

MODELO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE OPERACIONAL DE PÁTIO DE AEROPORTOS

Fabio Rogério Ribeiro

Rui Carlos Botter

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica

Escola Politécnica

Universidade de São Paulo

RESUMO

O presente trabalho trata do estudo dos processos logísticos associados às operações de pátio de aeronaves com uso da simulação em uma ferramenta de apoio à decisão. O modelo de simulação, construído para o caso do aeroporto de Congonhas, permite a análise do processo de atendimento das aeronaves, do tempo de ocupação das posições (*turn-around time*) e das taxas de ocupação dos recursos visando aumento na capacidade do pátio. O modelo foi desenvolvido com detalhamento suficiente para atender desde enfoques de planejamento (configuração e número das posições) até operacionais (avaliação da capacidade das posições).

ABSTRACT

This paper provides an overview on the study of the logistic processes associated with providing apron services, using simulation techniques in a decision support tool. The simulation model, built for Congonhas airport case, allows for the analysis of the apron servicing process, turn-around time and resources occupation rates, aiming for the apron capacity increasing. The model is sufficiently detailed so as to be useful from a planning point of view (number and configuration of positions), to an operational point of view (evaluation of the position capacity).

1. INTRODUÇÃO

Como reflexo da dinamização econômica ocorrida a partir dos anos 90, houve um crescimento sem precedentes nos movimentos dos aeroportos brasileiros, especialmente na região Sudeste, onde dois dos principais aeroportos (Congonhas e Guarulhos) tiveram sua movimentação, em termos de pousos e decolagens, quase duplicadas. Este crescimento do transporte aéreo tem posto às organizações responsáveis pelo setor inúmeros problemas; e soluções para atender à demanda, sem prejudicar os níveis de serviço, tornaram-se uma necessidade.

Dentre dos esforços de racionalização da demanda, destacam-se os estudos de ATFM (*Air Traffic Flow Management*) que, em sua grande maioria, encontraram na espera em solo uma forma de redução das esperas em rota. Essa alternativa baseia-se nos preceitos de segurança e também de economia, visto que a espera em solo é muito menos dispendiosa que a espera em voo. A tendência, então, é reter vôos nos aeroportos periféricos, e diversos estudos buscam maneiras de elaborar ou corrigir programações de modo a acomodar a demanda, como os de Schumacher (1999), Rifkin (1994), Rosenberger *et al.* (2000) e Niehues *et al.* (2001); todos eles baseados em técnicas de simulação, além de vários outros 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. Essas pressões levam, por vezes, o uso do pátio de aeronaves próximo de sua capacidade limite, como é o caso de Congonhas, onde, visando-se reduzir os problemas de espera em voo foi adotada a política de *slots* (atribuição de janelas de tempo para pousos e

decolagens). Seu impacto no sistema de pátio fica claro no comentário de Siewerdt (2002):

“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.”

Com todos os 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 a operação aeroportuária. De fato, estudos sobre capacidade de pátio não são novidade. O tema já foi estudado por Martinelli (1980), Lopes (1990), Rodrigues (1994), e indiretamente por Targa (2001), para citar alguns autores brasileiros. Observando-se, porém, os estudos de pátios de aeronaves percebe-se uma concentração maior no enfoque de planejamento (determinação do número de posições para atender a demanda) que no aspecto operacional. A solução mais comum dada para aumento de capacidade está na oferta de mais posições de pátio. Congonhas, no entanto, não foi concebido considerando-se uma previsão de demanda como a que hoje se verifica, apresentando limitações físicas à criação de novas posições.

