

# Análise de custos operacionais e dos atrasos de aeronaves na Área Terminal São Paulo (TMA-SP)

Erico Soriano Martins Santana<sup>1</sup>; Mauricio Ferreira Hupalo<sup>2</sup>;  
Milton Valdir de Matos Feitosa<sup>3</sup>; Carlos Müller<sup>4</sup>

**Resumo:** O artigo desenvolve uma avaliação comparativa do atraso de aeronaves em voo na Área Terminal de São Paulo (TMA-SP), a região aérea mais congestionada no Brasil, e de seus impactos em termos de custos. Diferentes cenários de fluxo foram construídos e simulados. A avaliação econômica foi baseada no custo operacional médio de voo na TMA-SP. A análise foi concentrada nas operações de voo e de solo que tiveram origem ou destino nos aeroportos de Congonhas, Guarulhos ou Viracopos, os três aeroportos mais movimentados da TMA-SP. O software SIMMOD Plus 4.0! foi utilizado para simular as operações no espaço aéreo e no lado aéreo dos aeroportos. Cinco cenários operacionais foram analisados. Destes, dois cenários — um considerando a operação de uma terceira pista no Aeroporto de Guarulhos e o outro considerando a remoção de aeronaves lentas do Aeroporto de Congonhas —, resultaram considerável redução no congestionamento e atraso na TMA-SP. A partir desses resultados, três novos cenários admitindo 10%, 20% e 30% de transferência de demanda de Congonhas para Guarulhos foram construídos e analisados. Os cenários propostos reduziram o atraso nos procedimentos de chegada e de partida dos voos, diminuindo o custo operacional das empresas aéreas assim como aumentando a capacidade do sistema TMA-SP.

**Abstract:** This paper provides comparative evaluations of aircraft in-flight delays and their cost impact at São Paulo Terminal Maneuvering Area (TMA-SP), Brazil's busiest region in terms of airborne operations. Different flow scenarios were built to represent that operations based on simulation models. The economic evaluation was based on average aircrafts' operational costs flying at TMA-SP. The analysis was focused on ground and in-flight operations that have origin or destination at Congonhas, Guarulhos or Viracopos, the three busiest airports at TMA-SP. The software SIMMOD Plus 4.0! was used to simulate airspace and airport airside operations. Five operational scenarios were analyzed. Two scenarios, one considering Guarulhos Airport third runway and another considering the removal of "slow" airplanes from Congonhas Airport, resulted in considerable congestion and delay reduction. Using the initial results three new scenarios with 10%, 20% and 30% flight demand reallocation from Congonhas to Guarulhos Airport were constructed and analyzed. The proposed scenarios reduced delay in arrival and departure procedures, reducing airline operational cost as well as increasing TMA-SP system capacity.

## 1. INTRODUÇÃO

A infra-estrutura do sistema de transporte aéreo brasileiro sofre pressão contínua e crescente devido à grande solicitação a que é submetida. O contínuo crescimento da demanda (Ministério da Aeronáutica, 1999a; OACI, 1999) não é acompanhado por um aumento adequado de capacidade. Este fato é causa de discussões entre especialistas, na busca da melhor solução para o problema. Duas macro-soluções são possíveis: aumento de capacidade e gestão da demanda. Dentro dessas categorias, várias alternativas podem ser implementadas e, na verdade, representam uma gradação contínua entre as duas soluções.

Alternativas de curto e médio prazo são mais voltadas para a gestão da demanda. Como exemplo pode-se citar a gestão de fluxo de tráfego aéreo ou a realoca-

ção da demanda por meio de slot (intervalo de tempo previamente estabelecido para que uma aeronave realize a operação de pouso ou decolagem em um determinado aeroporto, ou o sobrevôo de um ponto de notificação preestabelecido). Medidas deste tipo são atrativas, pois são de rápida aplicação, possuem impactos diretos e facilmente mensuráveis e custos mais baixos. Por outro lado, medidas de longo prazo caracterizam-se por estarem mais voltadas para o aumento de capacidade. Estão aí inseridas a construção de novos aeroportos, implantação de pistas adicionais em aeroportos já existentes e o investimento em novas tecnologias. Medidas desta natureza requerem maiores investimentos para implementação e seus benefícios somente são atingidos no prazo de 5 a 10 anos.

Dada a disparidade de atratividade entre as duas alternativas de solução para congestionamento acima citadas, que tipo de informação seria útil para garantir que a melhor alternativa será adotada? A resposta óbvia é a avaliação do custo-benefício de todas as alternativas. Embora este quase nunca seja o caminho percorrido.

Kostiuk (2001) propõe que estudos deste tipo sejam conduzidos de acordo com a metodologia sumarizada na Figura 1, na qual modelos operacionais voltados para o transporte aéreo são integrados a modelos econômicos do setor.

<sup>1</sup> **Érico Soriano Martins Santana**, Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA). São José dos Campos, SP, Brasil. (e-mail: ericos@gmail.com).

<sup>2</sup> **Mauricio Ferreira Hupalo**, Comissão de Aeroportos da Amazônia. Belém, PA, Brasil. (e-mail: mauriciohupalo@terra.com.br).

<sup>3</sup> **Milton Valdir de Matos Feitosa**, VARIGLOG. São Paulo, SP, Brasil. (e-mail: miltonvaldir@yahoo.com).

<sup>4</sup> **Carlos Müller**, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil. (e-mail: muller@ita.br).

