

5 O Desempenho Atual

O nível de serviço de um aeroporto está diretamente ligado aos índices de atrasos nos seus voos, e, para analisar o nível de serviço do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, tomou-se como base o relatório da MTC – *Metropolitam Transportation Commission* –, também utilizado em Moser (2007), em que os intervalos médios de atraso dos voos são classificados conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação do fluxo aéreo segundo o atraso médio das aeronaves

Atraso médio	Classificação segundo a MTC
0 - 3 minutos	Fluxo livre com pequenos efeitos no sistema
3 - 5 minutos	Aceitável
5 - 7 minutos	Congestionado
7 - 9 minutos	Seramente Congestionado
Mais de 9 minutos	Saturado

Para uma primeira análise da situação atual do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro monitorou-se o *site* da INFRAERO regularmente do dia 28 de Janeiro de 2010 a 9 de Fevereiro de 2010. Esse período se mostrou bastante adequado por não possuir feriados próximos ou dentro do intervalo, que poderiam influenciar a análise.

5.1 Análise Exploratória dos Dados

É através da simulação dos movimentos aéreos que se pretende encontrar o ponto de saturação do aeroporto, ou seja, o ponto em que os atrasos médios das aeronaves seriam superiores a 9 minutos, segundo relatório da MTC – *Metropolitam Transportation Commission*. No entanto, para que a simulação dos movimentos futuros se mostre confiável, faz-se necessário um estudo prévio do

sistema atual. Portanto, para a realização desse estudo foram coletados, diretamente do *site* da INFRAERO, dados relativos aos voos realizados no aeroporto durante o período de treze dias ininterruptos.

Os dados disponíveis no *site* apresentam o detalhamento necessário para gerar as estimativas de atraso médio das decolagens realizadas no aeroporto, tais como, hora prevista para saída da aeronave e hora em que o voo efetivamente foi finalizado, conforme pode ser observado na Figura 10.

Ministério da Defesa Destaque do governo

INFORMAÇÕES
 Aeroporto Internacional Do Rio de Janeiro/Galeão - Antonio Carlos Jobim
 Distância do centro: 20 km
 Telefone: (21) 3398-5050
 Endereço: Av. 20 de Janeiro, s/nº, Ilha do Governador Rio de Janeiro - RJ

Seleção o Aeroporto: RIO DE JANEIRO - GALEAO-RJ PESQUISA AVANÇADA

VÔOS ONLINE
 Deseja Atualização Automática? Sim

CHEGADAS **PARTIDAS** Aeroporto Internacional Do Rio de Janeiro/Galeão - Antonio Carlos Jobim

Cia Aérea	Voo	Destino	Data	Previsto	Confirmado	Escalas	Status	Detalhes
GOL	07654	Buenos Aires -	01/02	22:30	00:18		Finalizado	✓
TAM	08054	Paris -	01/02	23:50	00:49		Finalizado	✓
GOL	01570	Teresina - PI	02/02	01:20	01:45	GRU - Sao Paulo - Guarulhos-SP	Finalizado	✓
GOL	01744	Recife - PE	02/02	02:45	02:52	GRU - Sao Paulo - Guarulhos-SP	Finalizado	✓
GOL	01743	Porto Alegre - RS	02/02	04:37	04:31		Finalizado	✓
GOL	01571	Londrina - PR	02/02	05:00	04:50		Finalizado	✓
GOL	01383	S. Paulo-Congonhas - SP	02/02	05:00	05:02		Finalizado	✓
GOL	01093	S. Paulo-Congonhas - SP	02/02	05:10	05:13		Finalizado	✓
GOL	01650	Goiânia - GO	02/02	05:50	05:45		Finalizado	✓
GOL	01968	Brasília - DF	02/02	05:59	05:55		Finalizado	✓
WEBJET	06734	Fortaleza - CE	02/02	06:00	06:04		Finalizado	✓
WEBJET	06772	S. Paulo-Guarulhos - SP	02/02	06:03	06:00		Finalizado	✓
TAM	08082	Nova York -	02/02	06:05	06:19		Finalizado	✓
TAM	08055	S. Paulo-Guarulhos - SP	02/02	06:05	06:19		Finalizado	✓

Figura 10: INFRAERO - Voos Online

Para o processo de modelagem também foram coletadas informações sobre origem/destino de cada voo, a fim de diferenciá-los entre Domésticos e Internacionais, bem como o Terminal de origem/destino. Não foram coletadas informações relativas aos portões de embarque ou desembarque.

Os dados coletados servirão como base para estimar o comportamento dos voos no aeroporto e, dessa forma, entender o processo de chegada e partida de aviões, necessário para a geração das entidades utilizadas no modelo de simulação.

Devido à frequência de atualização de informações do *site* da INFRAERO, somente estão disponíveis os dados referentes a voos do dia corrente e alguns poucos voos do dia seguinte, cujo horário do mais distante depende diretamente do horário em que os dados são coletados. Com o objetivo de registrar o maior número possível de dados completos para a realização do estudo, o *site* foi monitorado diariamente, mais de uma vez ao dia, durante o período de treze dias ininterruptos. Ainda assim, algumas informações referentes aos últimos voos finalizados em um determinado dia foram perdidas, conforme o *site* era atualizado nas primeiras horas do dia consecutivo. Os dados coletados ao final do período de monitoramento apresentam-se organizados na Tabela 3.