Neste caso somente iniciativas políticas ou operacionais são viáveis para enfrentar a pressão de demanda. Essa é a motivação para estudo das operações de solo como fator de contribuição para a melhoria de desempenho do sistema aeroportuário, e os principais objetivos do estudo aqui apresentado são:

- avaliar a capacidade do pátio de estacionamento de aeronaves e alternativas operacionais para seu incremento
- investigar e avaliar fatores de congestionamento de pátios: espera em solo, excesso de demanda, política de *slots*
- identificar o caminho crítico e gargalos do processo de atendimento em solo

2. METODOLOGIA

A simulação foi a técnica escolhida para o modelagem do sistema de pátio pois permite a abordagem detalhada dos seus aspectos operacionais. A realização deste trabalho seguiu as seguintes etapas: i) construção do modelo de simulação que representa o pátio do aeroporto de Congonhas ao tempo da obtenção dos dados (2001); ii) calibração e validação do modelo; e iii) análise de cenários de variação de quantidade de recursos visando seu balanceamento.

3. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Para construção do modelo foi definido o volume de controle como aquele incluindo todo o pátio conforme mostra a Figura 1.

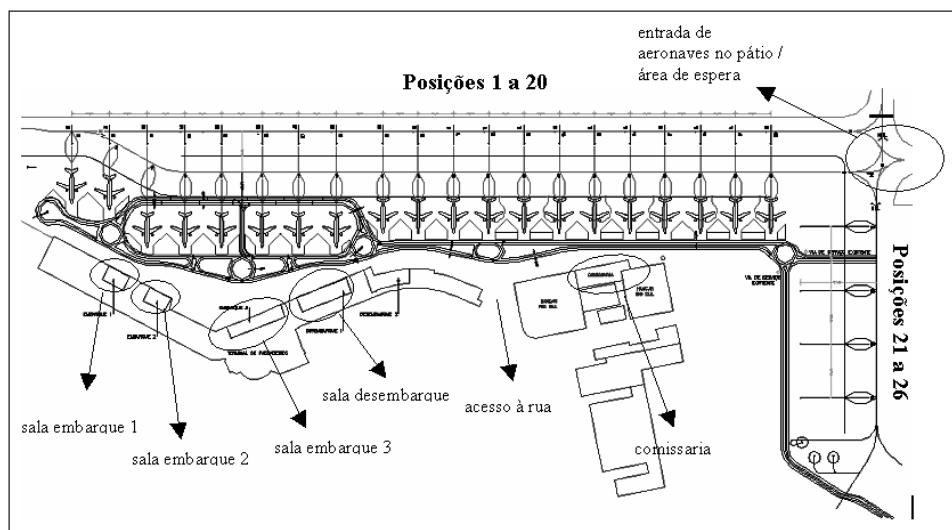


Figura 1: Pátio de aeronaves do aeroporto de Congonhas

A análise minuciosa do processo de atendimento das aeronaves no aeroporto de Congonhas, com a representação das operações em forma de fluxograma (Figura 2), permitiu identificar quais informações seriam necessárias no modelo, em termos de sequência e interdependência de atividades. Serviu também para identificação das diferenças nos serviços prestados ou recursos utilizados em função da posição servida, do tipo de permanência, da empresa e do tipo de aeronave.

Os dados para criação dos vôos na simulação são: instante de chegada, categoria, empresa, tipo de permanência, número de assentos da aeronave, posição de estacionamento pré-designada (facultativo) e instante previsto de partida (facultativo).

Esses dados foram obtidos a partir dos registros da torre de Congonhas, dos relatórios de planos de vôo do sistema do APP-SP, do HOTRAN e do planejamento de pátio da INFRAERO. Embora a comparação dessas fontes tenha servido para correção de pequenas incongruências nos dados, quaisquer delas isoladamente seria suficiente para a simulação. Foi também implementada uma forma alternativa de geração de vôos, automática, baseada no mix de aeronaves obtido para o aeroporto e nas frequências horárias de pousos e decolagens.

Além dos dados relativos aos vôos, são usadas no modelo diversas informações operacionais, mostradas na Tabela 1, sendo a maioria relacionada aos serviços prestados no pátio. Exceto pelas quantidades e capacidades dos veículos, as variáveis são sorteadas de distribuições probabilísticas obtidas a partir de dados reais ou estimados.