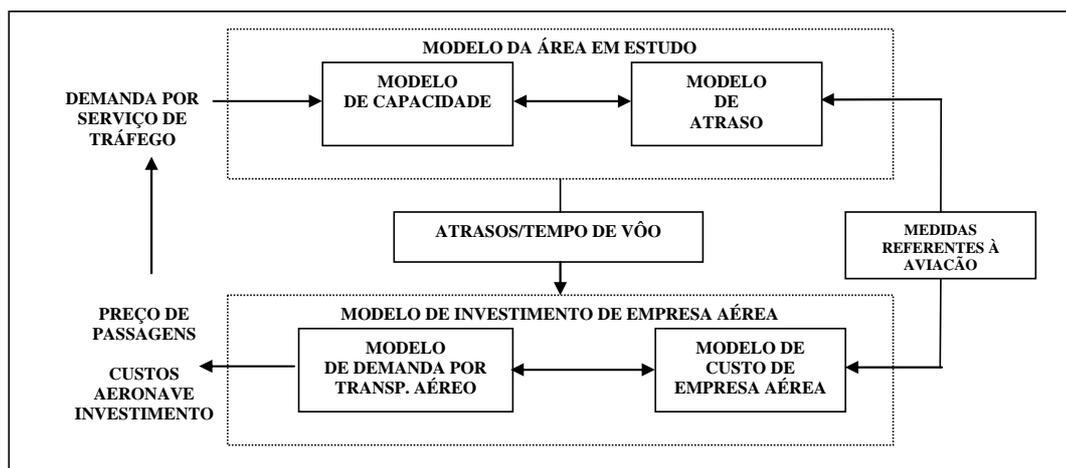


Figura 1: Metodologia para estudo de congestionamento e atrasos em sistema de transporte aéreo (Kostiuk, 2001)

Modelos operacionais de capacidade e atraso, analíticos e de simulação, foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas buscando a quantificação da disparidade entre capacidade e demanda (Blumstein, 1959; Hupalo, 2003; MITRE Co, 2001; Odoni, 1997; Pereira et al., 2001; Santana, 2002 e Platz, 1990). Estes modelos permitem o estudo das relações capacidade/demanda e capacidade/atraso, bem como da utilização efetiva dos recursos disponíveis em aeroportos e sistemas de controle de tráfego aéreo.

Em termos de Brasil, a Área de Controle Terminal - São Paulo (TMA-SP), é a que tem sofrido, em sua história recente, os maiores transtornos causados por congestionamentos (Hupalo, 2003). As autoridades aeronáuticas, de balde, tentam resolver o problema. As causas do insucesso são várias. Entre outras, pode-se citar a falta de planejamento, escassez de recursos, deficiente política de preservação dos arredores dos aeroportos com vistas a futuras ampliações, má gestão dos outros modos de transporte, enfoque dado ao problema etc.

No início do ano 2000 a circulação da TMA-SP sofreu mudança radical no que se refere às rotas de chegada e saída e à forma de controle. As aeronaves que até então eram vetoradas (orientadas segundo rumos específicos), passaram a cumprir perfis de descidas padronizados desde a entrada na terminal até o pouso (MITRE Co, 2001). Se houve inegável melhoria no que se refere à redução de carga de trabalho de controladores, o mesmo não pode ser dito quanto ao aumento de capacidade do espaço aéreo e dos aeroportos.

Os aeroportos de Guarulhos e Congonhas, principais aeroportos da TMA-SP, além de serem os dois mais movimentados do país, guardam entre si uma posição relativa convergente, fato que dificulta sobremaneira a determinação de rotas que possibilitem a necessária segregação de tráfego. Congonhas foi “abraçado” pela cidade de tal forma que qualquer crescimento tanto da parte do complexo de sistema de pistas quanto de TPS não pode ser realizado a não ser com o

investimento de vultosas quantias.

Neste contexto é de clara importância uma análise detalhada da TMA-SP, por meio de simulação, para que se possa ter um panorama da situação enfrentada por pilotos e controladores. O conhecimento do atual estado, aliado à previsão de cenários futuros, é o caminho que permitirá propostas de alterações mais eficientes nos diversos componentes do Sistema ATC (Air Traffic Control) hoje vigentes.

## 2. SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE

O estudo científico de uma instalação ou processo, usualmente designados como sistema, exige a adoção de um conjunto de suposições a seu respeito. Estas suposições, geralmente sob a forma de relações matemáticas ou lógicas, constituem um modelo necessário para o entendimento do comportamento do sistema correspondente (Pidd, 1989 e Shannon, 1975).

O estudo de um sistema, a fim de avaliar performances sob novas condições ou analisar o relacionamento entre vários componentes, pode, segundo Law e Kelton (1992), ser realizado por vários caminhos. A Figura 2 apresenta as alternativas possíveis.

Comparada com experimentações reais, a simulação (estudo por modelo) possui as seguintes vantagens (Pidd, 1992):

- *custo*: experimentos reais são muito mais dispendiosos, sobretudo se algo não funciona como desejado;
- *tempo*: é possível a simulação de semanas, meses ou anos em segundos;
- *replicações*: o mundo real raramente permite replicações precisas de um experimento. A simulação é totalmente repetível;
- *segurança*: um dos objetivos da simulação é estimar os efeitos de condições extremas.