Tabela 3: Dados segundo o *Status* do Voo

Satus	Chegadas		Partidas		Total	
	N	%	N	%	N	%
Aeronave Decolando			19	0,96	19	0,48
Aeronave no Pátio	24	1,23			24	0,61
Atrasado	1	0,05	2	0,10	3	0,08
Atraso mín 1h	2	0,10			2	0,05
Atraso mín 4h	1	0,05			1	0,03
Cancelado	32	1,64	47	2,37	79	2,01
Confirmado	37	1,90	19	0,96	56	1,42
Despacho Aberto			13	0,65	13	0,33
Embarque Imed			4	0,20	4	0,10
Embarque Próximo			1	0,05	1	0,03
Finalizado	1749	89,83	1750	88,07	3499	88,94
Previsto	101	5,19	131	6,59	232	5,90
Última Chamada			1	0,05	1	0,03
Total geral	1947	100	1987	100	3934	100

Durante a coleta dos dados, foi observado que os *status* do tipo “Atrasado”, “Aeronave no Pátio/Decolando” e “Confirmado” já possuíam, na variável “Confirmado”, horário diferente do apresentado em “Previsto” e este valor não sofria alteração quando o voo assumia o *status* “Finalizado”; contudo, os outros *status* não apresentavam o mesmo comportamento. Para evitar a perda desses dados considerou-se que os mesmos, por representarem apenas 7,8% (307) do

total, não influenciariam significativamente a média de atraso registrada. Partindo dessa suposição, as observações cujos *status* não correspondiam ao grupo anteriormente citado foram ajustadas de forma que a média de atraso dos voos permanecesse a mesma. Para isso foram isoladas as observações cujos valores na variável “Confirmado” não necessitavam de alteração, calculando-se o atraso médio geral desse grupo de observações. O resultado obtido foi acrescido ao valor originalmente coletado garantindo que os voos, de forma geral, não teriam variação em seu atraso médio e as informações não coletadas não representassem um comportamento muito diferente do sistema como um todo. A Fórmula 1.1 resume o procedimento realizado.

$$\tilde{x}_i = x_i + \sum_j \frac{x_j}{n_j} \quad \forall i \in I \quad (1.1)$$

Onde:

- x = Valor observado na variável Confirmado;
- x_i = Valor inicial da observação $i \quad \forall i \in I$;
- I = Conjunto das observações com *status* do tipo: Despacho Aberto, Embarque Imediato/Próximo, Previsto (presente tanto nas observações de Partidas quanto de Chegadas) e Última Chamada;
- \tilde{x}_i = Novo valor proposto de x_i ;
- x_j = Valores da observação $j \quad \forall j \in J$;
- J = Conjunto das observações não pertencentes ao conjunto I ;
- n_j = Total de observações pertencentes ao conjunto J .

Os resultados obtidos aparecem discriminados na Tabela 4, calculados conforme o tipo de dado (Chegada ou Partida) e o comportamento geral observado no sistema:

Tabela 4: Estatísticas do horário de Confirmação dos Voos

	Chegadas	Partidas	Total
Observações	1947	1987	3934
Atraso Médio	00:04:52	00:06:29	00:05:44
Desvio-Padrão	01:08:18	00:23:11	00:50:50

5.2 Avaliação do Nível de Serviço Prestado no Período

Os Gráficos 1 à 13 apresentam as variações do atraso médio das chegadas/partidas registradas no período de coleta dos dados segundo a data e o número de voos. Como os gráficos apresentam médias que variam conforme aumentam os números de voos envolvidos no cálculo, a observação dos gráficos a seguir deve ser feita descartando-se o ruído causado pelas primeiras observações que, por conterem poucos voos, apresentam variações muito mais significativas do que realmente são.