Recurso	Dados usados no modelo de simulação
Aeronaves	Velocidade taxiamento; taxa de ocupação por empresa
Escadas	Velocidade deslocamento; quantidade
Ônibus	Velocidade deslocamento; quantidade; taxa de embarque e desembarque; capacidade
Passageiros	Velocidade deslocamento; número médio de volumes de bagagem por pax

Recurso	Dados usados no modelo de simulação
Comissaria	Velocidade deslocamento; quantidade por empresa ou grupo de empresas, tempo médio de atendimento
Combustível	Velocidade deslocamento; quantidade de veículos, tempo médio de atendimento
Bagagem	Velocidade deslocamento; quantidade de veículos por empresa; taxa de carregamento e descarregamento por empresa; capacidade do veículo por empresa
Carga	Velocidade deslocamento; quantidade de veículos por empresa; taxa de carregamento e descarregamento por empresa; capacidade do veículo por empresa
Esgoto e água	Velocidade deslocamento; quantidade de veículos; tempo médio atendimento
Tratoragem	Velocidade deslocamento; quantidade de veículos; tempo médio atendimento
Manutenção	Velocidade deslocamento; quantidade de veículos; probabilidade de necessidade; tempo médio atendimento

Tabela 1: Variáveis operacionais do modelo de simulação

A Tabela 2 mostra como os recursos de pátio eram compartilhados entre as principais empresas (TAM, VRG, VSP, GLO e TBA) em operação no aeroporto de Congonhas em 2001, sendo esta a forma adotada no modelo.

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

Legenda: 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.
 (**) Nota: algumas posições, que em breve serão servidas por pontes de embarque, não precisam de ônibus, sendo que o passageiro caminha até a aeronave ou da aeronave até a sala de desembarque.

Tabela 2: Utilização e compartilhamento dos recursos de pátio por categoria e tipo de permanência.

A simulação inicia-se pela chegada da aeronave (observar Figura 2), disparada pela leitura de uma entrada da tabela de dados. A seguir é verificada a categoria da aeronave. Se for da categoria A é encaminhada para o pátio de aviação geral ou para decolagem, de acordo com o seu tipo de permanência. Se for da categoria B ou C, segue adiante no modelo.

A categoria A representa a aviação geral, normalmente de classe 4 (aeronaves a pistão; ex.: PA28, PA31, PA34) e algumas de classe 2 (aeronaves a jato, 7.000 < peso máximo de decolagem < 20.000 kg; ex.: C520, C550, HS 25, LJ 35). A categoria B representa aeronaves da aviação comercial de classes 3 e 2 (turbo-hélices e turbo-jatos, respectivamente; ex.: EMB120, EMB110, ATR 42, ERJ 145). A categoria C representa aeronaves da aviação

comercial de classe 1 (aeronaves a jato, 20.000 kg \leq peso máximo de decolagem < 136.000 kg; ex.: A319, A320, B727, B737, FK 100). Praticamente não há operação de classe 0 (peso máximo de decolagem \geq 136.000 kg) no aeroporto de Congonhas.

Continuando, verifica-se o tipo de permanência da aeronave. Se for do tipo terminal, verifica-se se a aeronave tem passageiros e, caso não tenha, segue diretamente para o hangar. Se tiver passageiros dirigir-se-á ao pátio. Aquelas aeronaves com permanência do grupo “outros tipos” (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” verificará se existe uma posição de estacionamento livre que sirva à aeronave. Essa sub-rotina procurou representar os procedimentos mais comuns do aeroporto. Caso não haja uma posição livre, a aeronave entrará em fila, aguardando a liberação de uma posição que possa utilizar. Se houver 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 (ou início de atendimento).