Law e Kelton (1992) classificam modelos de simulação sob três dimensões:

- *modelos de simulação estáticos ou dinâmicos*:

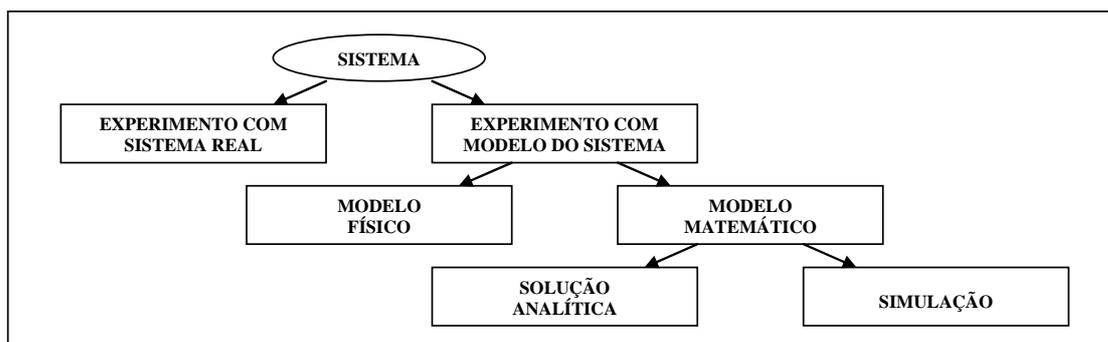


Figura 2: Formas de estudo de um sistema (Law e Kelton, 1992)

como o próprio nome sugere, o estático é uma representação de um sistema em um determinado momento. Pode ainda ser utilizado para representar um sistema em que o tempo não exerce papel algum. Por outro lado, o modelo dinâmico representa um sistema que evolui no tempo, tal como um sistema de transporte em uma fábrica;

- *modelos de simulação determinísticos ou estocásticos*: determinístico quando não apresenta nenhum componente probabilístico (aleatório), caso contrário será um modelo de simulação estocástico. Modelos de simulação estocásticos produzem resultados também aleatórios, e devem então ser tratados como apenas uma estimativa das reais características do modelo, esta é uma das desvantagens da simulação;
- *modelos de simulação discretos ou contínuos*: na simulação de evento discreto a evolução das variáveis de estado no tempo é feita instantaneamente em pontos separados. Em termos matemáticos, pode-se dizer que o sistema pode mudar apenas em um número contável de pontos no tempo. Já em modelos contínuos a mudança nas variáveis de estado é feita continuamente.

### 2.1. A ferramenta computacional SIMMOD

A capacidade de modelagem e simulação do *SIMMOD* (TRANSSOLUTIONS, 2000), um modelo dinâmico, estocástico e contínuo, permite ao usuário responder questões do tipo: “o que aconteceria se...?”, com qualquer nível de demanda. O movimento das aeronaves é simulado passo a passo. Conflitos são resolvidos ao longo dos segmentos de rota de vôo ou táxi.

Problemas típicos que podem ser analisados com o *SIMMOD* incluem a análise de:

- operações *gate* – pista de táxi – pista de pouso;
- rotas de espaço aéreo;
- operações *hub-and-spoke* (sistema de distribuição de vôos onde um aeroporto central chamado *hub* recebe vôos cujos passageiros são redistribuídos para cidades menores por meio de

rotas denominadas *spokes*);

- separações *ATC*;
- setorização do espaço aéreo;
- expansão do complexo de sistema de pistas de aeroportos;
- localização de auxílios à navegação.

A representação do sistema aeroporto e espaço aéreo é feita por meio de nós (*nodes*) conectados por segmentos (*links*). Um nó pode ser considerado como um ponto no sistema onde é avaliada a posição de uma aeronave em relação às demais envolvidas na simulação. Um *link* define um caminho entre dois nós. As aeronaves se movem de um nó para outro somente por um *link* pré-definido.

### 3.ÁREA DE CONTROLE TERMINAL SÃO PAULO – TMA-SP

Entende-se por Espaço Aéreo Terminal a região do espaço aéreo localizado na confluência de rotas *ATS* — rota especificada, de acordo com a necessidade, para proporcionar serviços de tráfego aéreo (Ministério da Aeronáutica, 1999b) — e nas imediações de um ou mais aeródromos, recebendo, geralmente, o nome da principal cidade nela localizada.

A Figura 3 mostra a TMA-SP dividida por setores de controle de tráfego e também a localização dos *VOR* (Radiofarol Omnidirecional em VHF).

Fisicamente a Área de Controle Terminal de São Paulo pode ser caracterizada por dois círculos, um com centro em Congonhas e raio de 42NM, e outro com centro em Campinas e raio de 27NM. Estende-se verticalmente de 5.500ft até o nível de vôo 195 (aproximadamente 19.500ft).