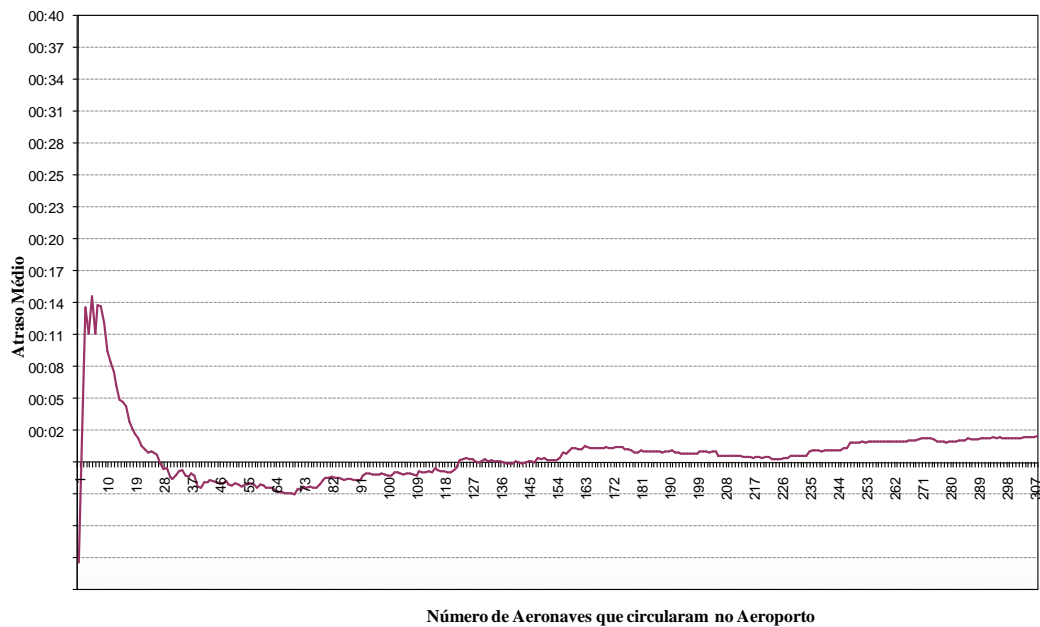


Gráfico 1: 28 de Janeiro de 2010

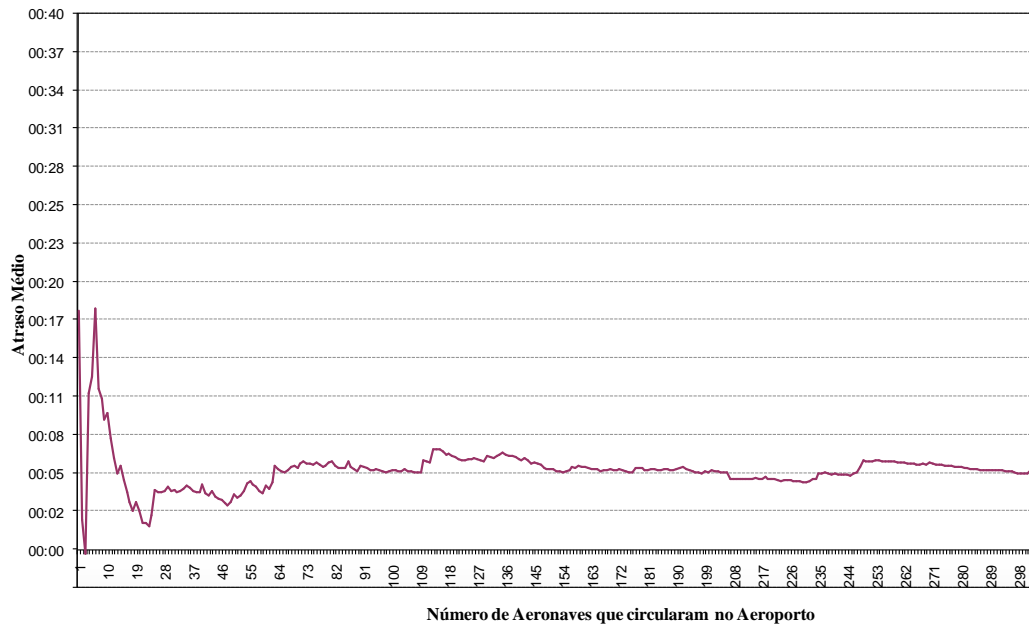


Gráfico 2: 29 de Janeiro de 2010

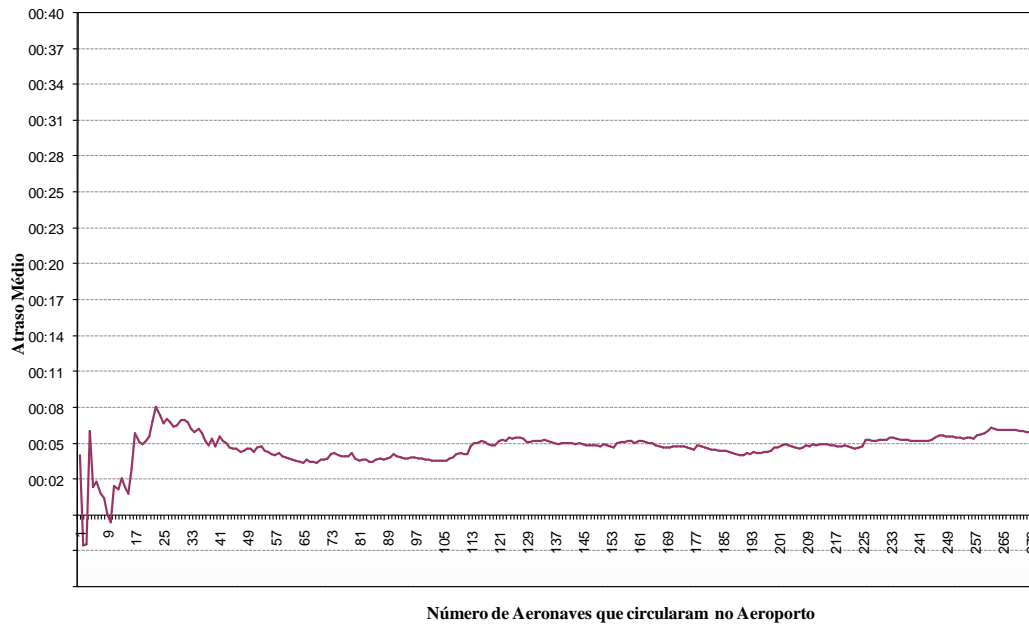


Gráfico 3: 30 de Janeiro de 2010

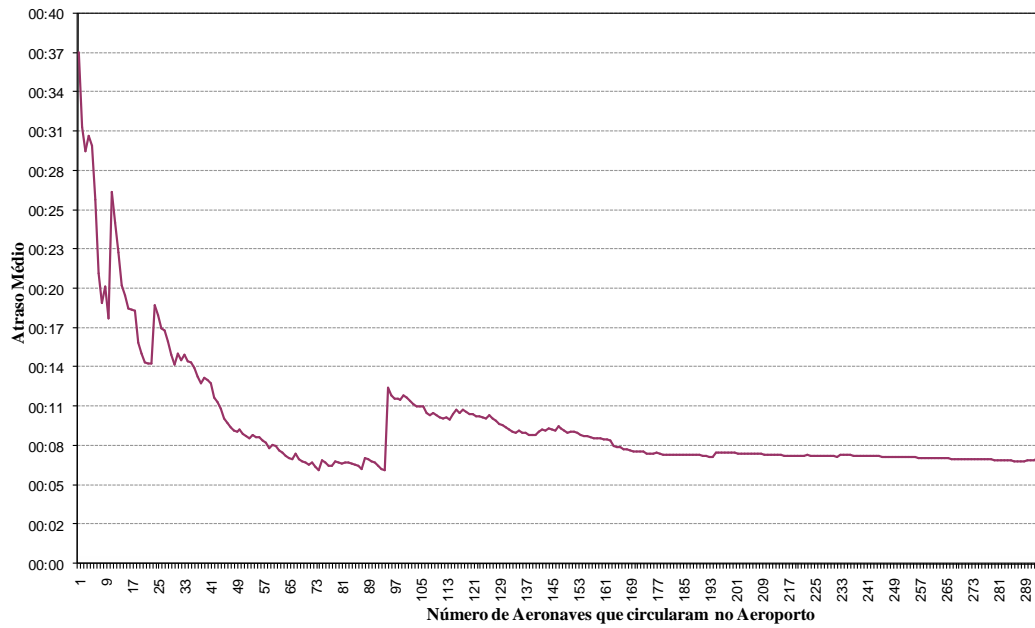


Gráfico 4: 31 de Janeiro de 2010

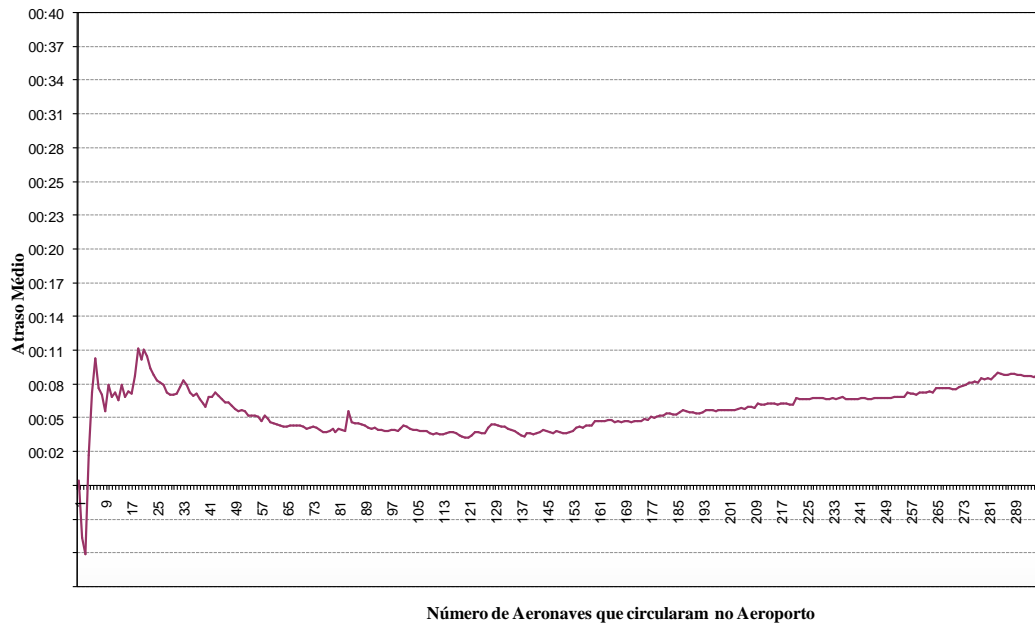


Gráfico 5: 1 de Fevereiro de 2010

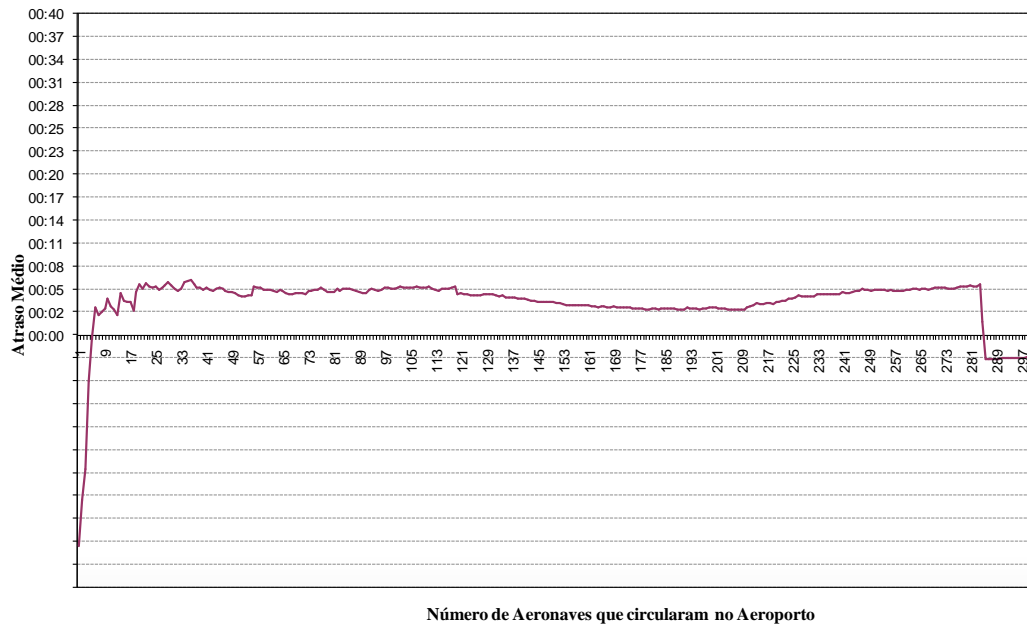