Logo após o bloqueio da posição alguns serviços, indicados pela sub-rotina de “solicitação de serviços iniciais”, já podem ser disparados, dependendo das características do voo. Enquanto a aeronave se dirige à posição de estacionamento e efetua as manobras de estacionamento, os recursos envolvidos nos serviços iniciais são alocados e dirigem-se à posição. Esses serviços 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 de manutenção, respectivamente). Esses equipamentos/equipes só entrarão em serviço após o “início da operação” (colocação dos calços) mas a sua alocação prévia, caso estejam disponíveis, representa a prática do aeroporto e garante a prestação do início do atendimento.

Os outros serviços/recursos podem ser solicitados após o “início da operação”, pois dependem do cumprimento de atividades anteriores, sendo estes o abastecimento com combustível, descarregamento de cargas e posterior carregamento de cargas e bagagens, e embarque dos passageiros. A sequência desses atendimentos está mostrada na Figura 3.

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 são liberadas para manobras e táxi até o hangar. As aeronaves com permanência do tipo origem, passagem ou retorno, que prosseguirão para voo, devem verificar se o instante de “calços fora” (fim da operação de atendimento) é anterior ao instante planejado de partida, ou seja, se ainda não está dentro do seu *slot*. Caso ainda não esteja, a aeronave aguardará na posição até o instante planejado de partida. Caso o instante de “calços fora” coincida ou seja posterior ao instante planejado de partida, a aeronave é liberada para manobras, táxi e decolagem. A permissão de decolagem imediata no caso dos serviços terminarem com atraso em relação ao *slot* não é sempre possível na realidade, mas foi adotada como aproximação e mostrou-se bastante razoável para caso de Congonhas. Por fim quando a aeronave é liberada para manobras um trator é alocado para efetuar o *push-back*.