Na TMA-SP estão inseridos três aeroportos de grande movimento: Congonhas, Viracopos e Guarulhos. Destes três, o Aeroporto Internacional de São Paulo (AISP/GRU) é atualmente o grande portão de entrada do país, responsável em 2005 pelo processamento de cerca de 70% dos passageiros internacionais (origem/destino). Este resultado é surpreendente quando se considera que o aeroporto foi originalmente concebido para atender exclusivamente a demanda de vôos domésticos que se utilizava do Aeroporto de

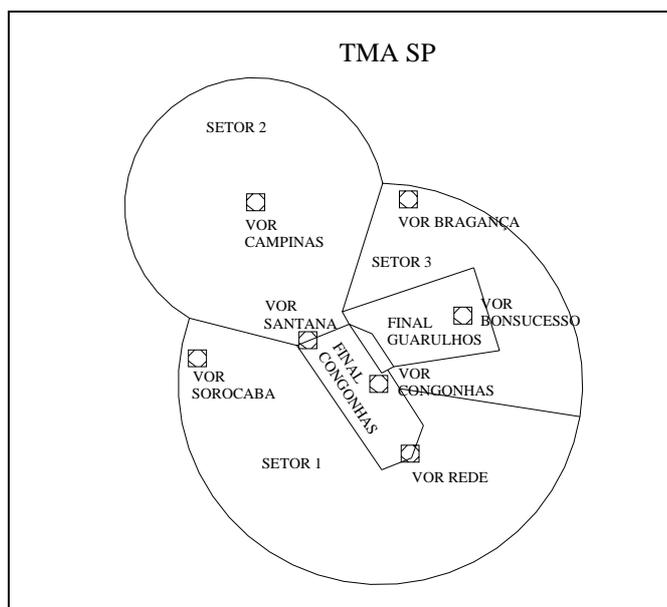


Figura 3: Divisão da TMA-SP por setores de controle e localização dos VOR (Hupalo, 2003)

Congonhas, com exceção da ponte Rio – São Paulo, bem como os vôos internacionais relacionados com os países integrantes do Cone Sul, servindo também como uma alternativa do Aeroporto de Campinas. Assim, embora tenha sido planejado para servir um determinado cenário de demanda, não foi possível ao longo dos anos manter a concepção de tráfego inicial, tornando necessária a implantação de novas estratégias capazes de absorver a demanda não prevista.

O Aeroporto de Guarulhos concentra no Brasil, segundo dados de 2005, o segundo maior movimento total de passageiros regulares (suplantado apenas por Congonhas), responde pela primeira colocação relativa ao volume total de carga e mala postal, além de apresentar o segundo maior movimento total de aeronaves de tráfego regular (INFRAERO, 2005).

#### 4. CENÁRIOS PROPOSTOS

Buscando solucionar os crescentes problemas gerados pelo tráfego aéreo intenso na TMA-SP, principalmente na parte de infra-estrutura do AISP/GRU, a Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária - INFRAERO - propôs a construção de um novo terminal de passageiros (TPS3) e uma terceira pista de pousos e decolagens, capaz de absorver operações simultâneas das aeronaves, fator identificado como limitante no aumento de capacidade do sistema TMA-SP (Hupalo, 2003; Santana, 2002).

Este trabalho explora alguns outros cenários operacionais, também concebidos com o intuito de contribuir para o alívio do congestionamento da TMA-SP, permitindo assim sua comparação direta para fins de avaliação. Os cenários considerados são identificados a seguir:

- **Cenário C1: atual** – Corresponde à situação da infra-estrutura atualmente existente, acrescido

do terceiro TPS do Aeroporto de Guarulhos. Buscou-se representar a operação ocorrida na TMA-SP no dia 5 de março de 2001, dia no qual foi verificado o maior movimento aéreo do 1º semestre daquele ano. Nesse dia ocorreram 1457 vôos, dos quais 793 utilizaram Congonhas, 545 Guarulhos e 119 Viracopos.

- **Cenário C2: só jatos em SBSP** – Os aviões lentos (velocidade igual ou inferior ao EMB-120 Brasília) foram substituídos por aviões a jato no Aeroporto de Congonhas.
- **Cenário C3: decolagens SBSP 50% L/R** – As operações de decolagem do Aeroporto de Congonhas foram redistribuídas entre as duas pistas, de forma a passarem de 80% de decolagens da pista da direita (17R) e 20% da pista da esquerda (17L), para 50% de decolagens da pista da direita (17R) e 50% da pista da esquerda (17L).
- **Cenário C4: 3a pista em SBGR** – Foi acrescentada a terceira pista ao Aeroporto de Guarulhos. A pista é a representação fiel do projeto da INFRAERO referente às ampliações de infra-estrutura do lado aéreo.
- **Cenário C5: saída rápida SBSP** – Foram adicionadas saídas rápidas às pistas do Aeroporto de Congonhas, em locais considerados estratégicos para agilização da liberação da pista após o pouso.

#### 5. ANÁLISES E RESULTADOS

Os cinco cenários foram analisados e comparados em termos de atrasos médios em vôo e atrasos médios totais, condição em que além dos atrasos médios em vôo, foram considerados também os atrasos médios no solo, nas operações de pouso e decolagem. Foi com-

putado ainda o custo operacional médio por hora de bloco, baseado no consumo de combustível e outros custos que incidem na operação de cada tipo de aeronave (OACI, 2000). Desta forma a análise dos cenários simulados foi focada nas variáveis atraso e custo. O custo médio de referência por hora de bloco, levando-se em consideração os tipos de aeronaves e frequências com que voaram no dia escolhido para a análise, foi de US\$ 2.122,99.

Nas simulações efetuadas, o Aeroporto de Congonhas mostrou-se incapaz de absorver um acréscimo de demanda superior a 15% da demanda atual (de 5 de março de 2001). O fato ficou evidenciado pelo cancelamento da criação de novos vôos acima deste aumento, provavelmente devido à falta de disponibilidade de *gates* para saída e chegada de aeronaves. Desta forma, optou-se por fazer o estudo com acréscimo de demanda de até 15% para todos os aeroportos.