Gráfico 6: 2 de Fevereiro de 2010

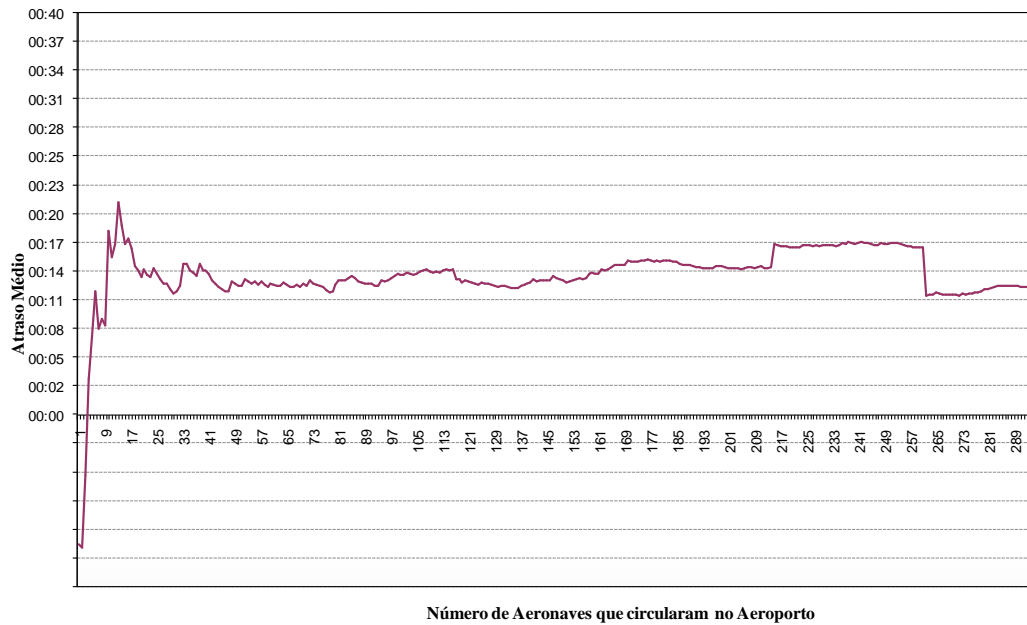


Gráfico 7: 3 de Fevereiro de 2010

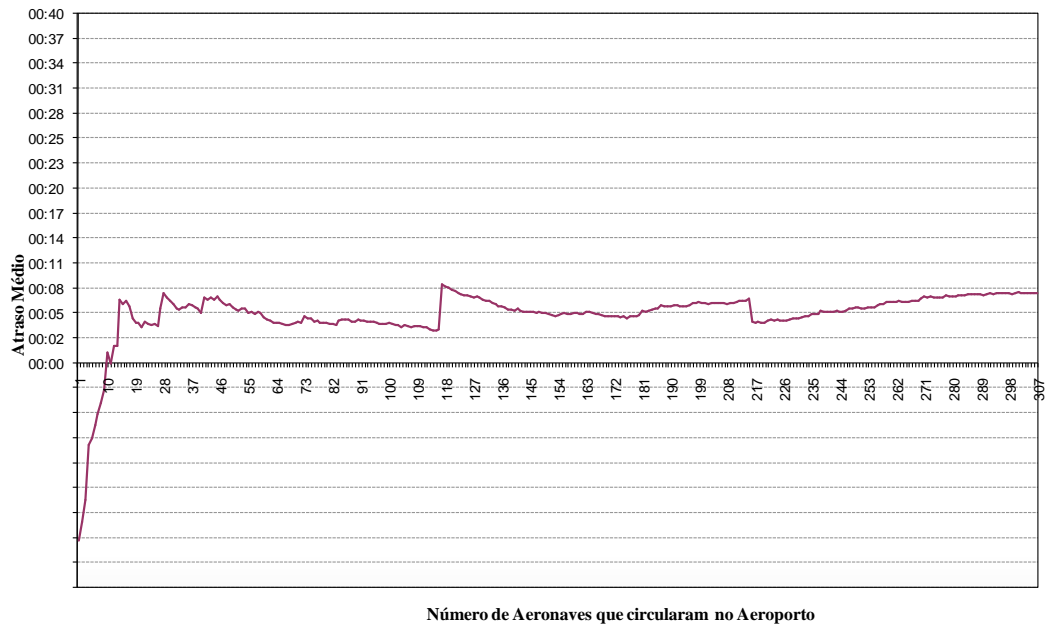


Gráfico 8: 4 de Fevereiro de 2010

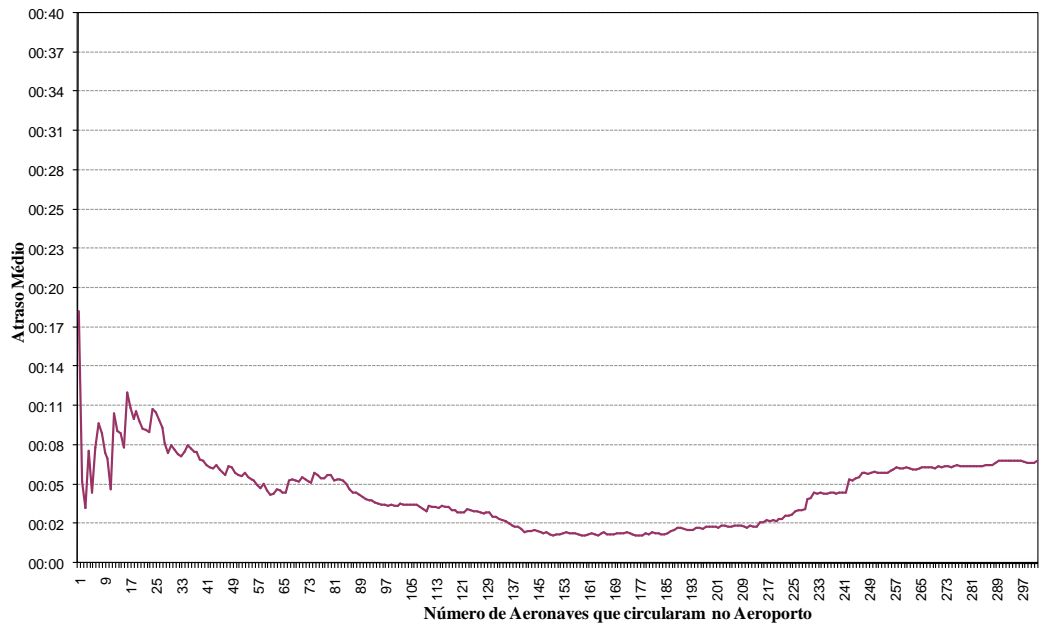


Gráfico 9: 5 de Fevereiro de 2010

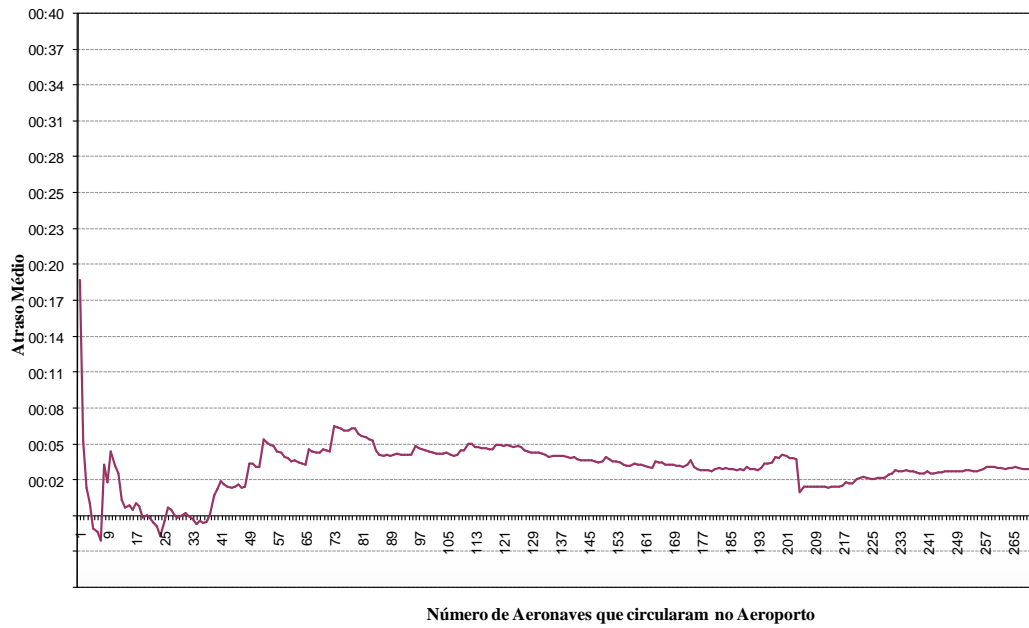


Gráfico 10: 6 de Fevereiro de 2010

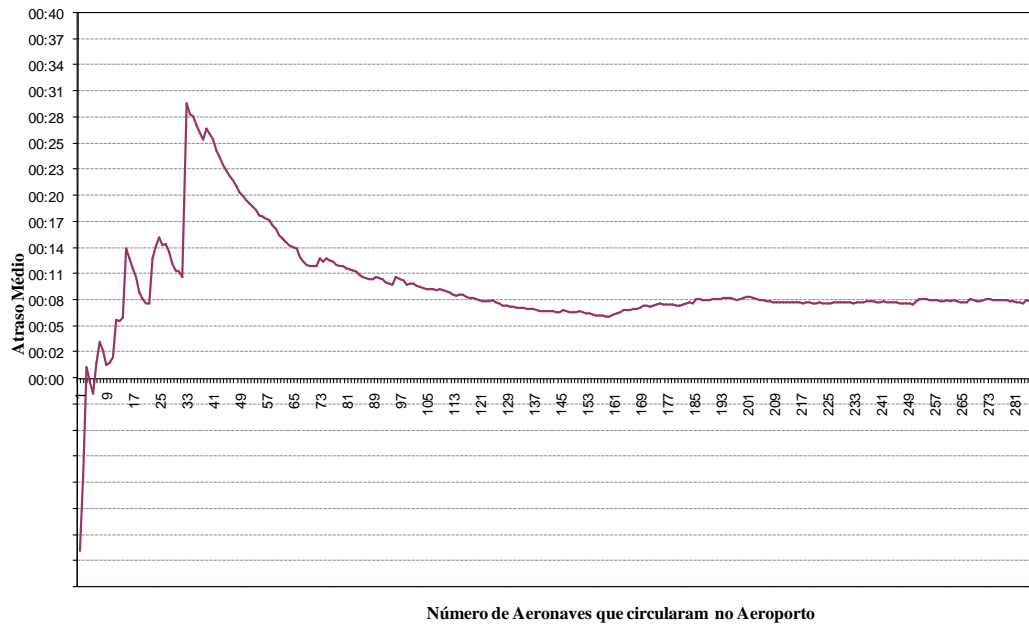


Gráfico 11: 7 de Fevereiro de 2010

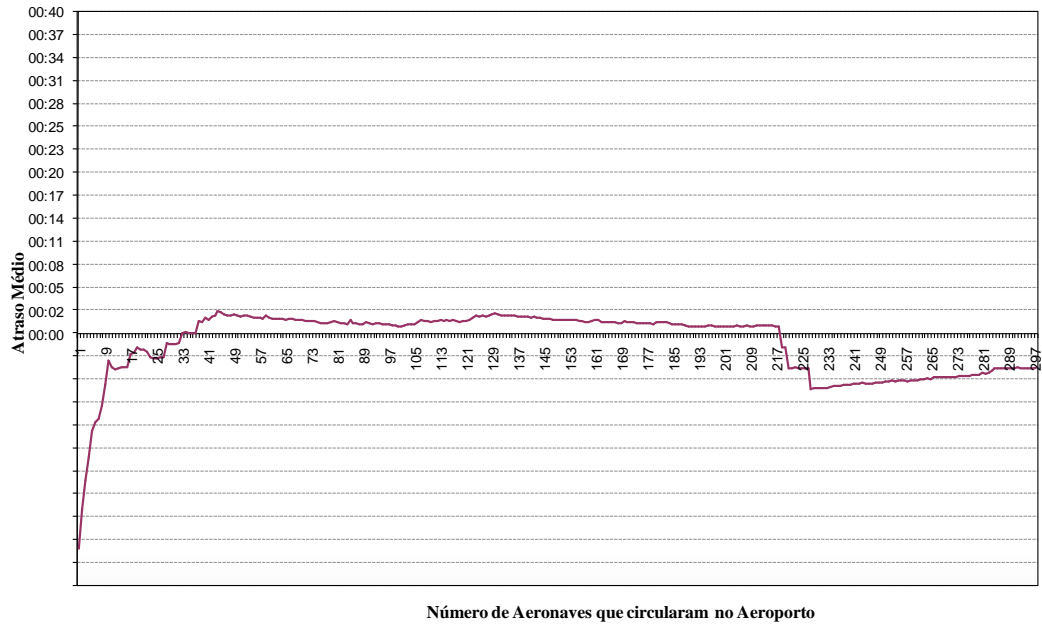