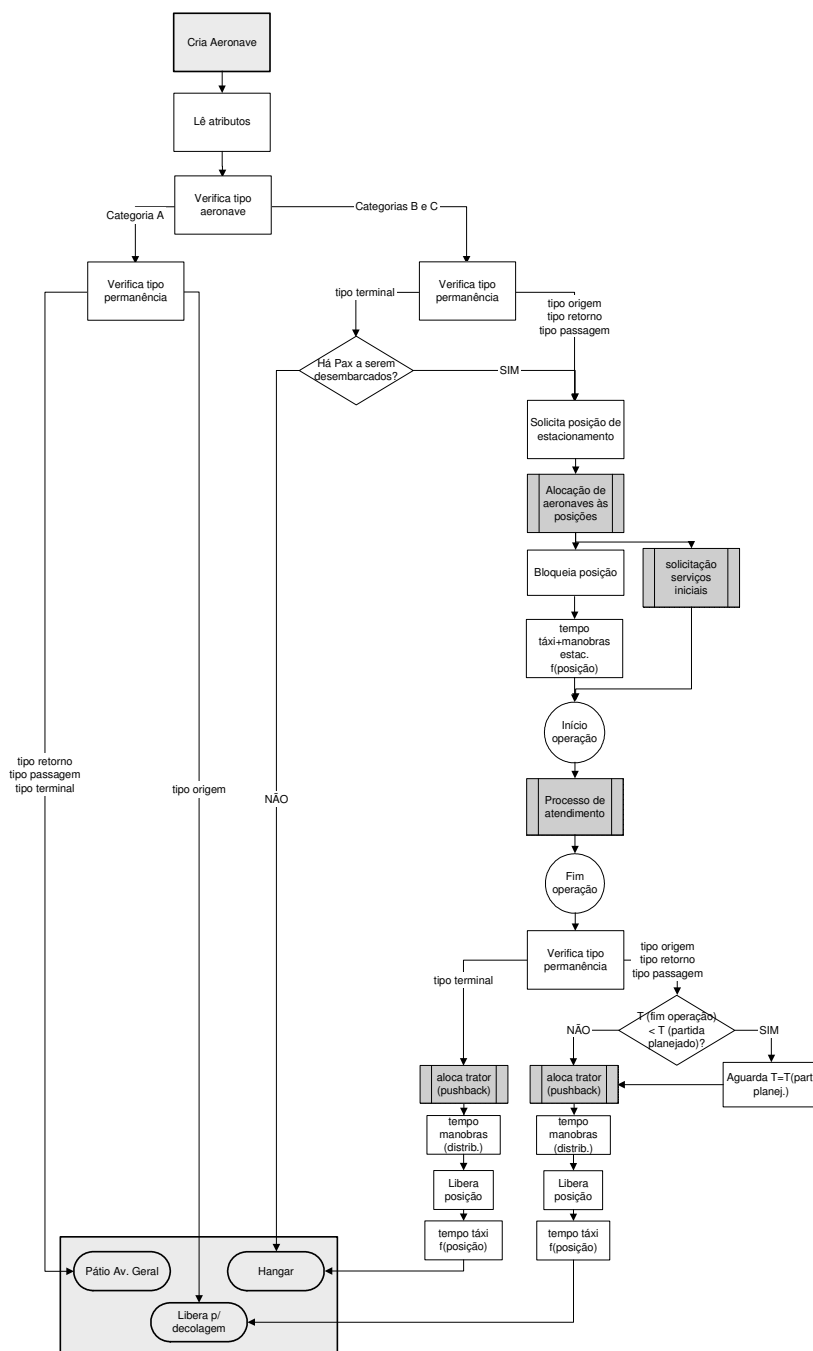


Figura 2: Fluxograma geral do modelo de pátio de aeronaves

adição dessa espera o resultado da simulação aproximou-se bastante da realidade, conforme mostra o Gráfico 1, atingindo-se o coeficiente de correlação de 0,84. A média das diferenças no número de posições ocupadas ficou em aproximadamente 2 e a média das esperas sorteadas durante a simulação foi de 12,9 minutos, dentro portanto do intervalo calculado por Targa (2001).

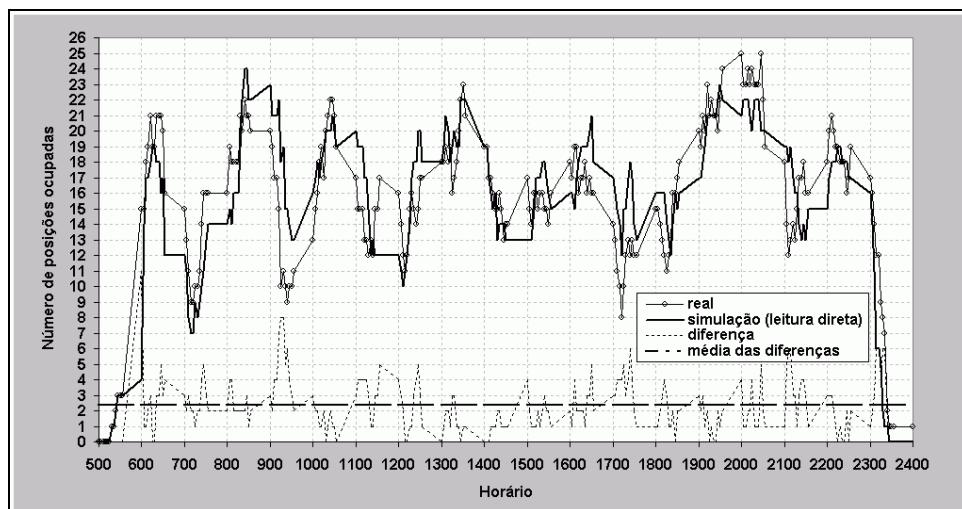


Gráfico 1: Número de posições ocupadas (resultado após calibração)

5. RESULTADOS

Os resultados gravados durante a simulação, para cada voo são:

- número do voo e número da posição alocada;
- instante de alocação e desocupação da posição pela aeronave;
- número de passageiros do voo;
- número em uso para cada um dos recursos no momento da alocação da posição
- instante de requisição e liberação de cada um dos recursos;
- instante de início do embarque e término desembarque de passageiros (e instantes de alocação e liberação de ônibus para os casos em que são necessários).