Os resultados são apresentados a seguir, primeiramente para a TMA-SP e, em seguida, para o Aeroporto de Congonhas e para o Aeroporto de Guarulhos.

### 5.1. TMA – SP

Analisando as simulações realizadas para os cinco ce-

nários foram obtidos os resultados descritos a seguir. Com base no custo médio por hora de bloco apontado acima, o atraso verificado no cenário C1 (situação atual) com 0% de acréscimo de demanda implicou em um custo total de US\$ 289.213,87, considerando apenas as aeronaves que voaram na TMA-SP em um dia de operação.

Interessante notar pela análise das Figuras 4 e 5, que, para o cenário C1, um incremento de apenas 10% na demanda implica em 45,9% de acréscimo de atrasos em vôo (US\$ 132.749,16) e 100,0% (US\$ 289.213,87) de acréscimo em atrasos totais. Já um incremento de 15% leva os mesmos atrasos a aumentarem respectivamente de 94,7% (US\$ 273.885,53) e 216,5% (US\$ 626.148,02).

Ainda com relação às Figuras 4 e 5, outro detalhe que não pode passar despercebido é o incremento na inclinação da curva de atraso total (Figura 5) à medida que a demanda é aumentada. Isto não acontece com a mesma intensidade na curva dos atrasos em vôo (Figura 4). Na simulação, assim como em operações reais, decolagens são preteridas por pousos, o que faz com que os atrasos, à medida que congestionamentos aumentam, aconteçam mais no solo, antes da decola-

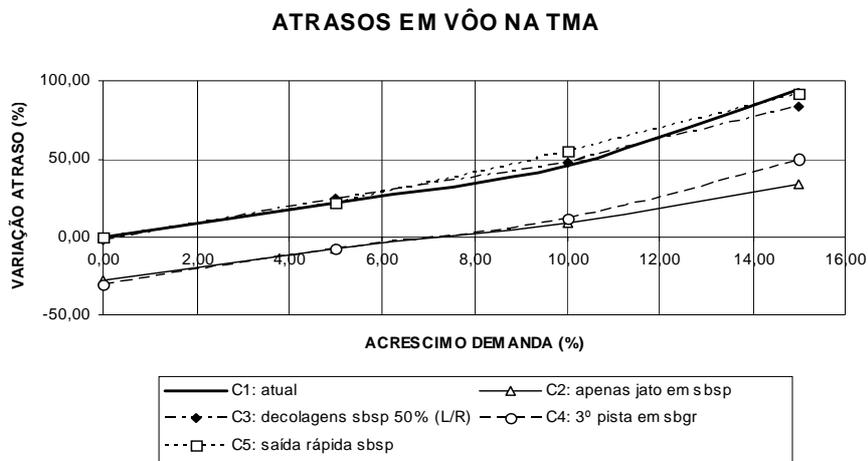


Figura 4: Atrasos em vôo na TMA-SP para os cenários C1, C2, C3, C4 e C5.

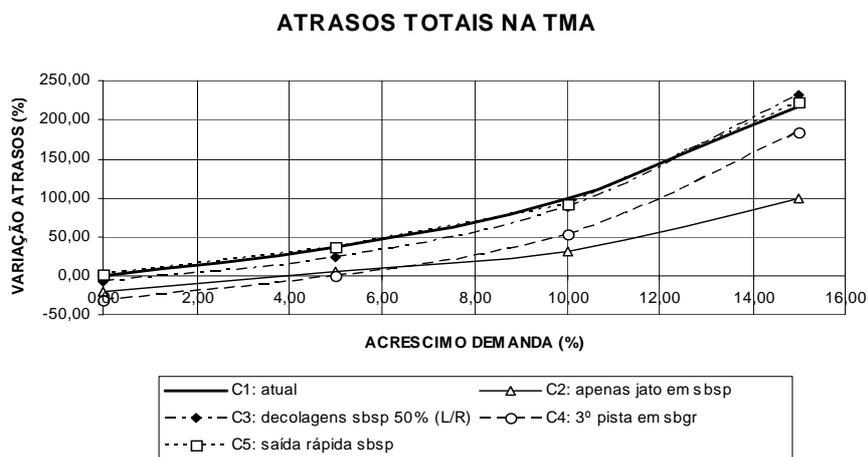


Figura 5: Atrasos totais na TMA-SP para os cenários C1, C2, C3, C4 e C5.

gem, do que em voo.

Outro resultado marcante, presente tanto nas estimativas de atrasos em voo na TMA-SP (Figura 4) quanto nas estimativas de atrasos totais (Figura 5), é a caracterização da magnitude do impacto causado pelos cenários operacionais. Os cenários C4, que considera a 3a pista no Aeroporto de Guarulhos, e C2, que considera a operação apenas de jatos no Aeroporto de Congonhas, são evidentemente os de maior impacto e, dentre estes, o cenário C2 apresenta os melhores resultados para a TMA-SP.

## 5.2. Aeroporto de Congonhas

Como pode ser observado na Figura 6, para 12% de acréscimo de demanda o cenário C2 possui atraso equivalente ao cenário C1 com demanda atual. Comparando-se este resultado com o apresentado na Figura 4, o valor de acréscimo de demanda, onde ocorre a equivalência entre os dois casos, cai para pouco mais de 7%. A explicação reside no fato de que no cenário C2, por representar uma mudança no Aeroporto de Congonhas, existe impacto maior nos atrasos referentes aos vãos para este Aeroporto (Figura 6) do que para toda TMA (Figura 4).