Gráfico 12: 8 de Fevereiro de 2010

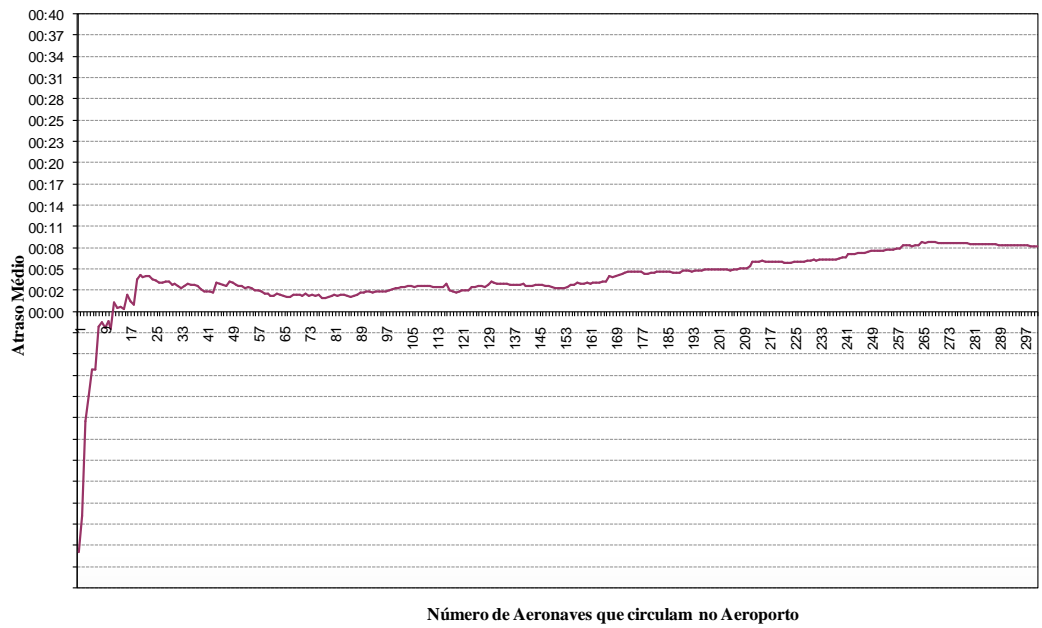


Gráfico 13: 9 de Fevereiro de 2010

O Quadro 2 apresenta um resumo do comportamento observado durante o período de 28 de Janeiro a 9 de Fevereiro no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, classificado conforme o relatório da MTC⁸.

Quadro 2: Situação observada no Galeão

Data	Dia da semana	Manhã	Final da Manhã	Meio-Dia	Começo da Tarde	Tarde	Noite
28/jan	Quinta-feira	Livre					
29/jan	Sexta-feira	Aceitável	Congestionado				
30/jan	Sábado	Congestionado	Aceitável		Congestionado		
31/jan	Domingo	Congestionado		Saturado	Congestionado		
1/fev	Segunda-feira	Congestionado	Aceitável		Congestionado		Seramente Congestionado
2/fev	Terça-feira	Congestionado					
3/fev	Quarta-feira	Saturado					
4/fev	Quinta-feira	Aceitável		Congestionado			Seramente Congestionado
5/fev	Sexta-feira	Congestionado	Livre	Congestionado			
6/fev	Sábado	Livre		Aceitável			
7/fev	Domingo	Saturado	Seramente Congestionado				
8/fev	Segunda-feira	Livre					
9/fev	Terça-feira	Livre			Congestionado	Seramente Congestionado	

Segundo o Quadro 2, os únicos dias de Fluxo Livre (atraso médio inferior a 3 min) durante o período estudado foram 28 de Janeiro e 8 de Fevereiro; o dia 3 de Fevereiro apresentou-se completamente saturado (atraso médio superior a 9 min).