Com esses resultados, uma análise possível é a de balanceamento de recursos, ou seja, dimensionamento da frota mínima necessária para cada recurso, segundo um critério de operação. Os resultados da simulação base, descrita anteriormente, evidenciaram 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, sendo testados para cada recurso, visando a sua validade no maior número possível dos casos, especialmente em relação ao processo de atendimento como um todo e seus caminhos críticos. O critério escolhido foi aquele que possibilitou o cumprimento dos *slots*,

ou seja, que garantiu que os instantes de saída das aeronaves estivessem no intervalo de -5 a $+10$ minutos do instante planejado de saída. .

Desse modo 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 o menor número para que não se atingisse a utilização total da frota por um intervalo de tempo maior que o intervalo de tempo médio da prestação do respectivo serviço, ou simbolicamente: $\Delta t_{ocupação100\%} \leq \overline{\Delta t}_{serviço}$. Esse critério garante que na maioria dos casos não haverá espera para prestação do serviço e que serão cumpridos os *slots*.

Com a aplicação desse critério de dimensionamento, para o nível de demanda considerado estão sub-utilizados os recursos de: escadas, comissaria VSP e Outros (GLO e TBA), veículos de manutenção e tratores. Os recursos de comissaria TAM/VRG e veículos de abastecimento de combustível estão balanceados; 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 dispor de dados reais e de valores aceitáveis para as filas de requisições de cada um dos serviços do pátio. Um resumo das alterações nas quantidades de recursos antes e após o balanceamento está na Tabela 3.

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

Tabela 3: Resultados de dimensionamento de recursos

O Gráfico 2 mostra a comparação do número de posições ocupadas no tempo antes e depois do dimensionamento. A maior redução está por volta das 08:30. Investigando a razão dessa redução encontra-se, nessa porção do dia, redução significativa do tempo de processamento de carga e bagagem - espera mais atendimento - chegando a 10 minutos em alguns casos. Embora não estejam no caminho crítico mais comum, representam a segunda seqüência de atividades a consumir mais tempo. As atividades do caminho crítico tiveram redução da ordem de 5 minutos.

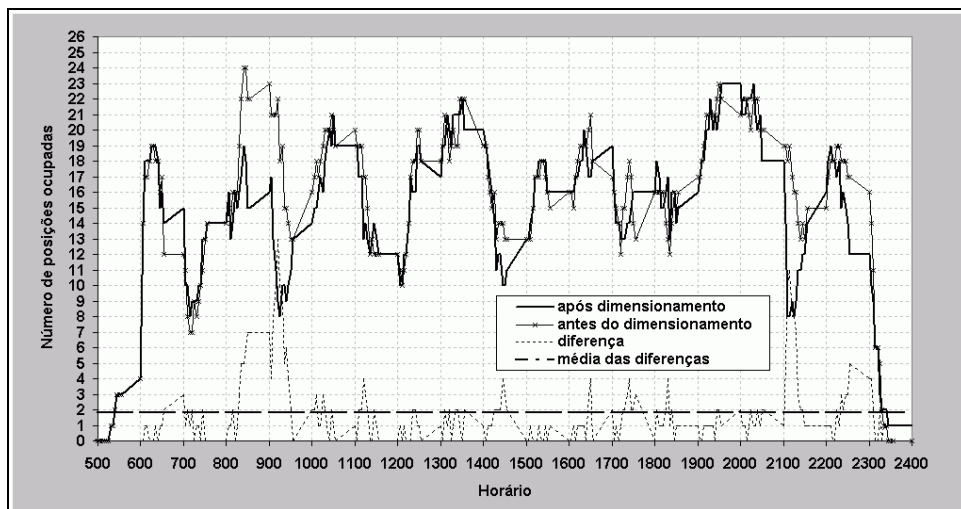


Gráfico 2: Número de posições ocupadas (resultado após balanceamento de recursos)

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, antes e depois do dimensionamento, está mostrada na Tabela 4.