Comparando os resultados dos atrasos totais dos

vãos originados ou destinados a Congonhas (Figura 7) com os atrasos totais de todos os vãos na TMA-SP (Figura 4), percebe-se que o benefício em voo do cenário C2, para os vãos associados a Congonhas, é diluído quando se consideram os atrasos no solo, resultando possibilidade de acréscimo de demanda de 4% para 5%, mantendo-se o nível de atraso verificado no cenário atual.

## 5.3. Aeroporto de Guarulhos

A comparação entre os cenários C1 e C4 mostra, como pode ser observado nas Figuras 8 e 9, acentuada diminuição nos atrasos em voo e totais para o Aeroporto de Guarulhos.

As rotas para a terceira pista foram construídas a partir das existentes para as pistas atuais. Desta forma, a melhoria representada pelas Figuras 8 e 9, corresponde apenas ao acréscimo de capacidade no sistema de pista de pouso, uma vez que, até bem perto do pouso e logo após a decolagem, as aeronaves seguem exatamente as mesmas rotas, não importando em qual pista estejam operando.

Os resultados obtidos indicam que a 3a pista, uma vez construída, possibilitará, no Aeroporto de Guarulhos, grande redução de congestionamento e, conse-

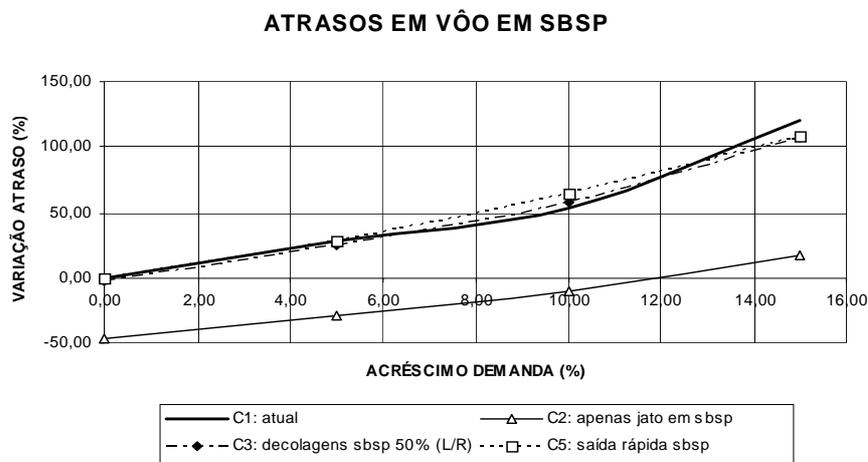


Figura 6: Atrasos em voo em Congonhas para os cenários C1, C2, C3 e C5.

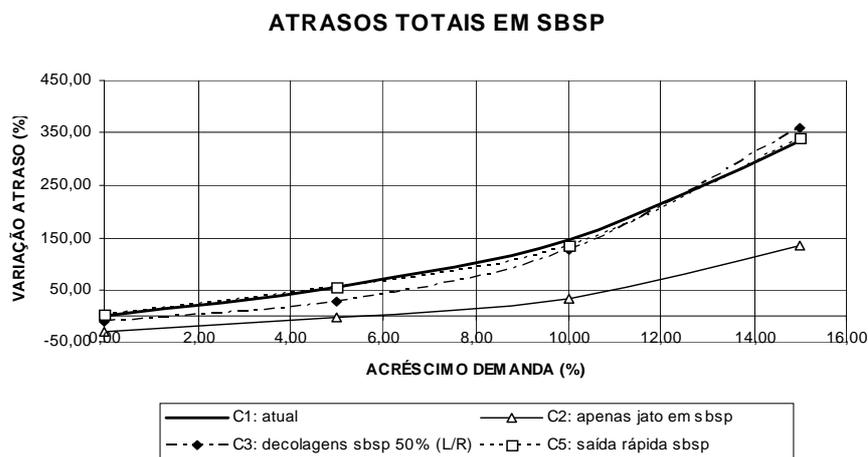


Figura 7: Atrasos totais em Congonhas para os cenários C1, C2, C3 e C5.