É interessante observar que, segundo os dados coletados, os atrasos médios das aeronaves estão mais relacionados ao atraso médio ocorrido no dia anterior do que ao próprio dia da semana. Por exemplo, o atraso médio nas decolagens/aterissagens de uma terça-feira é mais afetado pelos atrasos ocorridos na segunda anterior do que pelo próprio movimento de aeronaves do dia, como pode ser observado no Quadro 2, em que o dia 9 de Fevereiro tem Fluxo Livre na primeira metade do dia proveniente de uma segunda-feira com Fluxo Livre durante o dia inteiro, por outro lado, todo o dia 2 de Fevereiro foi Congestionado claramente influenciado pelo fluxo do dia 1º, que terminou Seramente Congestionado (atraso médio de 7 a 9 min). Ou seja, não há evidências para

⁸ *Metropolitan Transportation Commission* (ver Capítulo 5)

afirmar que um determinado dia da semana é mais congestionado do que qualquer outro dia.

Assim, o comportamento de chegada de aeronaves em um único dia pode ser extrapolado para os demais dias da semana sem que os resultados da simulação se afastem muito do sistema real a ser estudado.

5.3 Validação da Simulação

Para a realização do processo de simulação são necessárias algumas informações sobre o sistema a ser estudado. Alguns dos parâmetros necessários já foram dispostos na subseção 5.2, porém informações como a distribuição de chegada de aeronaves no aeroporto somente podem ser obtidas estudando os dados provenientes do *site* da INFRAERO.

Para essa primeira etapa de validação do modelo tem-se:

Tempo de simulação: 24h

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.

É importante destacar que, embora o Galeão tenha duas pistas, os modelos considerarão somente uma delas, visto que o aeroporto não realiza movimentos de partidas e chegadas simultaneamente⁹.

Com base no estudo desenvolvido em subseção anterior, o dia 28 de Janeiro (155 aterrissagens) foi escolhido para estimar as distribuições de chegada de aeronaves no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro por ter o número médio de movimentos realizados durante toda a semana e ter apresentado Fluxo Livre durante todo o dia, o que facilitaria identificar se o modelo de simulação estaria captando bem o comportamento real do sistema.

Para uma representação mais adequada do sistema estudado os dados coletados foram separados em bases diferentes segundo o movimento realizado (Chegada ou Partida e Terminal de Origem/Destino). Assim, a base de dados foi dividida conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Voos segundo Terminal e Tipo

Tipo	Terminal 1	Terminal 2
Chegadas	92	63
Partidas	92	63
Total	184	126

Em cada base estudou-se o comportamento das aeronaves a fim de encontrar as distribuições de chegada/partida que melhor representassem o sistema.

Devido à ausência de padrão na movimentação aérea como, por exemplo, voos consecutivos com intervalo superior a 1 hora e voos também consecutivos com intervalos inferiores a 20 minutos, foram necessárias mais de uma distribuição de chegada/partida de aeronaves para cada divisão da base de dados.

⁹ INFRAERO

As distribuições resultantes dessa análise¹⁰ serão as estimativas para os movimentos de chegadas/partidas de aeronaves no aeroporto do Galeão. Para a validação da simulação será avaliada a proximidade dos resultados obtidos através da simulação com os dados observados. Caso essas distribuições representem bem o sistema, a diferença entre ambos os valores será não significativa. A proximidade é avaliada através de uma regressão linear entre os valores obtidos através da simulação e os valores observados.

O ideal é que a Fração de Dados Explicados (R^2) pela regressão linear apresente valor próximo de 1, o que indicaria o ajuste perfeito dos dados ao modelo linear; o Coeficiente Linear (β_0) seja bem próximo de zero significando que um voo originalmente observado às 00:00h será gerado às 00:00h pelo modelo de simulação; e que o Coeficiente Angular (β_1) seja bem próximo de 1, indicando a relação linear entre os dados de 1 para 1, ou seja, um voo observado à 01:00h será gerado pela simulação à 01:00h.

Com o auxílio do *software* estatístico SPSS, realizou-se a análise dos dados observados contra os simulados. O SPSS permite que as regressões possam ser realizadas sem constante, ou seja, com o coeficiente linear $\beta_0 = 0$. No Quadro 3 é apresentado um resumo¹¹ dos resultados da regressão linear.

Quadro 3: Resultados da análise de Regressão Linear

Resultados do Modelo	Chegadas	Partidas
Coeficiente Angular (β_1)	0,99892	0,99960
Coeficiente Linear (β_0)	0,00000	0,00000
Significância	0,00000	0,00000
R^2	0,99782	0,99919

Segundo o Quadro 3, praticamente todos os dados podem ser explicados tanto no caso da regressão realizada para os voos que chegam ao aeroporto quanto para a regressão dos voos que saem (R^2 igual a 1 com precisão de duas casas decimais). Os coeficientes angulares para ambos é muito próximo de 1, ou seja, a relação linear entre os dados observados e os simulados é quase perfeita.

¹⁰ Ver subitem 6.1

¹¹ Saída completa do SPSS no Apêndice A

Com a análise de regressão linear, fica clara a proximidade do modelo com o sistema real a ser estudado. Assim, percebe-se que as distribuições estimadas através do estudo dos dados coletados estão bem adequadas para aplicação no modelo de simulação proposto.