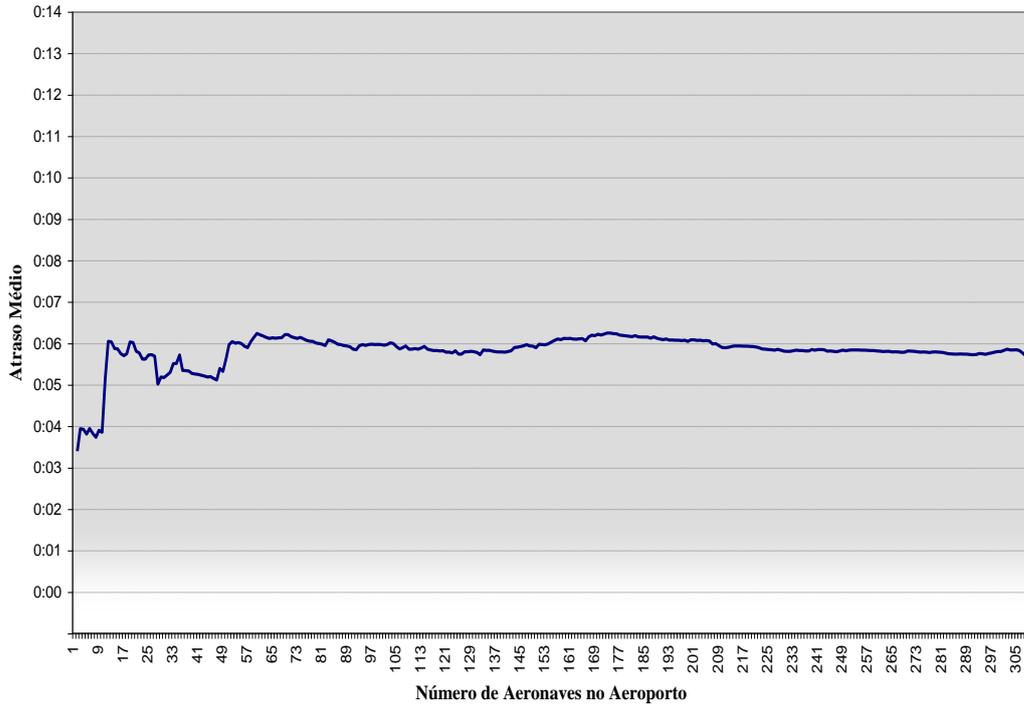


Gráfico 23: Simulação Dia 10

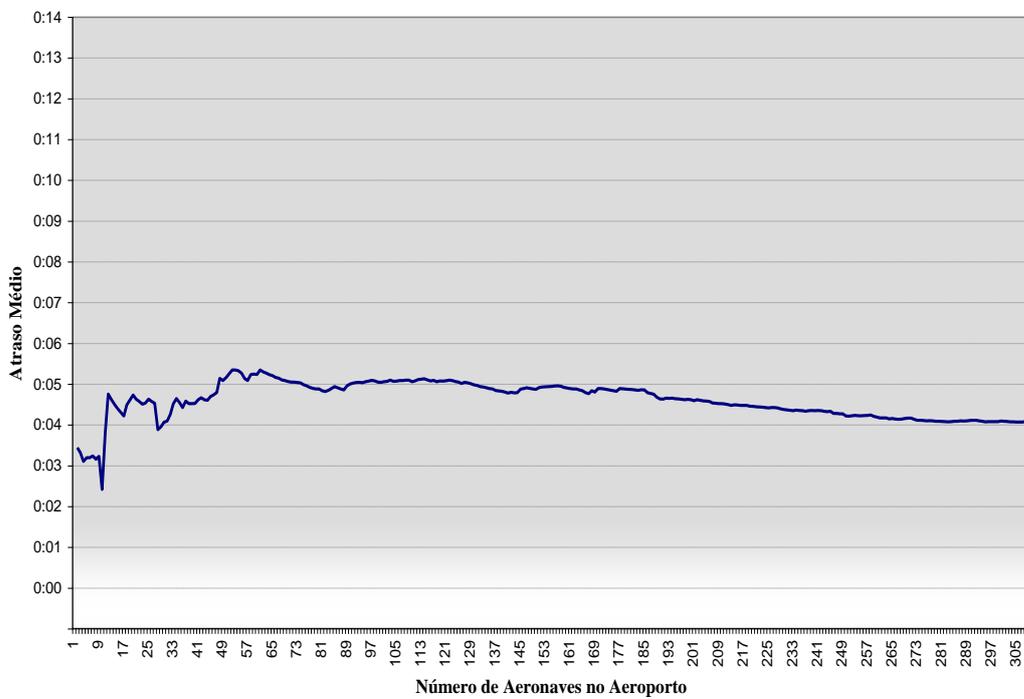


Gráfico 24: Simulação Dia 11

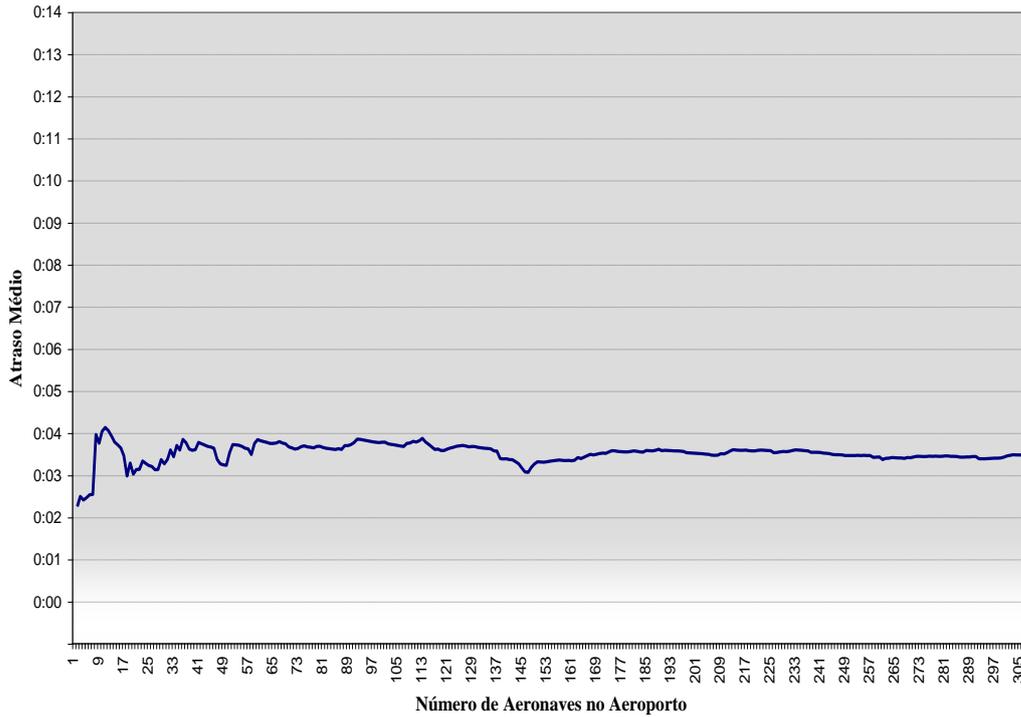


Gráfico 25: Simulação Dia 12

O Quadro 6 apresenta um resumo dos atrasos médios observados na simulação, já classificados de acordo com a MTC.

Quadro 6: Situação obtida na simulação

Dia	1ª metade do dia	2ª metade do dia
1	Livre	
2	Aceitável	
3	Aceitável	
4	Congestionado	
5	Saturado	Seramente Congestionado
6	Seramente Congestionado	
7	Saturado	
8	Seramente Congestionado	
9	Seramente Congestionado	
10	Congestionado	
11	Congestionado	Aceitável
12	Aceitável	

Como pode ser observado no Quadro 6, somente o primeiro dia da simulação apresentou fluxo livre, os dois dias seguintes obtiveram fluxo aceitável (atraso médio entre 3 e 5 minutos). O quarto dia, décimo dia e primeira metade do décimo primeiro dia apresentaram atraso médio das aeronaves entre 5 e

7 minutos. O quinto dia iniciou com fluxo saturado (atraso médio superior a 9 minutos) e de sua segunda metade até o final do sexto dia o atraso médio estimado encontrou-se entre 7 e 9 minutos. A primeira metade do quinto dia e o sétimo dia são os pontos críticos do sistema, pois atingiram um atraso médio superior a 9 minutos. A saturação do fluxo no sétimo dia estendeu-se até o nono dia ainda apresentando alguns reflexos no décimo e décimo primeiro dias de simulação. Até o fim do décimo segundo dia o sistema não retornou ao estado com fluxo livre (atraso médio inferior a 3 minutos).

O comportamento observado no Galeão durante a coleta dos dados (Quadro 2) não apresenta muita similaridade com os resultados obtidos pelo modelo. Isso se dá devido ao fato que o aeroporto pode sofrer atuação direta de fatores externos, como, por exemplo, o adiantamento do horário de partida/aterissagem de um determinado voo fazendo com que os demais não sofram um atraso tão grande, enquanto o modelo de simulação trabalha com horários pré-determinados e os únicos fatores que podem afetar as movimentações aéreas são: a lotação dos terminais e a utilização da pista.