### ATRASOS EM VÔO EM SBGR

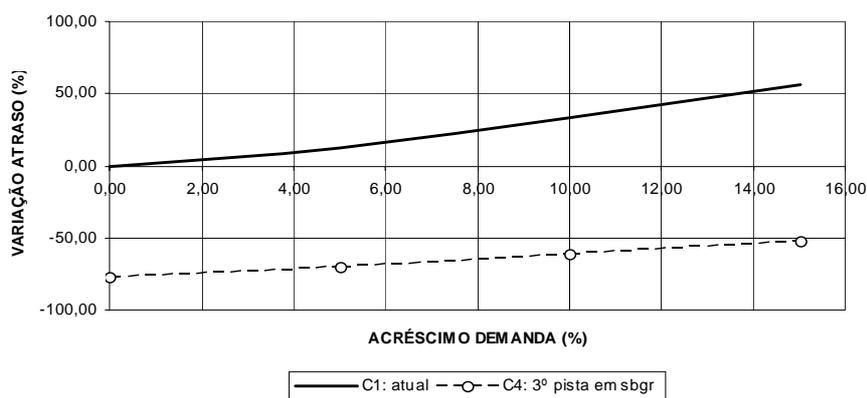


Figura 8: Atrasos em voo em Guarulhos para os cenários C1 e C4

### ATRASOS TOTAIS SBGR

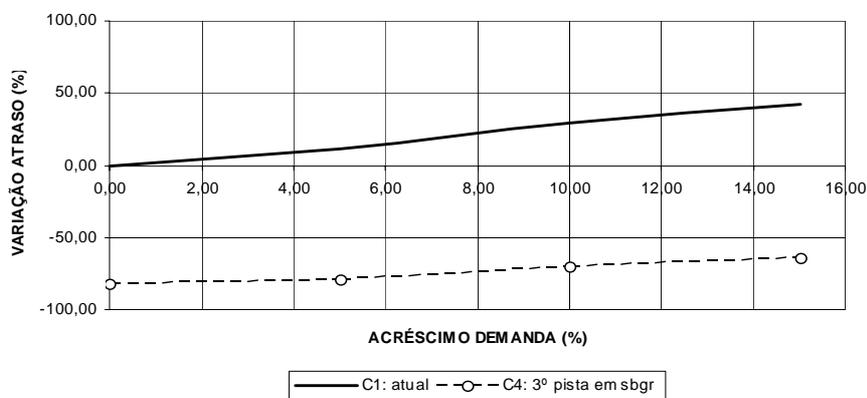


Figura 9: Atrasos totais em Guarulhos para os cenários C1 e C4

quentemente, de atrasos.

#### 5.4. Alternativas para diminuição de congestionamentos no Aeroporto de Congonhas

Os resultados até agora obtidos indicam que, dos cenários concebidos, somente aquele que considera a operação de apenas jatos em Congonhas é capaz de promover substancial impacto nesse aeroporto. Considerando que o cenário de 3a pista em Guarulhos sugere possibilidade de acréscimo de demanda maior do que 15% sem retorno aos níveis de atraso verificados no cenário atual, o estudo foi ampliado com a criação de três novos cenários. Tais cenários consideram a manutenção de aeronaves lentas e da Ponte-Aérea RJ-SP em Congonhas com deslocamento de 10%, 20% e 30% da demanda de Congonhas para Guarulhos. Os vôos foram redistribuídos de forma homogênea durante as horas de operação e o horário inicialmente programado para decolagem de Congonhas foi mantido para Guarulhos.

- **Cenário C6: redistribuição 10%** – 10% da demanda que inicialmente operava a partir do Aeroporto de Congonhas foi deslocada para o

Aeroporto de Guarulhos.

- **Cenário C7: redistribuição 20%** – Idem cenário C6, com 20%.
- **Cenário C8: redistribuição 30%** – Idem cenário C6, com 30%.

As Figuras 10 e 11 mostram sensíveis melhorias nos cenários C6, C7 e C8. Para o cenário C6 foi possível acréscimo de demanda de até 25%. Para os cenários C7 e C8 o aumento foi feito até 30%, sem atingir o limite a partir do qual o software começa a “cancelar” vôos.

Para incrementos de demanda de até 15% existe pequena melhoria entre os cenários C7 e C8. Quanto mais a demanda se aproxima de 30% de acréscimo, mais o cenário C8 se mostra melhor do que o C7. Merece destaque o fato de que, com 0% de acréscimo de demanda, o cenário C8 permite uma redução de 70,66% no atraso total, o que representa para o sistema uma economia de US\$ 204.358,52 num único dia de operação.

O ponto em que as curvas tocam o eixo das abscissas representa o momento em que os atrasos são iguais aos atualmente existentes (cenário C1 com 0% de incremento). Assim, os resultados apresentados na Figu-

### ATRASOS EM VÔO NA TMA

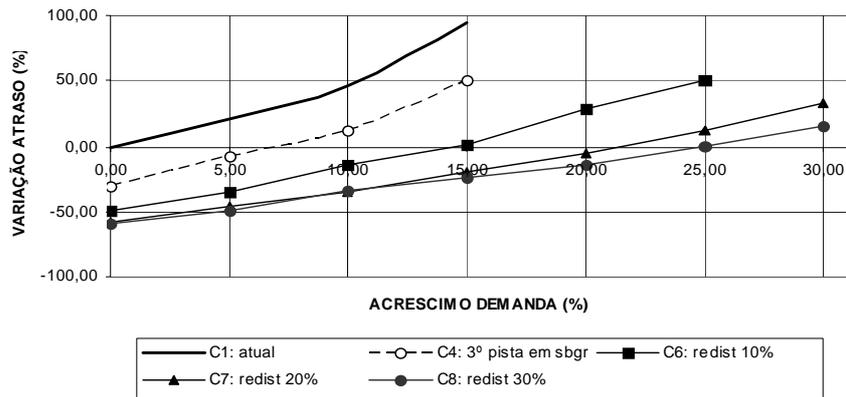


Figura 10: Atrasos em voo na TMA-SP para os cenários C1, C4, C6, C7 e C8.