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

Nota: Os tempos acima 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.

Tabela 4: Comparação dos tempos médios dos serviços antes e depois do balanceamento

Com exceção do pequeno aumento no tempo médio de serviço das escadas, o dimensionamento reduziu os tempos médios dos serviços, pela redução das esperas por disponibilidade. O pequeno aumento no tempo das escadas, reflexo da diminuição do seu número, não causa impacto no tempo total por esse serviço não estar sempre no caminho crítico do atendimento. Vale mencionar que o caminho crítico mais comumente obtido no caso do aeroporto de Congonhas compreende as seguintes atividades: desembarque de passageiros, abastecimento com combustível, embarque de passageiros e *push-back*.

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

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa tratou da modelagem 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.

Em resumo os principais estudos táticos que o modelo é capaz de tratar são: i) o balanceamento de recursos, ii) análise dos impactos associados ao atendimento de diversos níveis de demanda de vôos, iii) teste de políticas e alocação de posições, iv) avaliação do impacto de atrasos (destacando-se as esperas em solo) na capacidade do pátio de estacionamento, v) verificação dos impactos de políticas de concessão de *slots*, vi) comparações entre o compartilhamento ou não de recursos de pátio e vii) verificação de outras alterações operacionais e de desempenho dos serviços de pátio.

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 acuradas.

Por fim, 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 complementar que determinasse ou fornecesse parâmetros para os níveis aceitáveis no caso do aeroporto de Congonhas.

Resta ainda procurar responder a pergunta reiterada em cada um dos trabalhos estudados: 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 do pátio. 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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lopes, D. R. (1990) *Contribuição à modelagem do problema do planejamento da operação de pátios de aeronaves em aeroportos*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Martinelli, J. C. N. (1980) *Avaliação de metodologias de cálculo do número de posições de estacionamento de aeronaves nos pátios*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Niehues, A. *et al.* (2001) *Punctuality: How Airlines Can Improve On-Time Performance*. Booz Allen & Hamilton, Airline and Aerospace, Executive Summary.
- Rifkin, R. M. (1994) *The single airport static stochastic ground holding problem*. Dissertação de Mestrado, Massachusetts Institute of Technology.
- Rodrigues, A. L. (1994) *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, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Rosenberger, J. M. *et al.* (2000) *SIMAIR: A Stochastic Model of Airline Operations*. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, In: J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick (eds.)
- Schumacher, B. (1999) *Proactive Flight Schedule Evaluation at Delta Airlines*. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, In: P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans (eds.)
- Siewerdt, E. (2002) *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. <<http://www.sbta.web-page.net/>>
- Targa, D. (2001) *Uma ferramenta automatizada no auxílio à alocação de slots para o problema de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo brasileiro*. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

Endereço dos autores:

Prof. Dr. Rui Carlos Botter
Depto. Eng. Naval e Oceânica da EPUSP
Área de Transportes e Logística

Av. Prof. Mello Moraes, 2231
Cidade Universitária
São Paulo – SP CEP 05508-900

Tel.: (11) 3091-5340 ou 3091-5350 ramais 261 ou 200
Fax: (11) 3091-5717
Email: rcbotter@usp.br

Fabio Rogério Ribeiro
Depto. Eng. Naval e Oceânica da EPUSP
Área de Transportes e Logística

Av. Prof. Mello Moraes, 2231
Cidade Universitária
São Paulo – SP CEP 05508-900

Tel.: (11) 8268-3204
Fax: (11) 3666-0064
Email: f2r@uol.com.br