### ATRASOS TOTAIS NA TMA

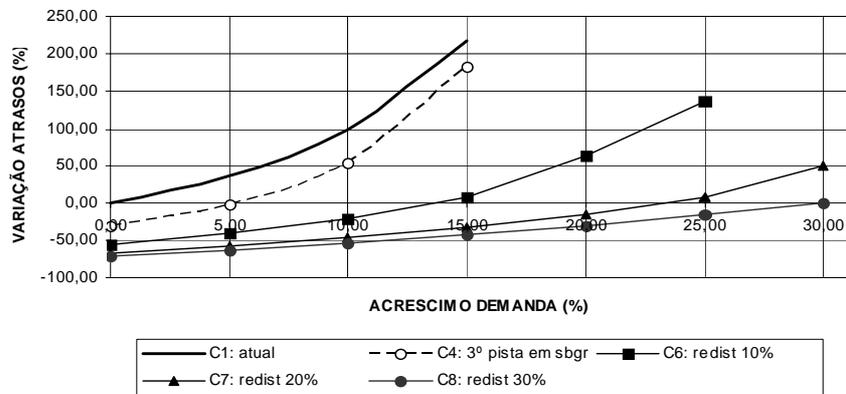


Figura 11: Atrasos totais na TMA-SP para os cenários C1, C4, C6, C7 e C8.

ra 11 mostram que os cenários C6, C7 e C8 permitem acréscimos de demanda de até 14%, 23% e 30%, respectivamente, sem causar congestionamento e atrasos superiores aos observados no cenário C1: atual.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A simulação mostrou ser uma metodologia bastante útil para a mensuração de atrasos, dos custos e da capacidade quando o objetivo é comparar diferentes cenários de um sistema constituído por diversos aeroportos de uma área de controle terminal (TMA).

Os cenários C2 (apenas jatos em Congonhas) e C4 (3ª pista em Guarulhos) utilizados nos estudos iniciais, constituem-se nas melhores alternativas operacionais, factíveis de serem implementadas, visando melhorias do ponto de vista de redução de atrasos e, conseqüentemente, dos custos operacionais na TMA-SP. Os demais cenários não apresentaram resultados que justifiquem as alterações propostas.

Com o cenário C2 foi possível quantificar a contribuição das aeronaves lentas para os congestionamentos em Congonhas.

Os cenários adicionais C6, C7 e C8 (redistribuição

de demanda entre Congonhas e Guarulhos), foram criados em função de o Aeroporto de Congonhas apresentar alto grau de congestionamento para acréscimo de demanda acima de 15% e de o Aeroporto de Guarulhos apresentar redução de congestionamento com a inclusão da terceira pista. Tais redistribuições resultaram em diminuição dos atrasos em voo e totais na TMA-SP.

Observou-se ainda que a melhoria nos atrasos do cenário C6 para o C7 é mais significativa do que deste para o cenário C8. Entre os cenários analisados, o C8, com 30% de deslocamento da demanda de Congonhas para Guarulhos, minimiza os atrasos totais, bem como os custos operacionais nos aeroportos e na TMA-SP.

Por fim, é importante frisar que o custo por hora de bloco não levou em consideração o custo imputado ao usuário, notadamente o passageiro, pelo atraso. Assim, uma extensão ao presente trabalho seria incluir esse custo, com base em estimativas do valor do tempo do usuário de transporte aéreo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blumstein, A. (1959) The landing capacity of a runway. *Operations Research*, n.7, p. 752-763, 1959.

- Hupalo, M. F. (2003) *Análise da área de controle terminal São Paulo (TMA-SP) por meio de simulação (fast-time simulation)*. Dissertação de Mestrado, ITA, São José dos Campos, SP, Brasil.
- INFRAERO (2005) *Boletim de Informações Gerenciais*, Diretoria de Operações, Brasília, DF, Brasil.
- Kostiuk, P. F. (2001) *Demand management versus capacity enhancement: which direction for air transportation*. ATM 2001, LMI.
- Law, A. M. e W. D. Kelton (1992) *Simulation modelling and analysis*. 2a ed., New York: McGraw-Hill. 759 p.
- MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA (1999a) *Demanda detalhada de aeroportos brasileiros*. Departamento de Aviação Civil, Rio de Janeiro, Brasil.
- MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA (1999b) *IMA 100-12 – Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo*. Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo, Rio de Janeiro, Brasil.
- MITRE Co. (2001) *Airports and airspace system planning for the São Paulo region – task 2: analysis of current operations*, Departamento de Aviação Civil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- OACI (1999) *Annual Statistics*. Montreal.
- OACI (2000) *Aircraft base-line operating ALLPRIG Council*, Montreal
- Odoni, A. R. et al. (1997) *Existing and required modeling capabilities for evaluating ATM systems and concepts*. Massachusetts: MIT. (Report)
- Pereira, B. D.; C. M. Silva; E. P. Guedes e M. V. M. Feitosa (2001) Estudo dos atrasos na área terminal São Paulo: situação atual e futura via modelo de simulação. *Anais do XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Campinas, SP, Brasil, v. 3. p. 157-161.
- Pidd, M. (1989) *Computer Modelling For Discrete Simulation*. Chichester: John Wiley & Sons, 1989. 274 p.
- Pidd, M. (1992) *Computer simulation in management science*. 3a ed., Chichester: John Wiley & Sons, 1992. 351 p.
- Platz, K. (1990) Future operational concept for the Federal Republic of Germany cooperative air traffic management concept CATMAC. In: *CATMAC – Cooperative Air Traffic Management Concept*, 35th ATCA – Technical Conference, Boston, Mass.
- Santana, E. S. M. (2002) *Análise de novos cenários operacionais para o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos*. Dissertação de Mestrado, ITA, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Shannon, R. E. (1975) *System simulation: the art and science*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 387 p.
- TRANSOLUTIONS (2000) *The airport and airspace simulation model*. Basic SIMMOD Training Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.